

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAKIR ESASLI ELEKTRİK KONTAK MALZEMELERİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE AKIMSIZ KAPLAMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisi Serhatcan Berk AKÇAY

**HAZİRAN 2022
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BAKIR ESASLI ELEKTRİK KONTAK MALZEMELERİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE AKIMSIZ KAPLAMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

Serhatcan Berk AKÇAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"METALURJİ VE MALZEME YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 / 05 / 2022

Tezin Savunma Tarihi : 20 / 06 / 2022

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Temel VAROL

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

“Bakır Esaslı Elektrik Kontak Malzemelerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Akımsız Kaplama Parametrelerinin Etkisi” başlıklı bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 119M398 No’lu proje kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Desteklerinden ötürü TÜBİTAK’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bilgi birikimleri ve deneysel çalışma tecrübelerini benimle paylaşan değerli danışmanım Doç. Dr. Temel VAROL hocam başta olmak üzere laboratuvar çalışmalarında çalışma disiplini ve deneylerin gerçekleştirilmesi aşamalarının tümünde yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Onur GÜLER’e, kıymetli bilgi ve tecrübeleriyle proje sürecinde desteklerini esirgemeyen değerli Prof. Dr. Ümit ALVER’e, projemiz kapsamında gerçekleştirilen üretimlerin önemli bir kısmında ciddi bir emek veren Erzurum Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden Prof. Dr. Fatih YILDIZ’a, öğretim elemanı Arş. Gör. Gürkan KAYA’ya ve lisans aşamasında göstermiş olduğu başarılar nedeniyle deneysel çalışmalarda Tübitak bursiyeri olarak proje ekibimize dahil olup başarılı bir şekilde deneyleri gerçekleştirmemize yardımcı olan Metalurji ve Malzeme Mühendisi Oğuzhan ÇUVALCI’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca hayatımın her döneminde desteklerini her zaman omuzlarımda hissettiğim canım annem Ayşegül AKÇAY, canım babam Mehmet AKÇAY ve biricik kardeşim Barın Deniz AKÇAY’a en kalpten teşekkürlerimi sunarım.

Serhatcan Berk AKÇAY
Trabzon, 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bakır Esaslı Elektrik Kontak Malzemelerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Akımsız Kaplama Parametrelerinin Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Temel Varol’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/06/2022

Serhatcan Berk AKÇAY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XVII
SEMBOLLER DİZİNİ	XVIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Bakır ve Bakır Alaşımları.....	2
1.2.1. Saf Bakır ve Özellikleri	4
1.2.2. Saf Bakır Kimyasal Özellikleri.....	5
1.2.3. Saf Bakır Mekanik Özellikleri.....	5
1.2.4. Saf Bakır Fiziksel Özellikleri	6
1.2.5. Bakırda Hidrojen Gevrekliği	7
1.2.6. Alaşım Elementlerinin Saf Bakıra Etkileri.....	8
1.2.7. Bakır ve Bakır Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	9
1.3. Elektrik Kontak Malzemeleri	10
1.3.1. Elektrik Kontak Malzemeleri Genel Özellikleri.....	11
1.3.2. Kontak Direnci	12
1.3.3. Ark Erozyonu ve Malzeme Taşınımı.....	13
1.3.4. Kaynak Oluşumu	14
1.3.5. Köprü Oluşumu	15
1.3.6. Elektrik Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları	15
1.4. Akımsız Kaplama	16
1.4.1. Akımsız Kaplama Yönteminin Genel Özellikleri	17
1.4.2. Akımsız Gümüş Kaplama.....	17
1.4.3. Akımsız Gümüş Kaplama Banyo Bileşimi ve Değişkenleri.....	18

1.4.4.	Gümüş Kaynağı	18
1.4.5.	Kaplama Çözeltisi ve Kaplama İşlemi	18
1.4.6.	Akımsız Kaplama Yönteminin Kullanım Alanları	19
1.5.	Toz Metalurjisi	20
1.5.1.	Toz Metalurjisi Avantaj ve Dezavantajları.....	20
1.5.2.	Toz Metalurjisi ile Üretilen Parçaların Kullanım Alanları	21
1.5.3.	Presleme.....	22
1.5.4.	Sinterleme	22
1.6.	Literatür Taraması	23
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
2.1.	Kullanılan Malzemeler	25
2.1.1.	Altlık Malzeme	25
2.2.	Elek Analizi Deneyleri	26
2.3.	Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri	26
2.3.1.	Oksit Temizleme İşlemi.....	29
2.3.2.	Gümüş Kaynağı Çözeltisinin Hazırlanması	31
2.3.3.	İndirgeyici Ajan Çözeltisinin Hazırlanması	35
2.3.4.	Akımsız Gümüş Kaplama İşlemi.....	37
2.3.5.	Akımsız Gümüş Kaplanmış Bakır Tozların Kurutulması	40
2.4.	Sıcak Presleme Deneyleri	41
2.4.1.	Presleme Cihazı	41
2.5.	Karakterizasyon Deneyleri	42
2.5.1.	Metalografik İncelemelerde Kullanılan Cihazlar	42
2.5.2.	Morfoloji ve Mikroyapı İncelemeleri	44
2.5.3.	Partikül Boyutu Ölçümleri.....	45
2.5.4.	Elementel Analiz Deneyleri.....	46
2.5.5.	Elektriksel İletkenlik Ölçümleri	46
2.5.6.	Oksidasyon Direnci Belirleme Deneyleri.....	46
2.5.7.	Sertlik Ölçümleri	47
2.5.8.	Yoğunluk Ölçümleri	48
3.	BULGULAR	49
3.1.	Başlangıç Morfoloji İncelemeleri	49
3.2.	Başlangıç Partikül Boyutlarının Belirlenmesi	50

3.3.	Başlangıç Partiküllerine ait Elementel Analiz Çalışmaları	52
3.4.	Birinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Yapılan Morfoloji İncelemeleri.....	53
3.5.	Birinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Yapılan XRD Analizleri	63
3.6.	İkinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Yapılan Morfoloji İncelemeleri.....	73
3.7.	İkinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Tozların Kesit Görüntüleri Üzerinde Yapılan Element Haritalama İncelemeleri.....	79
3.8.	İkinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Tozların Oksidasyon Direncinin Belirlenmesi.....	85
3.9.	Sıcak Presleme Sonrası Mikroyapı ve Elementel Analiz İncelemeleri	93
3.10.	Sıcak Presleme Sonrası Yoğunluk İncelemeleri.....	102
3.11.	Sıcak Presleme Sonrası Sertlik İncelemeleri	103
3.12.	Sıcak Presleme Sonrası Elektriksel İletkenlik	104
4.	İRDELEME	106
5.	SONUÇLAR.....	109
6.	ÖNERİLER	111
7.	KAYNAKLAR.....	112
ÖZGEÇMİŞ		

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

Bakır Esaslı Elektrik Kontak Malzemelerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine
Akımsız Kaplama Parametrelerinin Etkisi

Serhatcan Berk AKÇAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Temel VAROL
2022, 117 Sayfa,

Bu çalışmada akımsız kaplama yöntemi ile gümüş kaplanmış bakır tozlarından üretilen elektrik kontak malzemelerinin özellikleri üzerine akımsız kaplama parametrelerinin etkisinin incelenmesi amacıyla; sıcaklık, pH ve karıştırma hızının etkileri irdelenmiştir. Ayrıca akımsız kaplama yöntemi ile gümüş kaplama işleminde kullanılan işlem bileşenlerinin miktarlarının etkilerinin irdelenmesi amacıyla da deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. En uygun akımsız kaplama işlem koşullarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen tekrarlı deneyler neticesinde en uygun işlem koşullarının 600 devir/dakika karıştırma hızı, 40 °C sıcaklık ve pH 11 parametreleri olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca en uygun akımsız kaplama bileşen miktarlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler neticesinde en uygun sonuçlar 50 mL sıvı çözeltide 5 gr bakır toz, 0,963 gr gümüş nitrat ve 1,625 gr sodyum-potasyum tartarat kullanımıyla elde edilmiştir. Kompakt malzemelerin üretimi için sıcak pres yöntemi kullanılmıştır. Sıcak pres işlemlerinde 500 °C sıcaklık ve 600 MPa presleme basıncı parametreleri kullanılmıştır. Karakterizasyon işlemleri için taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını difraktometresi (XRD), enerji dağılım spektrometresi (EDS), elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı, sertlik ölçüm cihazı ve Arşimet deney düzeneği kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akımsız kaplama, Bakır, Elektrik kontak malzemeleri, Gümüş, Sıcak presleme

MASTER THESIS

SUMMARY

The Effect of Electroless Coating Parameters on the Physical and Mechanical Properties of Copper Based Electrical Contact Materials

Serhatcan Berk AKÇAY

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Metallurgical and Material Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Temel VAROL
2022, 117 Pages,

In this study, in order to examine the effect of electroless coating parameters on the properties of electrical contact materials produced from silver-coated copper powders by electroless coating method; The effects of temperature, pH and mixing speed were investigated. In addition, experimental studies were carried out in order to examine the effects of the amounts of the process components used in the silver-plating process with the electroless plating method. As a result of repeated experiments carried out to determine the most suitable electroless coating process conditions, it was determined that the most suitable process conditions were 600 rpm mixing speed, 40 °C temperature and pH 11 parameters. In addition, as a result of the experiments carried out to determine the most suitable amount of electroless coating components, the most suitable results were obtained by using 5 g of copper powder, 0.963 g of silver nitrate and 1.625 g of sodium-potassium tartrate in 50 mL of liquid solution. The hot press method was used for the production of compact materials. 500 °C temperature and 600 MPa pressing pressure parameters were used in hot press processes. Scanning electron microscope (SEM), X-ray diffractometer (XRD), energy distribution spectrometer (EDS), electrical conductivity measuring device, hardness measuring device and Archimedean experimental setup were used for characterization processes.

Keywords: Electroless coating, Copper, Electrical contact materials, Silver, Hot-pressing

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bakır ve Bakır Alaşımları Ağacı	4
Şekil 2. Sıcaklığın Saf Bakırın Akma ve Çekme Mukavemetine Etkileri	6
Şekil 3. Saf Bakır.....	7
Şekil 4. Alaşım Elementlerinin İletkenliğe Etkisi	8
Şekil 5. Alaşım Elementlerinin Bakırın Mekanik Özelliklerine Etkisi	9
Şekil 6. Bakır ve Bakır Alaşımlarının Kullanım Alanları Oransal Dağılımı	10
Şekil 7. Elektrik Kontak Malzemeleri	11
Şekil 8. Elektrik Kontak Basit Gösterimi	11
Şekil 9. Elektrik Kontak Yüzeyleri.....	12
Şekil 10. Erimiş Köprü Oluşumu Şematik Gösterimi	13
Şekil 11. Dinamik Kaynak Oluşumu.....	14
Şekil 12. Statik Kaynak Oluşumu Mekanizması.....	14
Şekil 13. Akımlı ve Akımsız Kaplama Yönteminde Kaplama Düzgünlüğü Farkları	17
Şekil 14. -100 Mesh Bakır Tozların Makro Görünümü	25
Şekil 15. Elek Analizi Deney Cihazı.....	26
Şekil 16. Oksit giderme işlemi şematik gösterimi.....	29
Şekil 17. Oksit giderme çözeltisinin başlangıç görüntüsü.....	30
Şekil 18. Bakır tozların oksit giderme çözeltisine ilave edilmesi.....	30
Şekil 19. Oksit giderme işlemi	31
Şekil 20. Oksit giderme işleminin ardından çözeltinin görünümü	31
Şekil 21. Gümüş nitrat kristalinin tartılması.....	32
Şekil 22. Gümüş nitrat çözeltisinin oluşturulması.....	33
Şekil 23. Gümüş kaynağı çözeltisinin karıştırılması	33
Şekil 24. Gümüş nitrat çözeltisi (pH değeri 7 iken)	34
Şekil 25. Gümüş nitrat çözeltisi (pH değeri 9 iken)	34
Şekil 26. Gümüş nitrat çözeltisi (pH değeri 11 iken)	35
Şekil 27. Gümüş nitrat çözeltisi pH ölçümü (pH değeri 11 iken)	35
Şekil 28. İndirgeyici ajan tuzunun tartılması.....	36
Şekil 29. İndirgeyici ajan çözeltisinin hazırlanması için gerekli bileşenlerin hazırlanması	36

Şekil 30. İndirgeyici ajan çözeltisinin hazırlanması.....	37
Şekil 31. Bakır tozlarının indirgeyici ajan çözeltisi içerisinde karıştırılması.....	38
Şekil 32. Gümüş kaynağı çözeltisinin ilave edilmesi.....	38
Şekil 33. Akımsız gümüş kaplama işleminin 5. dakikası.....	39
Şekil 34. Akımsız gümüş kaplama işleminin 15. dakikası.....	39
Şekil 35. Akımsız gümüş kaplama işleminin sonucu.....	40
Şekil 36. Akımsız gümüş kaplama işlemi sonrasında tozların yıkanması.....	40
Şekil 37. Sıcak presleme cihazı	41
Şekil 38. Sıcak presleme cihazı (fırın ve ıstamba)	42
Şekil 39. Hassas terazi	43
Şekil 40. Döner disk zımparalama ve parlatma cihazı	43
Şekil 41. Bakalite alma cihazı	44
Şekil 42. Kesme cihazı	44
Şekil 43. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	45
Şekil 44. Deney sırasında kaydedilen SEM morfoloji inceleme görüntüsü.....	45
Şekil 45. Partikül boyut aralığı tayini cihaz görüntüsü	46
Şekil 46. TGA ünitesi.....	47
Şekil 47. Sertlik ölçüm cihazı.....	47
Şekil 48. +90 µm elek aralığındaki bakır tozların morfoloji incelemesine ait SEM görüntüsü	49
Şekil 49. -90/+40 µm elek aralığındaki bakır tozların morfoloji incelemesine ait SEM görüntüsü.....	49
Şekil 50. -40 µm elek aralığındaki bakır tozların morfoloji incelemesine ait SEM görüntüsü.....	50
Şekil 51. +90 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait partikül boyutu dağılım grafiği.....	51
Şekil 52. -90/+40 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait partikül boyutu dağılım grafiği ..	51
Şekil 53. -40 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait partikül boyutu dağılım grafiği.....	51
Şekil 54. +90 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait XRD grafiği	52
Şekil 55. -90/+40 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait XRD grafiği.....	52
Şekil 56. -40 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait XRD grafiği	53
Şekil 57. İK-1 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	54
Şekil 58. İK-2 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	54

Şekil 59. İK-3 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	55
Şekil 60. İK-4 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	55
Şekil 61. İK-5 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	55
Şekil 62. İK-6 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	56
Şekil 63. İK-7 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	56
Şekil 64. İK-8 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	56
Şekil 65. İK-9 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	57
Şekil 66. İK-10 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	57
Şekil 67. İK-11 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	57
Şekil 68. İK-12 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	58
Şekil 69. İK-13 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	58
Şekil 70. İK-14 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	58
Şekil 71. İK-15 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	59
Şekil 72. İK-16 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	59
Şekil 73. İK-17 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	59
Şekil 74. İK-18 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	60
Şekil 75. İK-19 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	60
Şekil 76. İK-20 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	60
Şekil 77. İK-21 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	61
Şekil 78. İK-22 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	61

Şekil 79. İK-23 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	61
Şekil 80. İK-24 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	62
Şekil 81. İK-25 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	62
Şekil 82. İK-26 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	62
Şekil 83. İK-27 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)	63
Şekil 84. İK-1 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	64
Şekil 85. İK-2 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	64
Şekil 86. İK-3 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	64
Şekil 87. İK-4 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	65
Şekil 88. İK-5 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	65
Şekil 89. İK-6 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	65
Şekil 90. İK-7 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	66
Şekil 91. İK-8 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	66
Şekil 92. İK-9 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	66
Şekil 93. İK-10 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	67
Şekil 94. İK-11 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	67
Şekil 95. İK-12 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	67
Şekil 96. İK-13 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	68
Şekil 97. İK-14 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	68
Şekil 98. İK-15 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	68
Şekil 99. İK-16 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	69
Şekil 100. İK-17 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	69
Şekil 101. İK-18 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	69
Şekil 102. İK-19 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	70
Şekil 103. İK-20 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	70
Şekil 104. İK-21 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	70
Şekil 105. İK-22 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	71
Şekil 106. İK-23 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	71
Şekil 107. İK-24 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	71
Şekil 108. İK-25 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	72

Şekil 109. İK-26 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	72
Şekil 110. İK-27 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri.....	72
Şekil 111. BM-1 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	74
Şekil 112. BM-2 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	74
Şekil 113. BM-3 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	74
Şekil 114. BM-4 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	75
Şekil 115. BM-5 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	76
Şekil 116. BM-6 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	76
Şekil 117. BM-7 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	76
Şekil 118. BM-8 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	77
Şekil 119. BM-9 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	77
Şekil 120. BM-10 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	78
Şekil 121. BM-11 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	78
Şekil 122. BM-12 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü.....	79
Şekil 123. BM-1 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	80
Şekil 124. BM-2 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	80
Şekil 125. BM-3 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	81
Şekil 126. BM-4 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	82
Şekil 127. BM-5 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	82
Şekil 128. BM-6 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	82

Şekil 129. BM-7 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	83
Şekil 130. BM-8 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	83
Şekil 131. BM-9 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	84
Şekil 132. BM-10 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	84
Şekil 133. BM-11 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	85
Şekil 134. BM-12 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü.....	85
Şekil 135. Saf bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği.....	86
Şekil 136. BM-1 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	87
Şekil 137. BM-2 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	87
Şekil 138. BM-3 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	88
Şekil 139. BM-4 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	89
Şekil 140. BM-5 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	89
Şekil 141. BM-6 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	90
Şekil 142. BM-7 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	90
Şekil 143. BM-8 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	91
Şekil 144. BM-9 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	91
Şekil 145. BM-10 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	92
Şekil 146. BM-11 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	92
Şekil 147. BM-12 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği	93
Şekil 148. Oksidasyon direnci karşılaştırma grafiği.....	93

Şekil 149. Saf bakır tozlardan üretilen kompakt numuneye ait mikroyapı inceleme görüntüsü.....	94
Şekil 150. BM-1 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	95
Şekil 151. BM-2 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	95
Şekil 152. BM-3 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	95
Şekil 153. BM-4 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	96
Şekil 154. BM-5 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	97
Şekil 155. BM-6 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	97
Şekil 156. BM-7 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	97
Şekil 157. BM-8 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	98
Şekil 158. BM-9 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	99
Şekil 159. BM-10 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	100
Şekil 160. BM-11 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	100
Şekil 161. BM-12 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü	100
Şekil 162. Saf bakır kompakt numuneye ait elementel haritalama görüntüsü	101
Şekil 163. BM-11 kodlu kompakt numuneye ait elementel haritalama görüntüsü	102
Şekil 164. Kompakt numunelere ait yoğunluk deney sonuçları.....	103
Şekil 165. Kompakt numunelere ait sertlik deney sonuçları	104
Şekil 166. Kompakt numunelere ait elektriksel iletkenlik deney sonuçları	105

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İşlem Bakır Alaşımları [10]	3
Tablo 2.Döküm Bakır Alaşımları [10]	3
Tablo 3.Saf Bakırın Kimyasal Özellikleri	5
Tablo 4. Saf Bakırın Mekanik Özellikleri	5
Tablo 5. Saf Bakırın Fiziksel Özellikleri [18]	7
Tablo 6. Bazı elektrik kontak malzemeleri ve kullanım alanları [37]	16
Tablo 7. Toz Metalurjisi ile Üretilen Malzemelerin Kullanım Alanları [59]	21
Tablo 8. Akımsız Gümüş Kaplama Koşullarının Partikül Morfolojisi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi Deney Parametreleri (1.Grup Deneyler)	27
Tablo 9. Akımsız Gümüş Kaplama Banyo Bileşen Miktarının Etkisinin Belirlenmesi Amacıyla Gerçekleştirilen Deney Parametreleri (2. Grup Deneyler)	28

SEMBOLLER DİZİNİ

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	: Amonyum Sülfat
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
μm	: Mikrometre
A_c	: Temas Alanı
Ag	: Gümüş
AgNO_3	: Gümüş Nitrat
Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
cm	: Santimetre
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
dev.	: Devir
dk	: Dakika
EDS	: Enerji Dağılımı Spektroskopisi
F	: Kuvvet
gr	: Gram
GPa	: Giga Paskal
H	: Malzeme Sertliği
HB	: Brinell Sertliği
IACS	: Uluslararası Tavlı Bakır Standardı
K	: Kelvin
kJ	: Kilo Joule
$\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	: Sodyum Potasyum Tartarat
m	: Metre
Mg	: Magnezyum
ml	: Mililitre
Mo	: Molibden
MPa	: Mega paskal
NH_3	: Amonyak

OFHC	: Oksijensiz Bakır
P	: Fosfor
pH	: Hidrojen Gücü
ppm	: Milyonda Bir
R _c	: Kontak direnci
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
TGA	: Termo Gravimetrik Analiz
W	: Watt
XRD	: X-Işını Difraksiyonu
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
Zn	: Çinko
σ_a :	Akma Mukavemeti
$\sigma_{\check{c}}$	: Çekme Mukavemeti
ρ	: Özdirenç

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Bakır (Cu) insanlık tarihinde kullanılmış olan en eski metallere biridir. Bu özelliği nedeniyle de asırlar boyunca üzerine çalışmalar yapılmıştır ve sürekli gelişim halindedir. Günümüzde bakır ve bakır alaşımları mühendislik malzemelerinin üretimi için kullanılan çok yönlü bir malzeme grubudur. Mukavemet, korozyon direnci, termal ve elektriksel iletkenlik, işlenebilirlik ve süneklik gibi özellikleri nedeniyle birçok sektörde yerini almıştır ve kullanımı her geçen gün hızla artmaktadır. Bu özelliklerine ek olarak geri dönüşüme uygun bir metal olması nedeniyle de bakır ve bakır alaşımları mühendislik alanında tercih sebebi olmaktadır. Yıllık üretimi yapılan bakır ve bakır alaşımlarının neredeyse %40 oranında bulunan kısmı geri dönüşüm ile üretilmektedir [1]. Hem geri dönüştürülebilirliği hem de mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle birçok sektörde kendine yer bulan bakır ve bakır alaşımları elektrik-elektronik sektöründe de büyük bir pazar payına sahiptir.

Elektrik kontak malzemeleri bir elektrik devresinde bulunan iki sistem arasında ve sistem üzerinde olumsuz bir durum yaratmadan ayrılabilir bir ara yüzey oluşturmak amacı ile kullanılan elektromekanik malzemelerdir. Dolayısıyla elektrik kontak malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile bunlara bağlı olarak ortaya çıkan kullanım ömrü elektrik devresinin sağlığını etkileyen en önemli parametrelerden biridir [2]. Elektrik devresi çalışma durumunda iken devrede kullanılan kontak malzemeleri aşınabilir ya da bulunduğu ortama bağlı olarak korozyona uğrayabilir. Bu nedenle bir elektrik devresinde kullanılan elektrik kontak malzemesinin sadece iyi bir iletkenlik özelliğine sahip olması tek başına yeterli olmamaktadır. Kullanım ömrü göz önüne alındığında iyi bir elektrik kontak malzemesinin aynı zamanda iyi mekanik özelliklere de sahip olması gerekmektedir [3]. Yüksek elektriksel ve termal iletkenlik özellikleri ve uygun maliyeti ile birlikte bakır, elektrik kontak malzemelerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Elektriksel iletkenlik özelliği olarak gümüşten sonra en kullanışlı element olan bakır, elektrik kontak malzemelerinde saf halde kullanılabileceği gibi alaşım ya da kompozit olarak da kullanılabilir [4].

Akımsız kaplama tekniği 1946 yılında Brenner & Riddell tarafından keşfedilmiştir. Akımsız kaplama yöntemi gün geçtikçe daha yaygın kullanım alanları bulmakta ve daha yüksek mekanik ve fizikokimyasal özelliklere ulaşmayı sağlamaktadır.

Akımsız kaplama yöntemi hem kaplanan ürünün tüm yüzeylerinde düzgün bir kaplama hem de iletken olmayan malzemelerin kaplanabilmesini sağlaması nedeniyle birçok farklı kaplama yöntemiyle kıyaslandığında üstünlük göstermektedir. Bu özellikleri nedeniyle fonksiyonel malzemelerin üretilmesine olanak sağlayan ve istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere ulaşma noktasında üstünlük gösteren akımsız kaplama tekniği elektrik-elektronik sektöründe kullanılan malzemelerin üretilmesi konusunda da kendisine yer bulmuştur [5].

Bu çalışmada, akımsız gümüş kaplama yöntemiyle gümüş kaplanmış bakır tozları ile üretilen elektrik kontak malzemelerinde akımsız kaplama parametrelerinin etkisi üzerine çalışılacaktır. Çeşitli boyutlardaki bakır tozlarının akımsız gümüş kaplama yöntemiyle farklı parametreler göz önüne alınarak kaplanması sonucunda mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirilmiş yeni tozlar üretilecek ve bu tozlar da elektrik kontak malzemelerinin üretiminde kullanılacaktır. Bu çalışmadaki kaplama işleminin en önemli avantajı tozların kaplanması sebebiyle şekillendirme işlemi sonrasında gümüşün yüksek iletkenliği ve oksidasyon direnci ile daha uzun ömürlü bir malzeme oluşturmak ve buna ek olarak üretilmiş malzemenin kendi kendini yenileyebilmesi sebebiyle aşınma meydana gelmesi durumunda dahi aynı mekanik ve fiziksel özellikleri gösteren yeni bir tabakanın ortaya konulmasını sağlamaktır.

1.2. Bakır ve Bakır Alaşımları

Üretim sanayiinde demir dışı metallere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Demir dışı metallerin başında kullanılabilirlik açısından en yaygın alana sahip metaller ise bakır ve bakır alaşımları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bakır ve bakır alaşımlarının elektriksel ve termal iletkenlik özelliklerinin yüksek olması ayrıca düşük reaktivite seviyesine sahip olması nedeniyle ortaya çıkan yüksek korozyon direnci neredeyse tüm endüstriyel sektörlerde, özellikle elektrik-elektronik sektöründe kullanım alanlarının büyük derecede öneme sahip olmasını sağlamaktadır [6].

Bakır saf olarak üretilip kullanılabildiği gibi nikel, demir, kurşun, mangan, kobalt, silisyum, gümüş, kalay, berilyum ve zirkonyum gibi alaşım elementleri ile ya da bu elementlerin oluşturmuş olduğu bileşikler ile alaşımlandırılabilir. Alaşım elementlerinin ilavesi ile bakırın fiziksel ve mekanik özelliklerinde alaşımın türüne bağlı olarak gelişim gözlenmektedir [7].

Bakır ve bakır alaşımları ve döküm bakır ve bakır alaşımları olarak ikiye ayrılmaktadır. Dövme bakır ve bakır alaşımları soğuk veya sıcak durumda haddeleme ve dövme yoluyla üretime uygun alaşımları kapsamaktadır. Döküm bakır ve bakır alaşımları ise uygun döküm niteliklerine sahip, döküm ile yapılacak üretimleri kapsamaktadır [8]. Döküm bakır ve bakır alaşımları su tesisatı araç ve gereçlerinden nükleer ekipmanlara kadar geniş bir kullanım alanı aralığına sahiptir [9].

Tablo 1. İşlem Bakır Alaşımları [10]

Alaşımlar	Temel Alaşım Elementleri
C1xxxx	Bakır oranı yüksek alaşımlar
C2xxxx	Bakır-Çinko alaşımları
C3xxxx	Bakır-Çinko ve Kurşun alaşımları
C4xxxx	Bakır-Çinko ve Kalay alaşımları
C5xxxx	Bakır-Kalay alaşımları
C6xxxx	Bakır-Alüminyum – Silisyum – Çinko alaşımları
C7xxxx	Bakır-Nikel ve Bakır-Nikel – Çinko alaşımları

Tablo 2.Döküm Bakır Alaşımları [10]

Alaşımlar	Temel Alaşım Elementleri
C8XXXX	Yüksek bakır içeren döküm alaşımları.
C9XXXX	Bakırın kalay, kurşun, nikel ve çinko gibi farklı elementlerle alaşımlandırılması ile elde edilen bakır alaşımı türü.



Şekil 1. Bakır ve Bakır Alaşımları Ağacı [11]

Şekil 1’de görüldüğü üzere saf bakırın elementlerle ve bu elementlerin birbirleri arasındaki kombinasyonlarıyla oluşturmuş olduğu birçok alaşımı bulunmaktadır. Yaklaşık olarak 400 farklı bakır alaşımı olduğu bilinmektedir [12].

1.2.1. Saf Bakır ve Özellikleri

Saf bakır, yüksek elektrik ve termal iletkenliğin gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Saf bakır, diğer bakır alaşımlarına göre daha düşük mukavemet göstermektedir. Ancak uygulanan soğuk deformasyon ile mukavemet değerlerinde artış olmaktadır.

Soğuk şekil değişimine maruz kalan saf bakırın mukavemet değerleri yükselirken iletkenlik özelliklerinde nispeten düşüş gözlemlenmektedir ancak düşük yeniden kristalleşme sıcaklığına sahip olması nedeniyle tekrar yumuşatma işlemi kolaylıkla uygulanabilir [8]. Oksijen konsantrasyonu 10 ppm değerinden düşük olan bakır, yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip oksijensiz bakır (OFHC) olarak isimlendirilmektedir. Oksijensiz bakır neredeyse %100 Uluslararası Tavlı Bakır Standardı(IACS) iletkenlik değerine sahiptir [13].

1.2.2. Saf Bakır Kimyasal Özellikleri

Saf bakır yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip bir elementtir. Birçok metal nemli atmosferde reaksiyona girerek korozyona uğramaktadır. Ancak saf bakırın korozyon direnci oldukça yüksektir. Bunun nedeni bakır ve bakır alaşımlarının korozif ortamlara karşı dayanım gösteren kararlı bileşikler oluşturmaları olarak gösterilmektedir [14].

Bakır periyodik cetvelde “Cu” ile simgelenmektedir. Atom Numarası 29 ve Atom ağırlığı da 63,54’tür. Yoğunluğu 8,93 gr/cm³’tür. 1B geçiş grubu elementi olan bakır, tabiatta az oranda olarak sülfürlü, oksitli ve kompleks halde yer alır. Bakırın kimyasal özellikleri Tablo 3.’de gösterilmektedir.

Tablo 3. Saf Bakırın Kimyasal Özellikleri

KİMYASAL ÖZELLİKLER	
Simgesi	Cu
Atom Numarası	29
Atom Ağırlığı (gr/mol)	63,55
Grup, Periyot, Blok	11,4,d

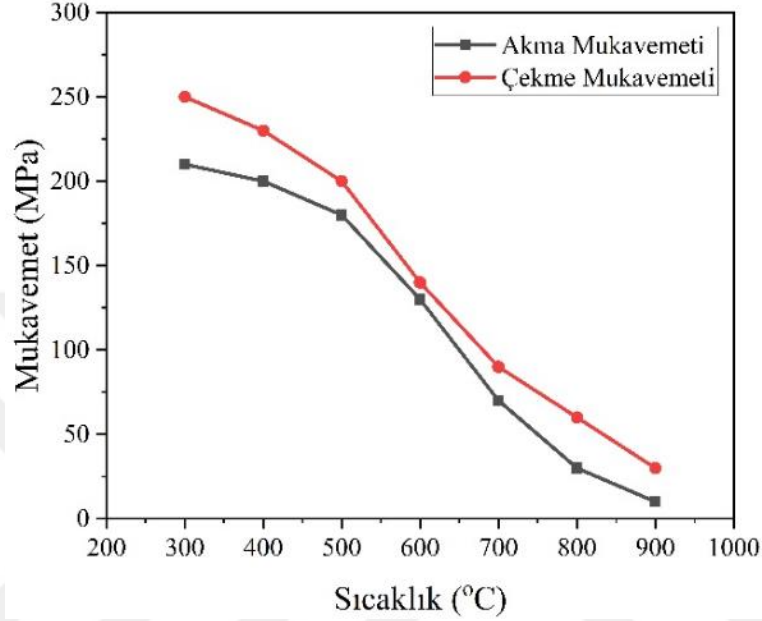
1.2.3. Saf Bakır Mekanik Özellikleri

Saf bakır yumuşak bir metaldir ve mukavemet değerleri de buna bağlı olarak düşüktür ancak yüksek elektriksel iletkenliğin tercih edildiği kullanım alanlarında kendine büyük bir yer bulmaktadır. Saf bakır da dahil olmak üzere neredeyse bütün bakır alaşımları çok düşük sıcaklıklarda dahi mekanik özelliklerini korumaktadırlar. Saf bakır sıcak kırılmalığa neden olmadığı için yüksek sıcak şekillendirme yeteneğine sahiptir. Bakır’ın mekanik özellikleri soğuk şekillendirme ile geliştirilebildiği gibi alaşımlama yöntemiyle de geliştirilebilir. Ancak alaşımlama sonucunda saf bakır kadar yüksek iletkenlik gözlemlenmemektedir. Bakır’ın ortalama mekanik özellikleri Tablo 4’de açıklanmıştır [15].

Tablo 4. Saf Bakırın Mekanik Özellikleri

Özellik	Birim	Tavlanmış saf bakır	Sertleştirilmiş saf bakır
Elastiklik Modülü	GPa	115	125
Kayma Modülü	GPa	42,5	47,5
Çekme Mukavemeti	MPa	225	330
Akma Mukavemeti	MPa	80	265
Uzama	%	35	4
Brinell Sertliği	HB	45	95

Tablo 4 incelendiğinde tavllanmış yani herhangi bir deformasyona maruz kalmamış bakır ile soğuk deformasyonla sertleştirilmiş bakırın mekanik özellikleri arasında oldukça büyük bir fark olduğu görülmektedir. Tavllanmış bakırın mukavemet ve sertlik değerleri, sertleştirilmiş bakıra göre çok daha düşük değerlere sahip olarak görülmektedir.



Şekil 2. Sıcaklığın Saf Bakırın Akma ve Çekme Mukavemetine Etkileri [16]

Şekil 2 incelendiğinde sıcaklığın saf bakırın mekanik özelliklerine olan olumsuz etkileri anlaşılmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte “ σ_a ” akma mukavemeti ve “ σ_{ϵ} ” çekme mukavemetinin düşmekte olduğu açıkça görülmektedir [16]. Bunun sebebi olarak artan sıcaklıkla beraber taneleri bir arada tutan kuvvetlerin azalması gösterilebilir.

1.2.4. Saf Bakır Fiziksel Özellikleri

Saf bakır çok iyi elektrik ve termal iletkenlik özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte yüksek korozyon direnci ve yüksek şekillendirme kabiliyeti bakırın üretim sektöründe kullanım alanını oldukça arttırmıştır [17]. Saf bakır diğer metal ve alaşımlar arasında gümüşten sonra en yüksek iletkenliğe sahip olan malzemedir. Kozmetik olarak da saf bakırın sahip olduğu renk nedeniyle kullanım alanı oldukça fazladır. Şekil 3’de turuncu-kırmızı arasında bir renge sahip olan saf bakır gösterilmektedir.



Şekil 3. Saf Bakır

Bakır kaynak, lehimleme, cıvata ve yapıştırıcılar kullanılarak kolayca birleştirilebilir bir metaldir. Bu özellikleri bakırın sanat alanında da popülerliğini arttırmıştır. Tablo 5’de saf bakıra ait fiziksel özellikler gösterilmektedir.

Tablo 5. Saf Bakırın Fiziksel Özellikleri [18]

Fiziksel Özellikler	
Ergime Noktası	1084,62 °C
Kaynama Noktası	2562 °C
Katı Yoğunluk	8,96 gr/cm ³
Sıvı Yoğunluk	8,02 gr/cm ³
Difüzyon Isısı	13,26 kJ/mol
Buharlaşma Isısı	300,4 kJ/mol
Molar Isı Kapasitesi	24,400 j/ (mol.K)
Termal İletkenlik	399 W/m.K
Elektriksel İletkenlik	59 MS(mega-siemens)/m

Tablo 5 incelendiğinde yüksek termal ve elektrik özelliğine sahip olmasıyla elektrik-elektronik sanayii başta olmak üzere birçok sektörde kendine yer bulan bakır, nispeten yüksek yoğunluğu nedeniyle kullanım kısıtlanmasına maruz kalabilmektedir. Elektronik ve elektromekanik bileşenlerin küçültülmesi, hafifleştirilmesi ve artan malzeme maliyeti, otomotiv ve bilgisayar teknolojileri için yüksek performanslı bakır alaşımlarının geliştirilmesine duyulan ihtiyacı arttırmaktadır.

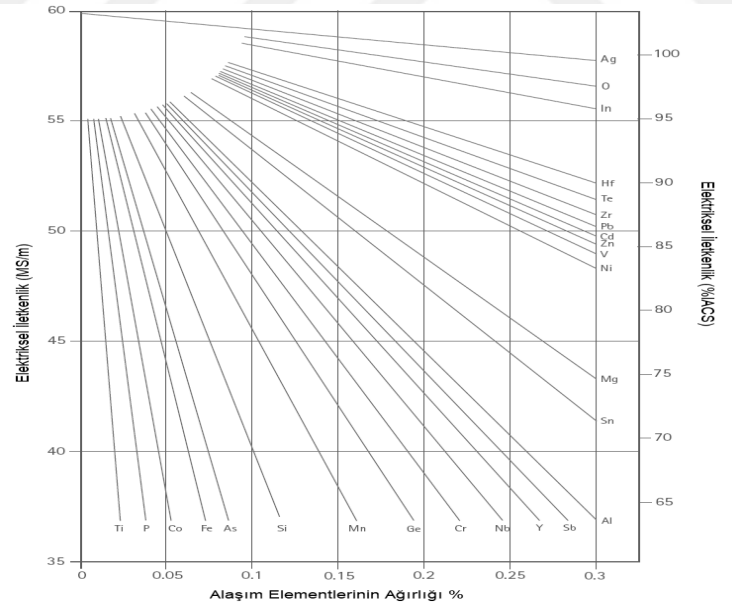
1.2.5. Bakırda Hidrojen Gevrekliği

Bakır ve bakır alaşımları, elektriksel ve ısı iletkenlikleri, korozyona karşı iyi dirençleri, imalat kolaylığı, mukavemet ve yorulma dirençleri ile endüstride tercih sebebi olmaktadır. Bu özellikler, bakır alaşımlarını çeşitli elektriksel ve ısı iletkenliğe ihtiyaç duyulan endüstriyel uygulamalar için uygun kılar. Ancak, bu endüstriyel işlemlerin çoğu Hidrojen ortamında gerçekleşmektedir ve hidrojenin bakır alaşımları ile etkileşimi, bakır ve bakır alaşımlarının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Hidrojen tüm metallerde bir dereceye kadar çözünmektedir. Malzemenin kütleğinde çözünmüş hidrojen, malzemenin mekanik özelliklerini kırılganlık oluşturabilecek düzeyde etkileyebilir ve malzemenin hidrojen gevrekleşmesine maruz kalmasına neden olabilir. Hidrojen, oksijen içerdiği durumlarda yüksek sıcaklıklarda bakır alaşımlarına zarar vermektedir, bu durum doğrudan hidrojenin katı madde içinden geçme kabiliyetine bağlıdır [19].

1.2.6. Alaşım Elementlerinin Saf Bakıra Etkileri

Saf bakır bünyesinde %0.04-0.05 oksijen ihtiva ettiği bu oksijeni gidermek için için alaşımlardırma işlemi uygulanabilir. Temel olarak oksijen gidermek için Çinko (Zn), fosfor (P), silisyum (Si), kalsiyum (Ca), berilyum (Be), alüminyum (Al) ve magnezyum (Mg) kullanılmaktadır. Ancak oksijen gidermek için kullanılan bu elementler bakırın elektrik ve termal iletkenliğini olumsuz yönde etkilemektedirler. Şekil 4’de alaşım elementlerinin bakırın elektrik iletkenliğine etkileri gösterilmektedir.



Şekil 4. Alaşım Elementlerinin İletkenliğe Etkisi [20]



Şekil 5. Alaşım Elementlerinin Bakırın Mekanik Özelliklerine Etkisi

Şekil 5’de alaşım elementlerinin saf bakırın mekanik özelliklerine etkileri gösterilmektedir. Burada korozyon dayanımı, mukavemet, işlenebilirlik ve aşınma dayanımlarına birçok farklı elementin olumlu olumlu yönde etki yaptığı görülmektedir. Ancak Şekil 4’de belirtildiği üzere saf bakıra ilave edilen herhangi bir alaşım elementi, saf bakırın elektriksel iletkenliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

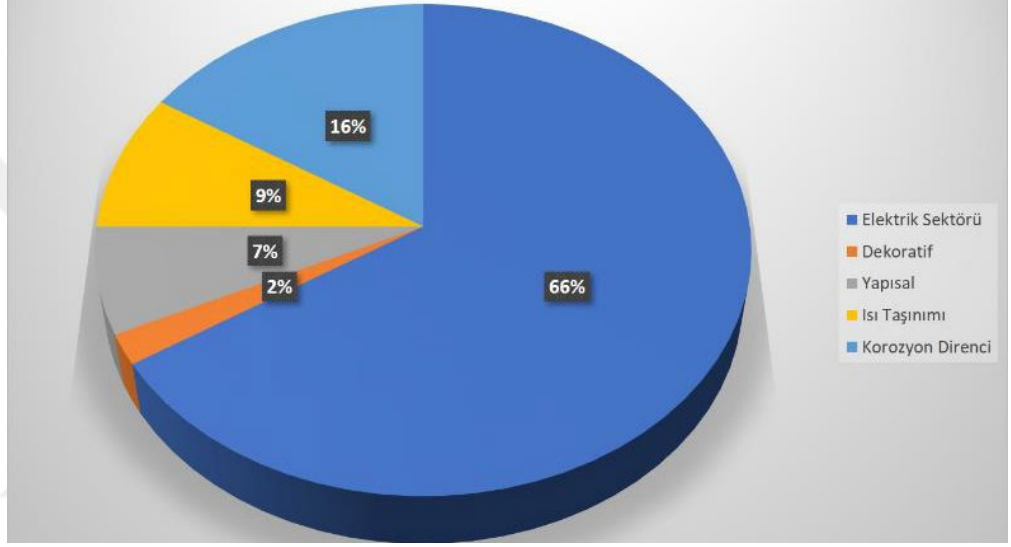
1.2.7. Bakır ve Bakır Alaşımlarının Kullanım Alanları

Bakır ve bakır alaşımları, doğada çok bulunmasının yanı sıra üstün fiziksel ve mekanik özellikler göstermesi nedeniyle elektrik-elektronik başta olmak üzere birçok farklı sektöre hizmet vermektedir ve hizmet alanları her geçen gün artmaktadır.

Bakır ve bakır alaşımları;

- Elektrik sektöründe tel ve kablo, transformatörler, anahtarlar ve konektörler gibi elektrik enerjisi iletiminin gerekli olduğu yerlerde; stator ve rotor gibi parçalarda kullanımıyla motorlarda; iletişim kabloları ve konutlarda kullanımıyla haberleşme ve tesisatta sıklıkla kullanılmaktadır [21].
- Elektronik sektöründe, yüksek frekanslı ve ultra yüksek frekanslı tüplerde, baskı devrelerde, haberleşme kartlarında, entegre devrelerde ve bunların ara bağlantılarında sıklıkla kullanılmaktadır [21].

- Makine ve imalat sektöründe, sürekli döküm kalıpları, kalıp soğutma zarfları, derin çekme kalıpları, boru bükme mandrelleri, ocak elektrot tutucuları, burçlar, ocak ve makine soğutma sistemleri, kama ve saplamalar gibi birçok farklı noktada kullanılmaktadır [22].
- Petrokimya ve Enerji sektöründe de bakır ve bakır alaşımları kömür yakıtlı elektrik santrallerinde, güneş panellerinde, eşanjörlerde ve benzeri birçok teçhizatda kullanılmaktadır [23].



Şekil 6. Bakır ve Bakır Alaşımlarının Kullanım Alanları Oransal Dağılımı [24]

Şekil 6 incelendiğinde dünyada bakır ve bakır alaşımlarının ağırlıklı olarak kullanılmakta olduğu sektörler ve bu sektörlerde bakır ve bakır alaşımlarının kullanım yüzleri anlaşılmaktadır.

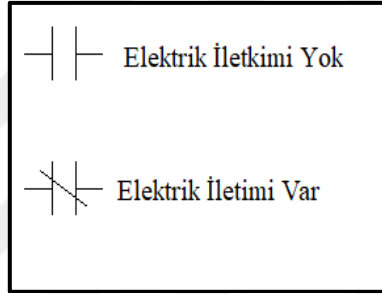
1.3. Elektrik Kontak Malzemeleri

Elektrik kontak malzemeleri, anahtarlar, röleler, devre kesiciler ve bağlayıcılar gibi elektriksel temas sağlayan elektrik devre bileşenleridir [25]. Kontak malzemeleri, elektriksel iletkenlik özelliği gösteren tipik olarak metal olan malzemelerdir. Her bir çift temas ettiğinde, yüzey yapısı, yüzey kimyası ve temas süresine bağlı olarak belirli bir temas direnci ile elektrik akımını iletmektedirler [26]. Bahsi geçen bu çift arasına bir yalıtım malzemesi konumlandırıldığında elektriksel temas gerçekleşmeyeceğinden elektrik akımı iletilmez.

Elektriksel temasın gerçekleştiği yüzeyler genellikle yüksek elektrik iletkenliği, korozyon ve aşınma direnci ve gerekli mekanik özelliklere sahip malzemelerden oluşmaktadır.



Şekil 7. Elektrik Kontak Malzemeleri



Şekil 8. Elektrik Konağı Basit Gösterimi

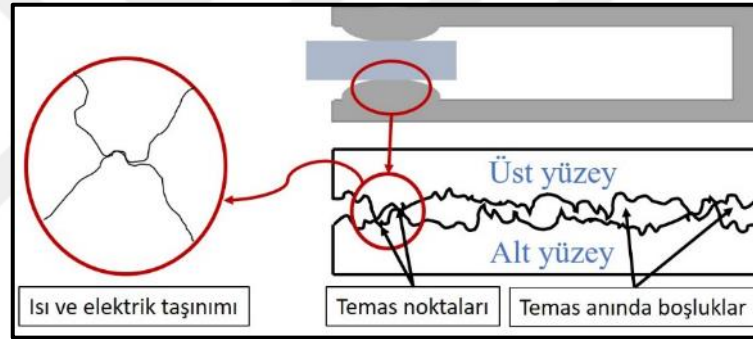
1.3.1. Elektrik Kontak Malzemeleri Genel zellikleri

Elektrik kontak malzemeleri belirli fiziksel ve mekanik özelliklere sahiplerdir. Temel olarak elektrik kontak malzemeleri sistemsel çalışma sırasında ortaya çıkabilecek sorunları ortadan kaldırması için iyi elektriksel ve termal iletkenliğe sahip olmalıdır [27]. Elektrik kontak malzemelerinin çalışma sırasındaki hareketinden dolayı ark erozyonu, metal transferi ve yüzey deformasyonu gibi çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır ve bu da kontak malzemelerinin çalışma ömrünü azaltmaktadır [28]. Bundan dolayı elektrik kontak malzemeleri iyi elektriksel ve termal iletkenlik gösteren aynı zamanda aşınma ve korozyon dayanımı yüksek malzemelerden seçilmelidir.

Bakır, yüksek elektriksel ve termal özellikleri nedeniyle elektrik kontak malzemelerinde gümüş ve altın gibi kullanılmaktadır. Ayrıca işleme kolaylığı ve maliyet faktörleri de bakırın elektrik kontak malzemesi olarak kullanılabilirliğini arttırmaktadır [29].

1.3.2. Kontak Direnci

Mikroskobik ölçekte tüm yüzeyler boyutları ve dağılımları imalat yöntemine bağlı olarak tepe ve çukur bölgelerden oluşmaktadır. Bu sebeple iki temas yüzeyi bir araya getirildiğinde yüzeylerin tamamı değil yalnızca birkaç nokta temas etmektedir. Ayrıca bu temas noktalarının çevre koşullarına bağlı olarak oksitlenmesi veya kir ile kaplanması da söz konusudur. Bundan dolayı, gerçek temas alanı görünür temas alanının çok küçük bir kesimidir. Şekil 9. İncelendiğinde bahsi geçen tepe-çukur bölgeleri ve gerçekte temas eden kontak noktaları görülmektedir. Elektrik akımının akacağı yüzey alanı yani malzemenin birbirine temas eden kısmının hacmi azaldığından direnç artmakta buna bağlı olarak da elektrik akım hatları zayıflamaktadır. Oksit ve kirletici tabakaların artması da elektrik akımının iletilmesini olumsuz yönde etkilemektedir [30].



Şekil 9. Elektrik Kontak Yüzeyleri

Temas yalnızca belirli noktalarda gerçekleştiği için tüm temas basıncı bu noktalar tarafından karşılanmaktadır. Bu nedenle genellikle bu temas noktalarında plastik deformasyon gözlemlenmektedir. Bu da temas noktalarına uygulanan kuvvet ve temas malzemelerinin sertliği arasındaki bir denklem ile belirlenmektedir.

$$F=A_c.H \quad (1)$$

Burada F uygulanan kuvvet, A_c temas alanı/alanlarının toplamı, H malzemenin sertliğini ifade etmektedir [30].

Plastik deformasyon olduğu varsayılarak, yeterli temas alanı ve malzemenin yüzeyinin temiz olduğunu varsayarsak kontak direnci;

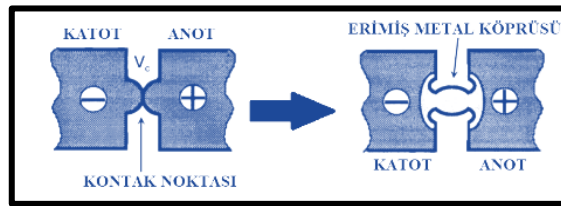
$$R_c = \frac{\rho}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot H}{F}} \quad (2)$$

Burada R_c kontak direnci, ρ kontak malzemesinin öz direnci, H malzemenin sertliği ve F uygulanan kuvveti ifade etmektedir [30].

Kontak direncinin artması ile birlikte sıcaklık da artmakta ve buna bağlı olarak kontak malzemesinin iletkenlik kabiliyeti azalmaktadır. Kontak kuvvetinin artması ile temas alanı artacak buna bağlı olarak sıcaklık azalacaktır ancak bu durumda da uygulanan yüksek kuvvet nedeniyle malzemenin aşınma sorunu ortaya çıkacaktır. Kontak direncinin azaltılması için öncelikle iletkenlik özelliği yüksek malzeme seçilmeli ve ardından uygun kontak kuvveti belirlenmelidir. Ayrıca seçilen malzemenin korozyona dayanımı da oldukça önem arz etmektedir çünkü korozyon ve kir kontak direncini arttırmaktadır [31].

1.3.3. Ark Erozyonu ve Malzeme Taşınımı

Kontakların açılması ve kapanması sırasında gerçekleşen akım geçişi ve kaynak oluşumu olayları esnasında iki kontak arasında malzeme taşınımı vasıtasıyla elektriksel aşınma yani ark erozyonu oluşmaktadır. Bu durum kontak malzemesinin kullanım ömrünü ve performansını düşürmektedir.



Şekil 10. Erimiş Köprü Oluşumu Şematik Gösterimi

Kontakların ayrılması sırasında temas noktalarının yüzey pürüzlülüğü nedeniyle birkaç noktaya indirgenmesi akım taşıma alanının daralmasına ve buna bağlı olarak ortaya çıkan direnç de ısınmaya neden olmaktadır. Oluşan bu ısıyla birlikte kontaklar daha da ayrıldıkça erimiş köprü adı verilen bir metal köprüsü oluşur (Şekil 10). Kontaklar arasındaki boşluk arttıkça erimiş metal köprüsünün çapı azalır [32].

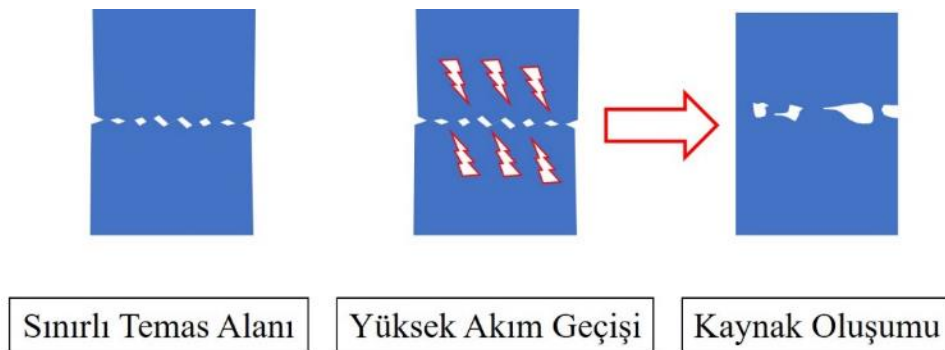
1.3.4. Kaynak Oluşumu

Elektrik kontaklarının kaynağı iki şekilde gerçekleşebilir. Bunlardan ilki “dinamik kaynak” olarak isimlendirilir. Dinamik kaynağın oluşma mekanizması Şekil 11’de gösterilmiştir. Kontaklar yük altında kapanıp temas ettiklerinde dinamik kaynak oluşabilir. Kontakların geri açılması durumunda meydana gelen ark temas bölgelerinde ergimeye sebep olmakta ve bu ergime de kontakların birbirine kaynak olmasını sağlamaktadır.



Şekil 11. Dinamik Kaynak Oluşumu

İkinci kaynak oluşumu ise “statik kaynak” olarak adlandırılmaktadır. Statik kaynak oluşum mekanizması kapalı konumdaki kontaklar arasındaki yüzey pürüzlülüklerinden ötürü oluşan küçük temas noktalarındaki kısa süreli yüksek akım geçişleri sırasında ortaya çıkan direnç nedeniyle bölgesel olarak meydana gelen ısınma ile ergimelerin ve kaynak oluşumunun meydana gelmesi olarak açıklanabilir. Statik kaynak oluşumu mekanizması Şekil 12’de gösterilmiştir [30].



Şekil 12. Statik Kaynak Oluşumu Mekanizması

1.3.5. Köprü Oluşumu

Elektrik kontaklarında açma-kapama işlemlerinin sürekliliği nedeniyle kontak temas noktalarında aşınma ve benzeri nedenlerle azalma meydana gelmektedir. Kontakların devamlı olarak açılması durumunda düşük temas noktaları nedeniyle oluşan ısı sonucu meydana gelen ergime ile birlikte akım taşıyan metal köprüleri oluşmaktadır. Erimiş köprü temas noktaları birbirlerinden ayrıldıkça ısınmaya devam eder hatta bazı durumlarda metali eritip devrenin tamamlanmasını engelleyecek kadar ısınabilir. Bu da kontak malzemelerinin yüzeylerine zarar vermektedir. Tepe ve çukur gibi bir yüzey oluşumuna sebep olan bu durum neticesinde düzgün olmayan metal transferi sürekli olarak gerçekleşir ve kontak malzemelerinden birini tüketir. Bu esnada meydana gelen yüzey deformasyonu kontakları kilitleyerek açılmalarını engelleyebilir [33].

Kontak malzemesi seçilirken elektriksel ve ısı iletkenlik, termal dayanıklılık, mekanik özellikler ve korozyon direncinin önemi bahsedilen bu konularda ortaya konulmuştur.

1.3.6. Elektrik Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları

Elektrik kontak malzemeleri hem ticari olarak hem de araştırma çalışmaları için kullanılmaktadırlar. Gümüş-bakır, bakır-berilyum, bakır-krom, bakır-kalay, bakır-nikel, bakır-zirkonyum, gümüş-kalay oksit, gümüş-çinko oksit gibi elektrik kontak malzemeleri de bazı uygulamalarda kullanılmaktadır [34].

Elektrik kontaklarının bileşenlerine göre kullanım alanları da farklılık göstermektedir. Yüksek akım taşıyacak kullanım alanlarda büyük miktarda refrakter taşıyan malzemeler, ısınmanın olmadığı düşük akım ve düşük voltaj kullanılacak alanlarda ise yüksek miktarda metal taşıyan malzemeler kullanılmaktadır. Kontak malzemelerinin seçimi ve tasarlanması kullanım yerine bağlı olarak farklılık göstermektedir [35].

Tüm devre bağlantılarında akım ve gerilim şartlarına göre farklı kontaklar kullanılmaktadır. Düşük akım ve gerilim şartlarında metal ağırlıklı kontak malzemeleri kullanılırken, yüksek akım ve gerilim şartlarında refrakter metal içeren ergime sıcaklığı yüksek malzemeler kontak olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında kontak malzemesindeki refrakter metal miktarına göre de kontak malzemesinin kullanım alanı değişmektedir [36].

Tablo 6’da elektrik kontak malzemesi olarak kullanılan malzemeler özetlenmiştir. Tablo 6’da da görüldüğü üzere kullanılacak olan kontak malzemesi kullanım alanı ve çevre şartlarına bağlı olarak seçilmeli ve üretilmelidir.

Tablo 6. Bazı elektrik kontak malzemeleri ve kullanım alanları [37]

Kontak Malzemesi	Kullanım Yeri
Ag	Düşük akım ile çalışan röleler, elektronik kartlar, otomotiv endüstrisi
Ag-W	Gerilim düzenleyici sistemler, iklimlendirme makinaları
Ag-WC	Sigortalar, devre kesici bileşenler
Ag-Mo	Kontaktörler, sigortalar, devre kesici bileşenler
Ag-C	Sürtünmeye maruz kalan kontak malzemeleri, devre kesici elemanlar, hem yüksek hem düşük akım taşıyan röleler
Ag-Cu	Isıtıcı sistemler, aydınlatma bileşenleri
Cu-C	Sigortalar, sürtünmeli çalışan elemanlar
Cu-W	Elektrik devrelerinde ark başlatıcılar, devre sonlandırıcı elemanlar
Cu-Cr	Vakumlu sistemler, ark oluşturucu ve sonlandırıcı elemanlar

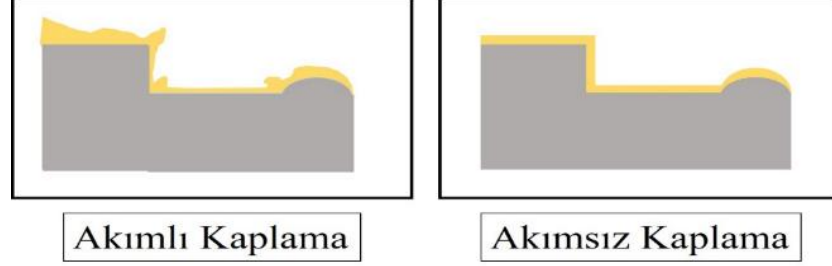
1.4. Akımsız Kaplama

Akımsız kaplama, bir indirgeyici madde içeren sulu bir çözeltide metalik bir iyonun kimyasal olarak indirgenmesi ve daha sonra elektrik enerjisi kullanılmadan, özellikle geleneksel galvanik kaplama teknolojisinden farklı olarak metalin biriktirilmesidir [38].

Akımsız kaplama yöntemi, herhangi bir uygulamada kullanılacak olan malzemenin tribolojik ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmakta ve uygulama alanı her geçen gün artmaktadır. Akımsız kaplama yöntemi ile birlikte birden fazla fonksiyonel özelliğe sahip malzeme oluşturmak için kaplama üzerine kaplama yapmak gibi birçok teknik geliştirilmiş ve uygulanmaktadır [39].

Akımsız kaplama yöntemleri ve akımlı kaplama yöntemleri kıyaslandığında kaplama kalınlığının akımsız kaplama yöntemlerinde daha homojen olduğu görülmüştür. Akımlı kaplama yöntemlerinde özellikle keskin köşelerde meydana gelen düzensiz kaplamanın nedeni ise akım yoğunluğu ile açıklanmaktadır.

Keskin köşelerde sabit akım uygulanan bir sistemde yüzey alanının değiştiğini hesaba katarsak akım yoğunluğunun diğer bölgelere göre daha yüksek olacağı ve bu noktalarda birikme meydana gelmesinin mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Akımlı ve akımsız kaplama yöntemlerinde kaplama homojenliği ile ilgili karşılaştırma görseli verilmiştir.



Şekil 13. Akımlı ve Akımsız Kaplama Yönteminde Kaplama Düzgünlüğü Farkları [40]

1.4.1. Akımsız Kaplama Yönteminin Genel Özellikleri

Akımsız kaplama, herhangi bir elektrik kaynağı olmadan, sulu çözelti içerisinde gerçekleşen ve farklı türlerde uygulanabilen bir kaplama yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Akımsız kaplama yönteminde genel uygulama alanları metal ve metal alaşımları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Akımsız kaplama, katalitik bir yüzey üzerinde sürekli bir tabakanın karmaşık bir bileşiğin ve bir kimyasal indirgeyici maddenin tepkimesiyle kontrollü bir oto katalitik birikimi olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem, basit ekipman ve düşük kalınlıkta her türlü desteği kullanarak filmlerin kolay hazırlanmasını sağlamaktadır [41].

1.4.2. Akımsız Gümüş Kaplama

Gümüşün elektrik akımı ile gerçekleşen kaplama yöntemleri ile biriktirilme kabiliyetinin yüksek olduğu bilinmektedir [42]. Ancak elektrik akımı ile kaplama ve vakum ortamında kaplama yönteminin verimli olmadığı bilinmektedir ve bu nedenle de ticari amaçlar için uygun yöntemler olarak görülmemektedir [43].

Akımsız gümüş kaplama yöntemi özellikle bakır tozu üzerinde yüksek uygulanabilirliğe sahip bir işlemdir. Elektrik akımı ve vakum kullanarak uygulanan kaplama yöntemlerine göre akımsız gümüş kaplama yönteminin daha üstün biriktirme oranına sahip olduğu yapılan araştırma ve deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır [44].

Bunun yanında hala işlem süresinin azaltılması ve sinterleme kabiliyetinin artırılması konusunda verimliliği arttırmak için çalışmalar devam etmektedir [45].

1.4.3. Akımsız Gümüş Kaplama Banyo Bileşimi ve Değişkenleri

Akımsız gümüş kaplama işleminin sulu çözelti ortamında herhangi bir elektrik akımı uygulamadan gerçekleşecek bir işlem olduğu önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bakır tozuna uygulanacak gümüş kaplama işleminin verimli gerçekleşebilmesi için öncelikle gümüş ile kaplanacak bakır tozlarının yüzeylerindeki kir ve oksit tabakalarından arındırılması gerekmektedir. Bunun için belirli oranda karıştırılan Amonyak (NH_3), Amonyum Sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ve saf su kullanılarak hazırlanan çözelti ile gümüş kaplanacak bakır tozları manyetik karıştırıcı ile yaklaşık 10 dakika boyunca karıştırılmalıdır. Bu işlemin ardından atık kaplama çözeltisi kimyasal atık holüne aktarılmalı ve temizleme işleminden kalan artıkların tamamen temizlenmesi için tozlar saf su ya da alkol ile birkaç kez tekrarlı olarak temizlenerek arındırılmalıdır [46]. Bu aşamadan sonraki işlem ise gümüş kaynağı ve indirgeyici ortamında gerçekleşecek ve belirli pH düzeylerinde uygulanacak kaplama işlemidir.

1.4.4. Gümüş Kaynağı

Akımsız gümüş kaplama yönteminde kaplanacak tozların üzerine biriktirilecek gümüş kaynağını Gümüş Nitrat (AgNO_3) çözeltisinden almaktadır. Bakır tozların yüzeyinde yer alan oksit tabakasını temizleme işleminin ardından kaplanacak olan tozlar saf su ile çözelti haline Gümüş kaynağı çözeltisinden gümüşün metalik olarak altlık yüzeyine indirgenebilmesi için indirgeyici ajan kullanılmaktadır.

1.4.5. Kaplama Çözeltisi ve Kaplama İşlemi

Kaplanacak olan bakır tozlarının temizlenmesinin ardından belirli oranda saf su ve gümüş nitrat kullanılarak hazırlanan çözelti, belirli oranda amonyum hidroksit (NH_4OH) eklenerek hazırlanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta gümüş nitrat ve amonyum hidroksit çözeltilerinin karıştırılarak yeni bir çözelti oluşturulması sırasında sistemin pH değerinin belirlenmesidir.

İlave edilen amonyum hidroksit miktarı gümüş nitrat çözeltisinin pH değerini değiştirmektedir. Bu işlemi takiben potasyum sodyum tartarat($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) saf su ile çözelti haline getirilmektedir. Temizlenmiş bakır tozu üzerine sırasıyla önce potasyum sodyum tartarat çözeltisi eklenir. Bu esnada hazırlanan kaplama çözeltisi manyetik karıştırıcı yardımıyla belirlenen sıcaklık ve devirde karıştırılmaktadır. Potasyum sodyum tartaratın eklenmesinin ardından pH değeri belirlenmiş olan gümüş nitrat-amonyum hidroksit çözeltisi karıştırılmakta olan çözelti içerisine kontrollü olarak ilave edilmelidir. Bu aşamadan sonra belirlenen kaplama süresi, sıcaklık ve karıştırma devri parametreleri dikkate alınarak kaplama işlemi gerçekleştirilir [47].

Akımsız kaplama yöntemlerinde pH değeri büyük bir önem taşımaktadır. Kaplama işlemi sırasında kullanılan kimyasallar nedeniyle kaplama işlemi sırasında sürekli olarak hidrojen çıkışı ve buna bağlı olarak pH artışı söz konusudur. Bunun önüne geçebilmek ve kararlı bir pH düzeyinde kaplama yapabilmek için kaplama işlemi sırasında pH dengeleyici katkıları kullanılmaktadır [48].

1.4.6. Akımsız Kaplama Yönteminin Kullanım Alanları

Akımsız kaplama yöntemi yaygın olarak kimyasal üretim endüstrisinde kullanılmaktadır. Akımsız kaplama yöntemi ile kaplanan yenilikçi ürünler hem daha düşük maliyetli oluş hem de performans olarak geleneksel ve yüksek maliyetli ürünlerin yerini almışlardır [49]. Ayrıca ürün özelliklerinin korozyon ve aşınmadan korunmasını gerektiren uygulamaları içeren üretim endüstrisinde akımsız kaplama yöntemleri ile üretilen malzemelere ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bunun nedeni akımsız kaplama ile saf ürün özellikleri düşük maliyetle korunmakta ve ürünün korozyon ve aşınma dayanımı önemli ölçüde arttırılmaktadır [50].

Akımsız kaplama yöntemiyle elde edilen üstün mekanik ve fiziksel özelliklerden dolayı bu yöntem kaplanan malzeme özelliklerine bağlı olarak kimya sanayisi, plastik sanayisi, optikler, havacılık sanayisi, nükleer sanayisi, otomotiv sanayisi, bilgisayar sanayisi, tekstil sanayisi ve elektronik sanayisi dahil birçok uygulama alanında kullanılmaktadır [51].

1.5. Toz Metalurjisi

Günümüzde malzeme üretiminde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Metal malzemeler için döküm, ekstrüzyon, haddeleme, talaşlı imalat vb. imalat yöntemleri kullanılırken polimer malzemeler için genellikle kimyasal üretim yöntemleri uygulanmaktadır. Bu üretim yöntemlerinin dışında toz metalurjisi ile metaller, polimerler, seramikler ve benzer birçok malzeme grubunun üretimi mümkündür [52]. Malzeme gruplarının üretimi kendi içlerinde çeşitli yöntemlerle sınırlandırılmaktayken toz metalurjisi ile bu sınırlamalar ortadan kaldırılmış ve toz metalurjisi neredeyse bütün malzeme grupları için ortak bir üretim yöntemi haline gelmiştir [53].

Toz metalurjisi yöntemi tanımlanacak olursa, metal tozlarının bir kalıp içerisinde uygun basıncı sağlayan bir pres vasıtasıyla sıkıştırılması ve ardından üretilen malzemeye ısı işlemi ile mukavemet kazandırılması esasına dayanan bir üretim yöntemidir. Toz metalurjisi bir mekanik parça üretim yöntemidir [54].

1.5.1. Toz Metalurjisi Avantaj ve Dezavantajları

Toz metalurjisi gerekli personel masrafları göz önüne alındığında seri üretim için oldukça uygun maliyetli bir üretim yöntemidir. Bununla birlikte işçi yeteneklerinden bağımsız bir üretim yöntemi olması nedeniyle de tercih edilme oranı artmaktadır [55]. Toz metalurjisi yöntemi bazı alaşımlar için tek üretim yöntemi olması nedeniyle de üstünlük göstermektedir. Bunların dışında karmaşık geometrilerin üretimi ve üretim hızı da toz metalurjisi yönteminin avantajları arasında sayılmaktadır [56].

Her üretim yönteminde olduğu gibi toz metalurjisi yönteminde de kısıtlamalar mümkündür. Bunların başında seri üretim için kullanılacak kalıp maliyeti gelmektedir. Seri üretim için gerekli altyapı maliyetinin yüksek olması toz metalurjisi yönteminin kısıtlamaları arasında sayılmaktadır [57]. Bu sebepten dolayı toz metalurjisi yalnızca seri üretim için ekonomik bir yöntemdir aksi durumda yalnızca birkaç parça için yapılacak olan altyapı yatırım maliyeti ekonomik olarak zarara yol açabilir. Toz metalurjisi yönteminde kullanılan tozların kenetlenme kabiliyetleri ve akışkanlıkları da üretimin kalitesini belirlediğinden bazı durumlarda olumsuz üretim sonuçlarıyla karşılaşmaktadır [58]. Bunlar ile birlikte kullanılan pres kapasitesi nedeniyle ürün boyutlarında çeşitli sınırlamalar ortaya çıkmaktadır.

1.5.2. Toz Metalurjisi ile Üretilen Parçaların Kullanım Alanları

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen parçaların kullanım alanları Tablo 7’de gösterilmektedir. Tablo 7’de de görüldüğü üzere toz metalurjisi ile üretilen parçaların kullanım alanları oldukça geniştir.

Tablo 7. Toz Metalurjisi ile Üretilen Malzemelerin Kullanım Alanları [59]

Üretim Yöntemleri	Döküm	Dövme	Ekstrüzyon	Toz Metalurjisi
Kullanım Alanları	Makine parçaları	Makine parçaları	Çubuk	Yapısal parçalar
	Geniş ebatlı malzemeler	Türbin milleri	İnşaat malzemeleri	Kesici takım malzemeleri
	Otomobil parçaları	Perçin	Boru ve profiller	Manyetik Malzemeler
	İnşaat malzemeleri	Civata	Şeritler	Elektrik kontak malzemeleri

Toz metalurjisi ile üretilmekte olan yapısal malzemelerde ihtiyaç duyulan yüksek mukavemet özellikleri toz metalurjisi ile üretilmiş parçaların kullanım alanının artmasına olanak sağlamıştır. Mukavemet ve sertliğin artmasıyla ortaya çıkan işlenebilme kabiliyetindeki düşüş de toz metalurjisinin kullanılma oranını arttırmaktadır. Ancak özellikle sertlik özelliklerinden dolayı bazı durumlarda boyutsal hassasiyet konusunda sorunlarla karşılaşmakta ve bunların çözümüne ilişkin çalışmalar yapılmaktadır [60].

Elektrikli kullanım aletlerinin ve özellikle elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla birlikte manyetik parçaların kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Toz metalurjisi ile üretilmiş manyetik parçalar bu kullanım alanlarında üstünlük göstermektedir çünkü bu parçalar üç boyutlu manyetik devre oluşturabilme özelliğine sahiplerdir. Özellikle elektrik motorlarında çekirdek kısmında manyetikleşmeyi sağlayacak ekipmanlarda toz metalurjisi ile üretilmiş manyetik parçalar kullanılmaktadır [61].

Elektrik kontak malzemeleri de toz metalurjisi yöntemiyle üretilen malzeme grupları arasındadır.

Özellikle aşınmaya ve korozyona dirençli, elektriksel ve termal iletkenlik özelliklerin önemli olduğu uygulamalarda kullanılmakta olan kontak malzemelerin neredeyse tamamı toz metalurjisi yöntemiyle üretilmekte ve günümüzde bu malzemelerin daha yüksek performans göstermeleri için yapılan çalışmalar hızla devam etmektedir [62].

1.5.3. Presleme

Toz metalurjisi yönteminde üretim adımlarından biri olan presleme işlemi, nihai ürünün üretilmesi için uygun boyut ve şekildeki yarı mamul ürünü üretmektir. Presleme işleminin amacı, bu işlemi takiben yapılacak işlemler sırasında ürünün deformasyona karşı dayanıklı olmasını sağlamaktır [63]. Bu aşamada preslenmiş ancak henüz sinterlenmemiş parçaya yani henüz tam olarak bitirilmemiş parçaya “green compact” yani “ham numune” adı verilir [64].

Presleme aşamasında tozlar karşılıklı eşit bir kuvvet oluşana kadar sıkıştırılırlar. Bu esnada alt zımba ile direnç oluşurken kalıp yüzeyi ve parçacıklar arasında da sürtünme meydana gelmektedir. Presleme işlemi genellikle oda sıcaklığında gerçekleştirilir ve tozların kalıba dökülmesi, presleme ve ham ürünün kalıptan çıkarılması işlemleriyle son bulur.

1.5.4. Sinterleme

Sinterleme işlemi, ham şekillendirilmiş tozların sıcaklık uygulanması sonucunda nihai mukavemetini kazanmış malzeme üretimi için uygulanan bir toz metalurjisi işlem basamağıdır [65]. Sinterleme işleminde presleme sonrası yapıda mevcut olan boşluğu en alt düzeye indirmek hatta yok etmek istenildiği için difüzyon, ısı ve basınç parametreleri ile nihai ürünün istenilen özelliklere sahip olması sağlanmaktadır [66]. Yüksek sıcaklıklara çıktıkça yüzey enerjisinde meydana gelen azalma ve buna bağlı olarak artmakta olan difüzyon hızının etkisiyle karşılıklı atomların difüzyonu ile birlikte temas etmekte olan tozlar arasında bir boyun kısmı oluşur ve bu sırada tozlar birbirlerine difüze olurlar [67].

Sinterleme işlemi katı ve sıvı faz sinterlemesi olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Katı hal sinterlemesinde tozların herhangi bir ikinci sıvı faz olmadan yoğunlaştırılması esasına dayalı bir sinterleme işlemi yapılmaktadır.

Burada öncelikle tozların yapışması ve bunu takiben boyun bölgesinin oluşması ardından tozlar arasında kalan gözeneklerin uzaması ve yuvarlaklaşması ve son olarak da gözeneklerin kapanması ve yoğunlaşması işlemleri sırasıyla meydana gelmektedir [68].

Sıvı faz sinterleme işleminde ise karışımda bulunan tozlardan birinin sinterleme sıcaklığında sıvılaşması ile ortaya çıkan bir sinterleme işlemidir. Sinterleme sıcaklığında sıvı faz meydana geldiği için sıvılaşmamış tozlar ıslatılır ve tozlar arasındaki kanallarda meydana gelen kapiler etki ile tozlar birbirlerine kenetlenirler [69].

1.6. Literatür Taraması

Xu ve diğerleri (2003), küçük boyutlu ($3,4\ \mu\text{m}$) bakır partiküllerin oksidasyon direnci üzerine farklı miktarlarda gümüş içeriği (%5-%20) elde ettikleri akımsız gümüş kapama işlemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Gümüş tabakanın homojenliğinin artan yapıda artan gümüş miktarı ile arttığını tespit etmişlerdir. Gümüş miktarının ağırlıkça %20 değerine ulaştığında gümüşün bakır partiküller etrafında homojen bir şekilde dağıldığını ve çok az miktarda serbest gümüş partiküllerin var olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca metal filminin tabaka direncinin gümüş içeriği ile azaldığını ortaya koymuşlardır. Tabaka direncinin azalması, oksidasyon direncinin arttığı anlamına gelmektedir. Ek olarak ağırlıkça %20 gümüş içeriğine sahip tozların tabaka direncinin en düşük olduğunu ve tabaka direncinin artan oksidasyon süresi ile çok güç bir şekilde arttığını yani oksidasyon direncinin artan oksidasyon sürelerinde bile yüksek gümüş içeriğine sahip numunelerde kararlılığını koruduğunu ortaya koymuşlardır [70].

Hai ve diğerleri (2006) bakır gümüş kompozit tozların akımsız gümüş kaplama yöntemi ile oda sıcaklığında sulu çözelti ile hazırlanması üzerine çalışma yapmışlardır. Yapmış oldukları deneysel çalışmalar neticesinde gümüş tabakanın yoğunluğu ve homojenliğinin aktivasyon bileşenlerinin molar oranına, aktivasyon zamanına ve gümüş iyon çözeltisinin ilave oranına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuşlardır. Bu bağlamda, aktivasyon işleminin kalitesinin amonyum hidroksit (NH_4OH) ve amonyum sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) molar oranına doğrudan bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, aktivasyon işlemi uygulanmış bakır partiküllerin yüzeylerinin hidrolizden korumak amacıyla NH_4OH ve $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ molar oranlarının hassas bir şekilde optimum seviyede kontrol edilmesinin çok önemli olduğunu vurgulamışlardır. NH_4OH ve $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ bileşenlerin molar oranlarındaki artışın pH değerinde önemli bir artış ile sonuçlandığını tespit etmişler.

Bunun da oksidasyona uğramış tabakanın çözünme hızının artmasına sebep olduğunu vurgulamışlardır. Ancak, NH_4OH ve $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ molar oranlarının azalmasıyla da homojen ve yoğun bir gümüş kaplama tabakasının elde edildiğini de tespit etmişlerdir. Yine bu çalışmada aktivasyon süresinin artması ile akımsız gümüş kaplama sonrasında elde edilen ağırlıkça gümüş miktarının azaldığını raporlamışlardır. Gümüş iyon çözeltisinin ilave edilme hızının artmasının da (2 ml/dk-12 ml/dk) akımsız gümüş kaplama işlemi sonrasında elde edilen gümüş tabakanın ağırlıkça yapıda azalmasına sebep olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmanın sonucu olarak ise akımsız gümüş kaplama yöntemiyle homojen bir gümüş tabakanın elde edilmesi için öncelikle bakır partiküllerin yüzeyindeki oksit tabakasının tamamen temizlenmesi gerektiğini ve gümüş iyon çözeltisi ilave hızının değişmesi ile serbest gümüş parçacıkların oluşumunun kontrol edilebileceğini raporlamışlardır [71].

Hu ve diğerleri (2015) yapmış oldukları çalışmada gümüş kaplı bakır mikro koniler ve ağırlıkça Sn-3,0Ag-0,5Cu lehim kullanarak düşük sıcaklıkta katı hal bağlanma üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bakır mikro konilerin yüzeylerinde akımsız gümüş kaplama işlemi ile oluşturdukları gümüş tabakanın oksitlenmenin engellenmesine fayda sağladığını ve lehim birleşme noktasındaki kesme mukavemetini de yaklaşık %30 arttırdığını ortaya koymuşlardır. Çalışmalarının sonucu olarak akımsız gümüş kaplamayla bakır mikro koniler üzerinde elde edilen gümüş tabakanın bakırı koruduğunu ve oksidasyon gerçekleşmesini engellediğini ayrıca Ag/Cu mikro koni bağlanma teknolojisinin de üç boyutlu entegrasyon için uygun olduğunu raporlamışlardır [72].

Cao ve diğerleri (2012) yapmış oldukları çalışmada gümüş kaplama işleminin bakır tozların oksidasyon direnci üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada çeşitli parametreler kullanarak gümüş kaplama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında şelatlama (kompleks yapıcı) ajan olarak asetilaseton kullanmışlardır. Yapmış oldukları çalışma neticesinde yapıdaki gümüş miktarının ağırlıkça %10 değerine ulaşmasıyla gümüşün homojen olarak bakır partiküllerin etrafında dağıldığını ve serbest gümüş iyon miktarının az olduğunu tespit etmişlerdir. En iyi oksidasyon direncine ulaşılan kaplama işleminde ise gümüş kaynağı ve kompleks yapıcı molar oranının 1:1 olarak seçildiği ve 40 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneyin en uygun olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır [73].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında yapılan tüm deneysel çalışmalar Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı bünyesinde hizmet veren cihazlar ve düzeneklerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu tez çalışması kapsamında altlık olarak bakır toz kullanılmıştır. Ayrıca akımsız gümüş kaplama deneylerinde çeşitli kimyasal çözelti ve tuzlar kullanılmıştır. Bu tez çalışma kapsamında akımsız gümüş kaplama deneylerinde kullanılan kimyasal sarf malzemeleri Merck markasından temin edilmiştir.

2.1.1. Altlık Malzeme

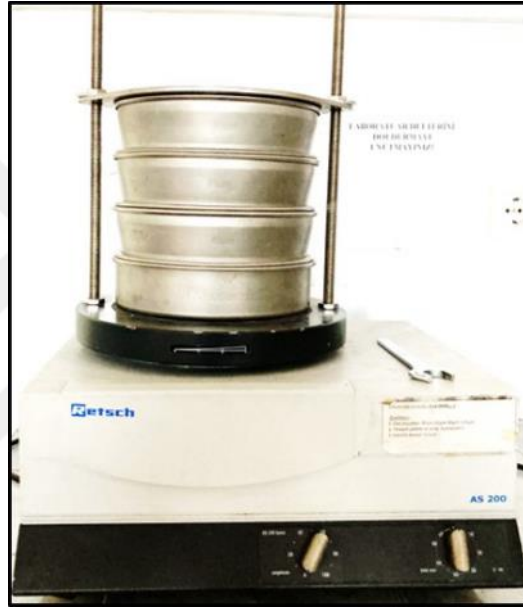
-100 mesh (<150 mikron) boyut aralığına sahip bakır tozları temin edilmiştir. Temin edilen bakır tozlar Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. -100 Mesh Bakır Tozların Makro Görünümü

2.2. Elek Analizi Deneyleri

Başlangıçta -100 mesh (150 μm ve altı) partikül boyut dağılımına sahip olan bakır tozların boyut dağılımlarını belirlemek amacıyla elek analizi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elek analizi deneyleri kaba boyutlu (-125/+90 μm), orta boyutlu (-90/+40 μm) ve küçük (-40 μm) boyutlu toz grupları elde edebilmek amacıyla 125 μm , 90 μm ve 40 μm elek aralığına sahip elekler kullanılarak Retsch marka AS 200 model elek analizi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elek analizi deney düzeneğine ait görseller Şekil 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. Elek Analizi Deney Cihazı

2.3. Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri

Bu tez çalışması kapsamında akımsız kaplama parametrelerinin toz metalurjisi yöntemlerinden biri olan sıcak pres yöntemiyle bakır esaslı elektrik kontak malzemelerinin özellikleri üzerine etkilerini incelemek amacıyla çok sayıda parametrik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda gerçekleştirilen deneyler iki ana grup halinde planlanmıştır. Bu gruplardan bir tanesi Tablo 8'de görüldüğü üzere akımsız gümüş kaplama işlem koşullarının akımsız gümüş kaplanmış bakır partiküllerin morfolojileri ve kaplama tabakasına etkilerini araştırmak amacıyla pH, sıcaklık ve karıştırma hızının sabit deney süresi koşulları altında parametrik olarak incelendiği deneyleri içermektedir.

Tablo 8’de yer alan deneylerin tümü 0,963 gr AgNO_3 , 1,625 gr $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNa}$ ve 5 gr bakır tozu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Tablo 8’de yer alan deneylere ait deney kodlarının “İK” şeklinde kodlandığı görülmektedir. Burada “İK” kısaltması ile “İşlem Koşulları” tanımı yapılmaktadır. Yapılan tekrarlı deneysel çalışmalar sonrasında elde edilen en uygun deney koşulları kullanılarak Tablo 9’da yer alan parametreler ile akımsız gümüş kaplama banyo bileşenlerinin miktarlarının akımsız gümüş kaplanmış bakır partiküllerin morfolojileri, kaplama tabakası üzerine etkileri ve akımsız gümüş kaplanmış bakır tozlar kullanılarak sıcak pres yöntemiyle üretilen elektrik kontak malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tablo 9 incelendiğinde akımsız gümüş kaplama banyo bileşenleri olarak bakır toz miktarı, indirgeyici ajan miktarı ve gümüş kaynağı miktarının değişiminin etkilerinin incelendiği anlaşılmaktadır. Ayrıca Tablo 9’da yer alan deney kodları incelendiğinde “BM” kısaltmasıyla kodlandığı görülmektedir. Burada “BM” kısaltması ile “Bileşen Miktarları” tanımı yapılmaktadır. Tablo 8 ve Tablo 9’da yer alan bütün deneyler 30 dakika süre parametresi ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 8. Akımsız Gümüş Kaplama Koşullarının Partikül Morfolojisi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi Deney Parametreleri (1.Grup Deneyler)

Deney Kodu	pH	Sıcaklık (°C)	Karıştırma Hızı (dev./dk)
İK-1	7	20	200
İK-2	7	40	200
İK-3	7	60	200
İK-4	9	20	200
İK-5	9	40	200
İK-6	9	60	200
İK-7	11	20	200
İK-8	11	40	200
İK-9	11	60	200
İK-10	7	20	400
İK-11	7	40	400
İK-12	7	60	400
İK-13	9	20	400

Tablo 8'in devamı

İK-14	9	40	400
İK-15	9	60	400
İK-16	11	20	400
İK-17	11	40	400
İK-18	11	60	400
İK-19	7	20	600
İK-20	7	40	600
İK-21	7	60	600
İK-22	9	20	600
İK-23	9	40	600
İK-24	9	60	600
İK-25	11	20	600
İK-26	11	40	600
İK-27	11	60	600

Tablo 9. Akımsız Gümüş Kaplama Banyo Bileşen Miktarının Etkisinin Belirlenmesi Amacıyla Gerçekleştirilen Deney Parametreleri (2. Grup Deneyler)

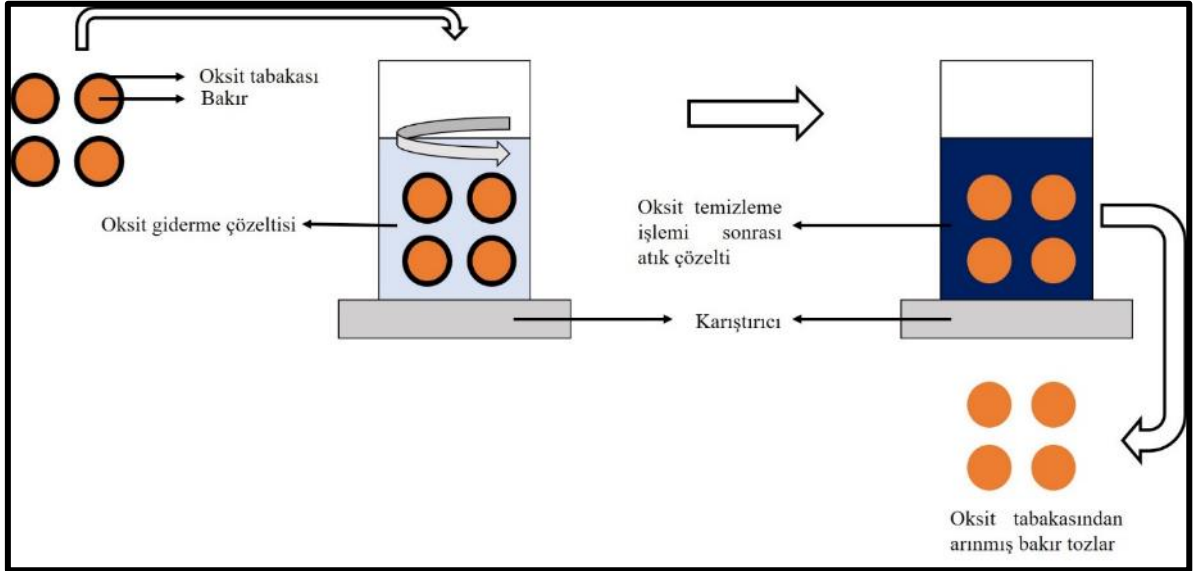
Deney Kodu	Bakır Toz Miktarı (gr)	Gümüş Kaynağı Miktarı (gr)	İndirgeyici Ajan Miktarı (gr)	pH	Sıcaklık (°C)
BM-1	5	0,3	6	11	40
BM-2	2	0,3	6	11	40
BM-3	1	0,3	6	11	40
BM-4	5	0,21	0,253	11	40
BM-5	5	0,21	0,506	11	40
BM-6	5	0,21	0,759	11	40
BM-7	5	0,21	1,012	11	40
BM-8	5	0,3	0,253	11	40
BM-9	5	0,963	0,253	11	40
BM-10	5	0,963	1,265	11	40

Tablo 9'un devamı

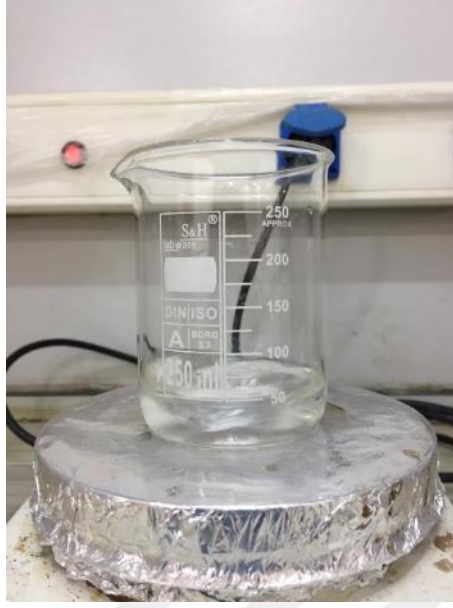
BM-11	5	0,963	1,625	11	40
BM-12	5	0,963	3,25	11	40

2.3.1. Oksit Temizleme İşlemi

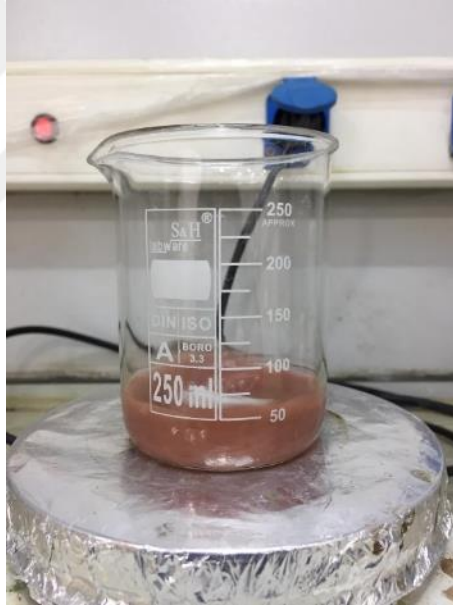
Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen tüm akımsız gümüş kaplama deneyleri öncesinde saf bakır tozları yüzeylerinde yer alan oksit tabakasının temizlenmesi amacıyla oksit giderme işlemine tabi tutulmuştur. Oksit giderme işlemi bakır tozların amonyum sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), amonyak (NH_3) ve saf su ile hazırlanan çözelti içerisinde 40 °C sıcaklıkta 250 dev./dk. dönüş hızı ve 5 dakika süre ile karıştırılması ve ardından çözeltilerden alınarak 3 tekrar olacak şekilde saf su ile yıkanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Oksit giderme işleminin şematik gösterimi Şekil 16'da yer almaktadır. Ayrıca oksit giderme işleminin deneysel olarak gerçekleştirilmesi sırasında kaydedilen deney görüntüleri Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19 ve Şekil 20'de gösterilmiştir. Şekil 17-20 incelendiğinde başlangıçta şeffaf bir renge sahip olan oksit giderme çözeltisinin oksit tabakası içeren bakır partiküllerin çözeltiliye ilave edilmesi sonrasında koyu mavi bir renge sahip olduğu görülmektedir.



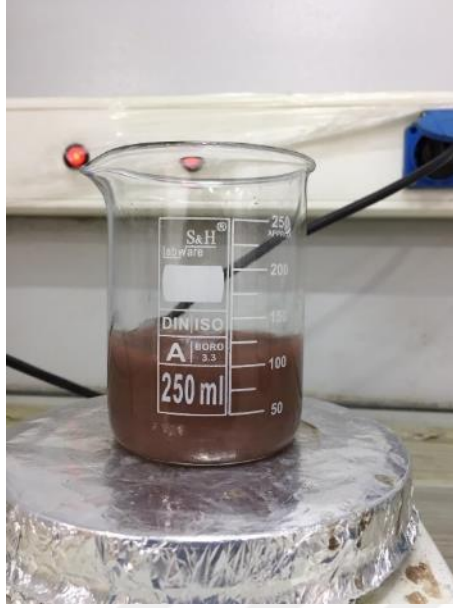
Şekil 16. Oksit giderme işlemi şematik gösterimi



Şekil 17. Oksit giderme çözeltisinin başlangıç görüntüsü



Şekil 18. Bakır tozların oksit giderme çözeltisine ilave edilmesi



Şekil 19. Oksit giderme işlemi

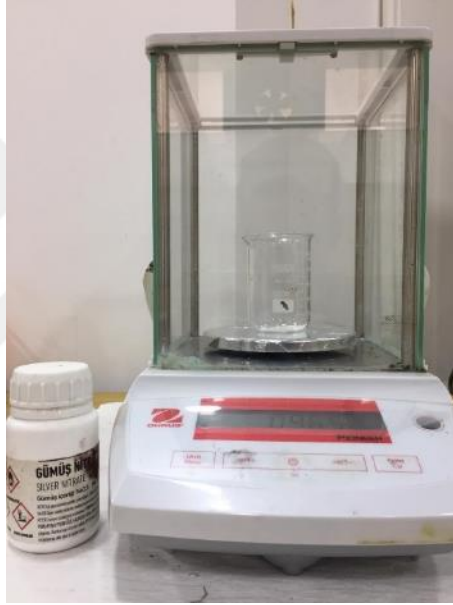


Şekil 20. Oksit giderme işleminin ardından çözeltinin görünümü

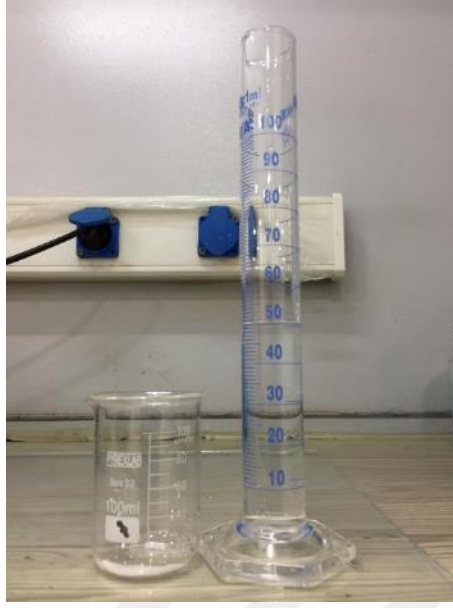
2.3.2. Gümüş Kaynağı Çözeltisinin Hazırlanması

Bu tez çalışması kapsamında Tablo 8’de belirlenen parametreler doğrultusunda gerçekleştirilen deneylerde kullanmak üzere üç farklı pH değerine sahip gümüş kaynağı çözeltisi farklı oranlarda AgNO_3 içerecek şekilde her bir deney için ayrı ayrı 50 ml’lik sulu çözeltiler olarak hazırlanmıştır. Şekil 21, Şekil 22 ve Şekil 23 başlangıç gümüş kaynağı çözeltisinin oluşturulması sırasında kaydedilen deney görüntülerini içermektedir.

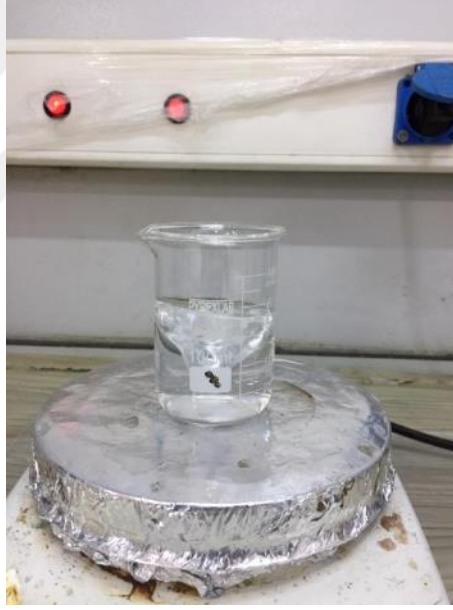
Şekil 24, Şekil 25 ve Şekil 26 sırasıyla pH değerinin 7, 9 ve 11 olarak düzenlendiği AgNO_3 çözeltilerine ait görüntüleri içermektedir. Son olarak pH ölçümünün problu pH metre kullanılarak yapıldığını göstermek amacıyla pH 11 değerinde gerçekleştirilen pH ölçümüne ait görsel Şekil 27’de gösterilmiştir. Şekil 24-26 incelendiğinde başlangıçta şeffaf olan AgNO_3 çözeltisinin pH düzenleyici ilavesi ile pH değerinin 7’ye ulaşması ile açık sarı bir renk aldığı görülmektedir. İlave edilen pH düzenleyicinin artmasıyla pH değeri 9 değerine ulaştığında gümüş nitrat çözeltisinin koyu kahverengi bir renk aldığı görülmektedir. Son olarak pH değeri 11’e ulaştığında ise çözeltinin başlangıçtaki gibi şeffaf bir renge sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 21. Gümüş nitrat kristalinin tartılması



Şekil 22. Gümüş nitrat çözeltisinin oluşturulması



Şekil 23. Gümüş kaynağı çözeltisinin karıştırılması



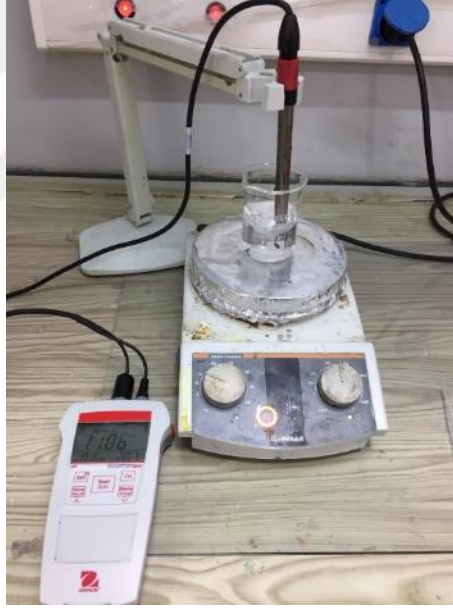
Şekil 24. Gümüş nitrat çözeltisi (pH değeri 7 iken)



Şekil 25. Gümüş nitrat çözeltisi (pH değeri 9 iken)



Şekil 26. Gümüş nitrat çözeltisi (pH değeri 11 iken)



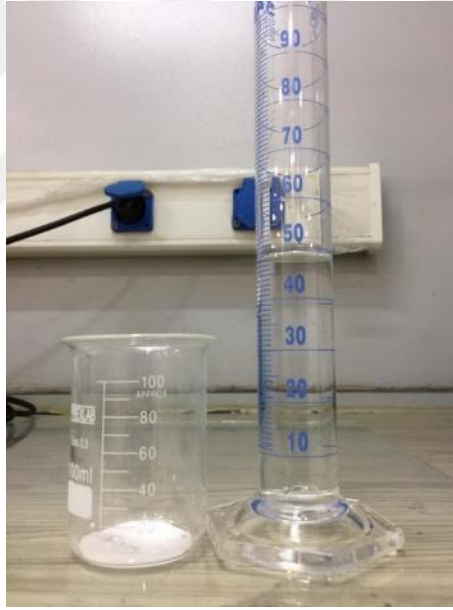
Şekil 27. Gümüş nitrat çözeltisi pH ölçümü (pH değeri 11 iken)

2.3.3. İndirgeyici Ajan Çözeltisinin Hazırlanması

Bu tez çalışması kapsamında Tablo 9’da yer alan akımsız gümüş kaplama işleminde bileşen miktarlarının etkilerinin araştırılması amacıyla belirlenen parametrelere göre her bir deney için indirgeyici ajan çözeltisi ayrı ayrı hazırlanmıştır. İndirgeyici ajan çözeltisinin hazırlanması deneylerinde kaydedilen görüntüler Şekil 28, Şekil 29 ve Şekil 30’da gösterilmiştir.



Şekil 28. İndirgeyici ajan tuzunun tartılması



Şekil 29. İndirgeyici ajan çözeltisinin hazırlanması için gerekli bileşenlerin hazırlanması



Şekil 30. İndirgeyici ajan çözeltisinin hazırlanması

2.3.4. Akımsız Gümüş Kaplama İşlemi

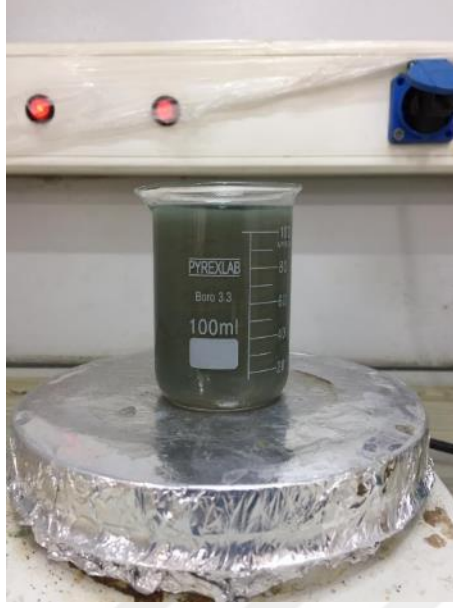
Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen tüm akımsız gümüş kaplama deneyleri Tablo 8 ve Tablo 9’da yer alan parametrelere uygun olarak bakır tozlarının indirgeyici ajan çözeltisi içerisinde karıştırılması sırasında gümüş kaynağı çözeltisinin 2,5 ml/dk ilave hızı kullanılarak ilave edilmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. Akımsız gümüş kaplama işlemi sırasında kaydedilen deney görüntüleri Şekil 31, Şekil 32, Şekil 33, Şekil 34, Şekil 35 ve Şekil 36’da gösterilmiştir.



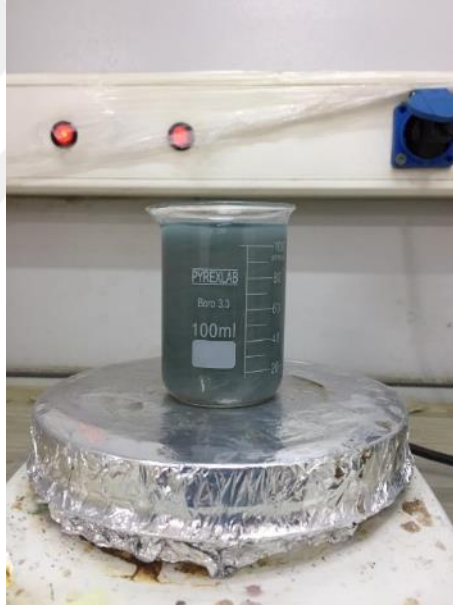
Şekil 31. Bakır tozlarının indirgeyici ajan çözeltisi içerisinde karıştırılması



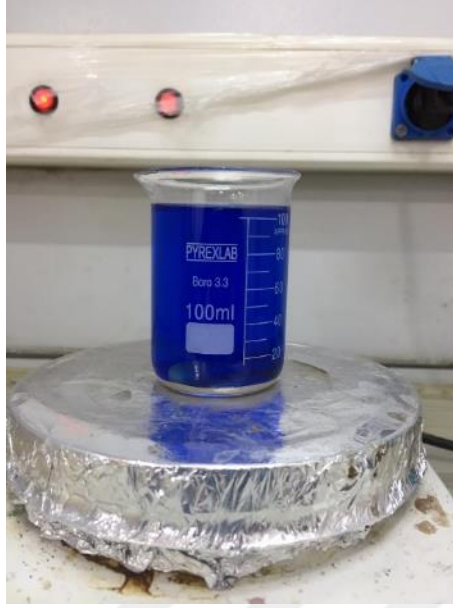
Şekil 32. Gümüş kaynağı çözeltisinin ilave edilmesi



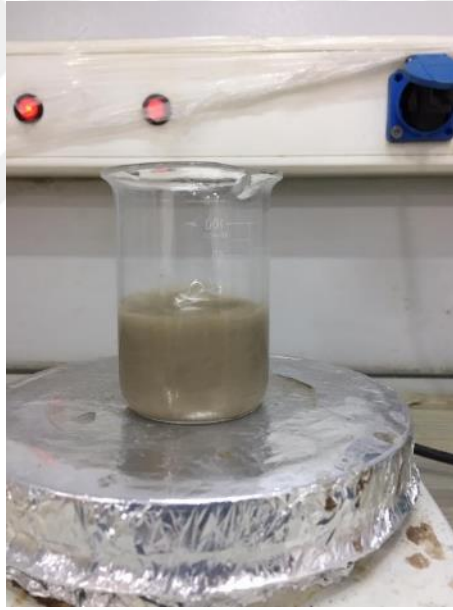
Şekil 33. Akımsız gümüş kaplama işleminin 5. dakikası



Şekil 34. Akımsız gümüş kaplama işleminin 15. dakikası



Şekil 35. Akımsız gümüş kaplama işleminin sonucu



Şekil 36. Akımsız gümüş kaplama işlemi sonrasında tozların yıkanması

2.3.5. Akımsız Gümüş Kaplanmış Bakır Tozların Kurutulması

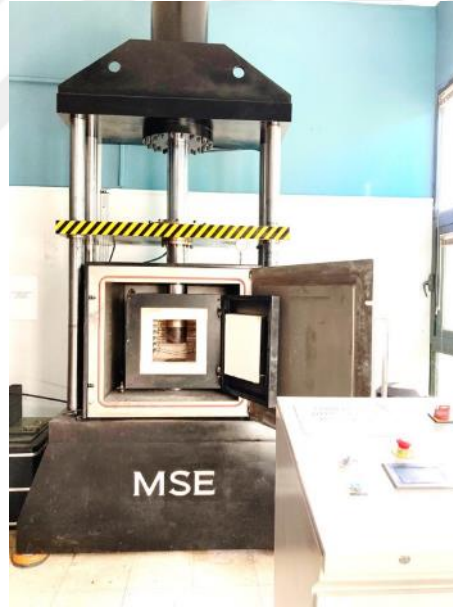
Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen akımsız gümüş kaplama deneyleri sonrasında elde edilen gümüş kaplı bakır partiküller 70 °C sıcaklıkta vakum atmosferinde bir fırın içinde kurutulmuşlardır.

2.4. Sıcak Presleme Deneyleri

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sıcak presleme deneyleri kendinden rezistanslı 100 ton kapasiteli MSE marka otomatik hidrolik pres kullanılarak 50 mm dış, 20 mm iç çapa sahip, ayrı ayrı alt ve üst zımbası bulunan sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş kalıplar içerisinde tozların sıcak preslenmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. Sıcak presleme işlemlerinin tümü 500 °C sıcaklık, 600 MPa presleme basıncı ve 2 saat süre parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.4.1. Presleme Cihazı

Sıcak presleme işlemlerinin gerçekleştirildiği hidrolik presleme cihazına ait görseller Şekil 37 ve Şekil 38’de gösterilmiştir.



Şekil 37. Sıcak presleme cihazı



Şekil 38. Sıcak presleme cihazı (fırın ve ıstamba)

2.5. Karakterizasyon Deneyleri

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen karakterizasyon deneyleri için kullanılan cihaz ve ekipmanlar 2.5.1. ve 2.5.9. numaralı başlıklar arasında açıklanmıştır.

2.5.1. Metalografik İncelemelerde Kullanılan Cihazlar

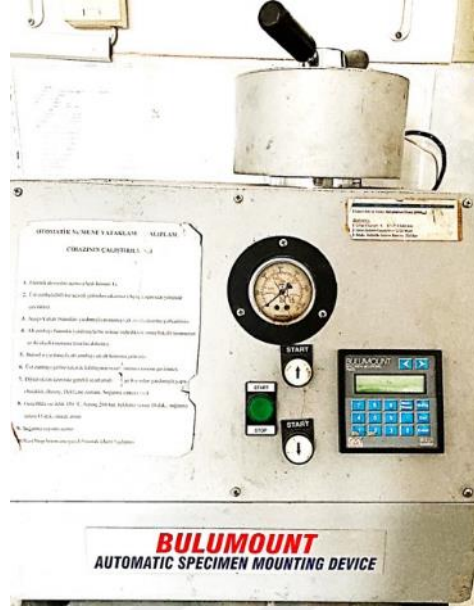
Bu tez çalışması kapsamında metalografik incelemelerin gerçekleştirilmesi amacıyla numune hazırlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama işlemlerinde kullanılan hassas terazi, zımparalama-parlatma, bakalite alma ve kesme cihazlarına ait görseller sırasıyla Şekil 39, Şekil 42’de gösterilmiştir. Metalografik incelemeler öncesinde yapılan zımparalama ve parlatma işlemleri tüm sıcak preslenmiş numuneler için 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000 numaralı sulu zımparalar kullanarak zımparalama, sonrasında 1 μm partikül içeren alümina çözeltisi kullanarak parlatma ve son olarak etil alkol ile yıkama ve kurutma işlemleri ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 39. Hassas terazi



Şekil 40. Döner disk zımparalama ve parlatma cihazı



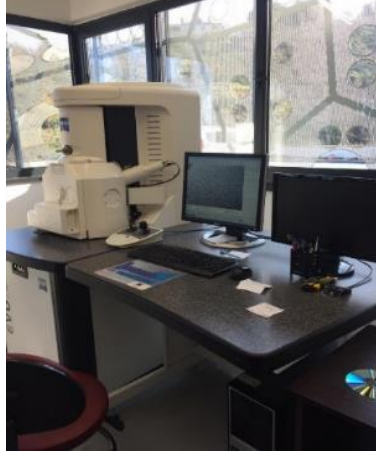
Şekil 41. Bakalite alma cihazı



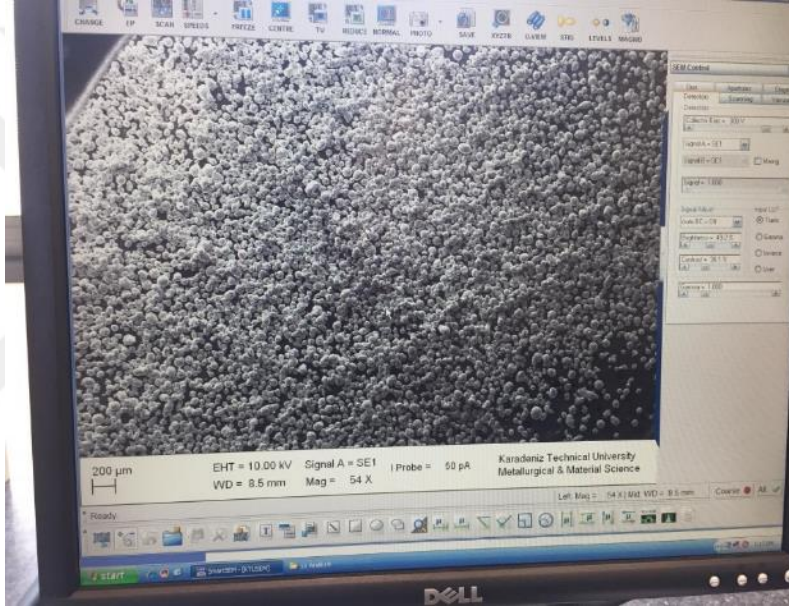
Şekil 42. Kesme cihazı

2.5.2. Morfoloji ve Mikroyapı İncelemeleri

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen tüm morfoloji ve mikroyapı incelemeleri Zeiss Evo LS10 taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan taramalı elektron mikroskobuna ait görseller Şekil 43 ve şekil 44'te gösterilmiştir.



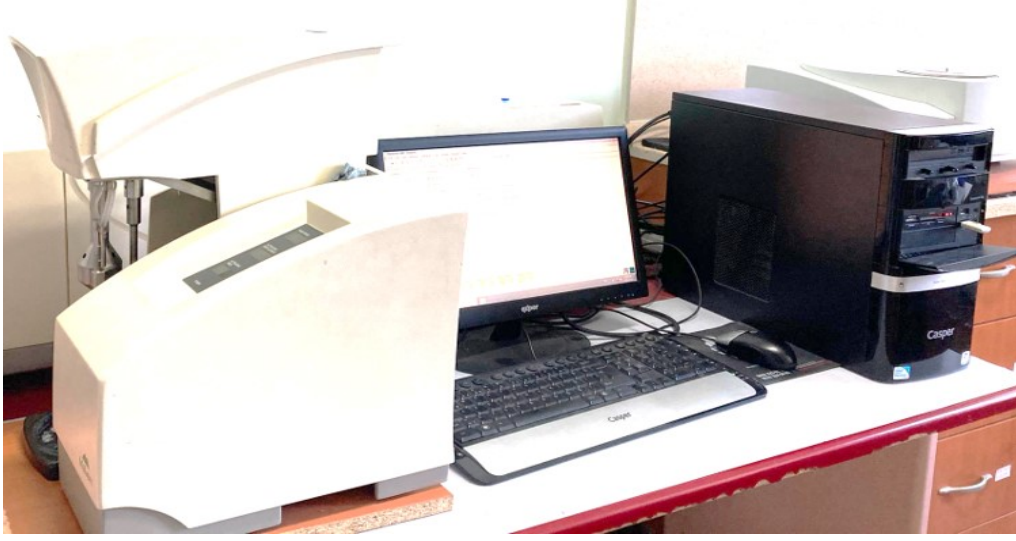
Şekil 43. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)



Şekil 44. Deney sırasında kaydedilen SEM morfoloji inceleme görüntüsü

2.5.3. Partikül Boyutu Ölçümleri

Bu tez çalışması kapsamında partikül boyut aralığı belirleme deneyleri Malvern MasterSizer é2000 partikül boyut aralığı tayini cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Partikül boyut aralığı belirleme deneylerinde çözelti olarak saf su kullanılmıştır. Ayrıca partikül boyut aralığı belirleme deneylerinde kullanılan karıştırma hızı 3000 devir/dakika olarak seçilmiştir.



Şekil 45. Partikül boyut aralığı tayini cihaz görüntüsü

2.5.4. Elementel Analiz Deneyleri

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen elementel analiz deneyleri elementel haritalama için taramalı elektron mikroskopuyla bağdaşık çalışan enerji dağılımlı X-ışını spektropisi (EDS) ve X-ışını difraksiyonu (XRD) cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.5.5. Elektriksel İletkenlik Ölçümleri

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen elektriksel iletkenlik ölçümü deneyleri Fischer marka Sigmascope model problu elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.5.6. Oksidasyon Direnci Belirleme Deneyleri

Bu tez çalışması kapsamında oksidasyon direnci deneylerinin gerçekleştirilmesi amacıyla PerkinElmer marka TGA 4000 model termogravimetrik analiz (TGA) cihazı kullanılmıştır. Yapılan tüm oksidasyon direnci belirleme deneyler 20 °C/dk sıcaklık artış hızı koşullarında 30-630 °C aralığında gerçekleştirilmiştir. TGA cihazı Şekil 46'da gösterilmiştir.



Şekil 46. TGA ünitesi

2.5.7. Sertlik Ölçümleri

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sertlik ölçümü deneyleri Nemesis 9000 marka/model Brinell sertlik ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri her bir deney numunesi üzerinden üç farklı bölgeden sertlik alınması ve ortalama sertlik değerlerinin hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçüm cihazına ait görsel Şekil 47’de yer almaktadır.



Şekil 47. Sertlik ölçüm cihazı

2.5.8. Yoğunluk Ölçümleri

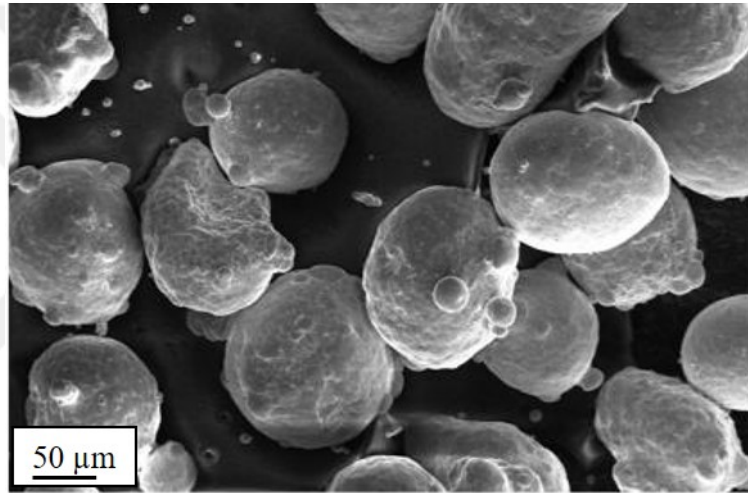
Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen yoğunluk ölçümü deneyleri Arşimet yoğunluk ölçümü deney koşullarına göre gerçekleştirilmiştir. Sıvı içerisinde yapılan ağırlık ölçümlerinde kullanılan sıvı olarak yoğunluğu 1 gr/cm^3 olan saf su kullanılmıştır. Yoğunluk ölçümleri her bir numune için 3 kez tekrarlanmış ve ortalama yoğunluk değerleri hesaplanmıştır.



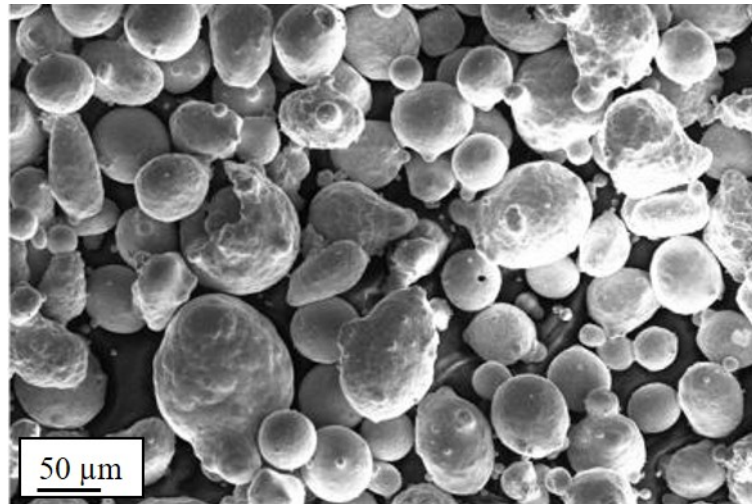
3. BULGULAR

3.1. Başlangıç Morfoloji İncelemeleri

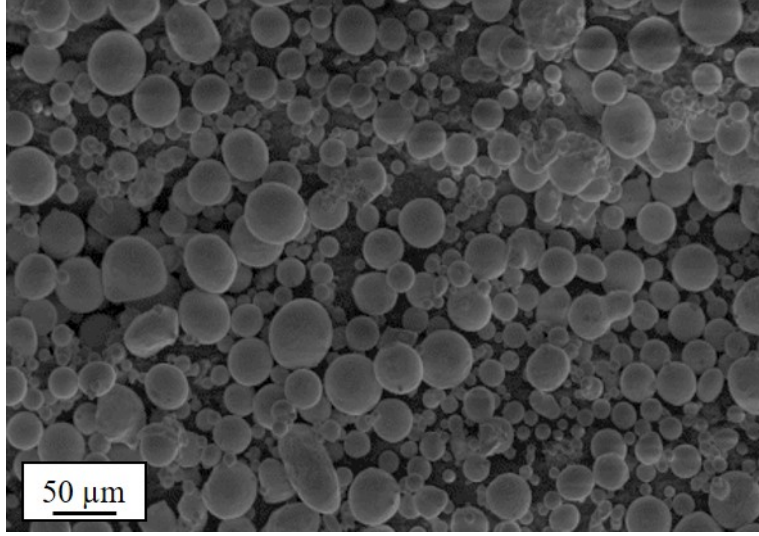
Başlangıçta -100 mesh olarak temin edilen bakır tozlarının elek analizi sonrasında morfoloji incelemelerine ait SEM görüntüleri Şekil 48, Şekil 49 ve Şekil 50’de yer almaktadır. Başlangıç morfolojileri incelendiğinde her üç elek aralığına ait bakır tozların da küresel morfolojiye sahip olduğu açık bir şekilde görölmektedir.



Şekil 48. +90 µm elek aralığındaki bakır tozların morfoloji incelemesine ait SEM görüntüsü



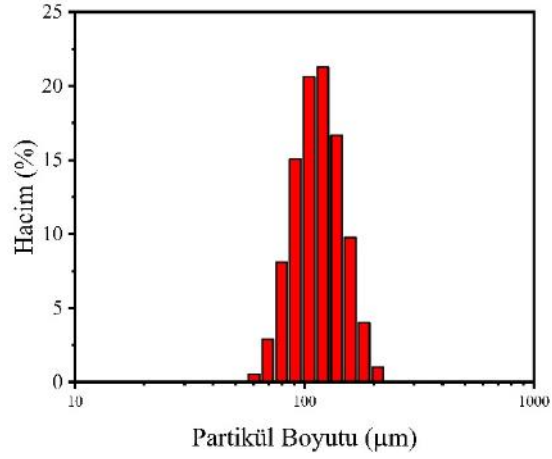
Şekil 49. -90/+40 µm elek aralığındaki bakır tozların morfoloji incelemesine ait SEM görüntüsü



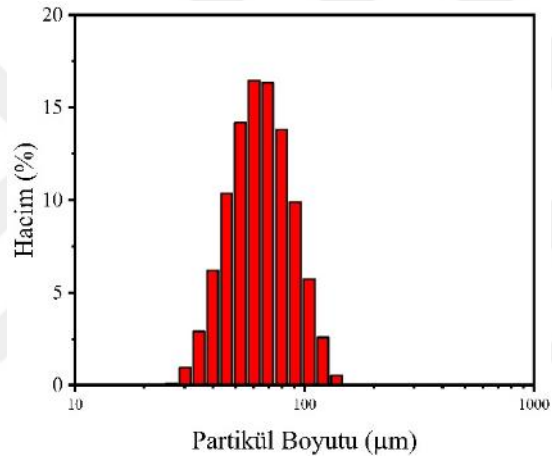
Şekil 50. -40 μm elek aralığındaki bakır tozların morfoloji incelemesine ait SEM görüntüsü

3.2. Başlangıç Partikül Boyutlarının Belirlenmesi

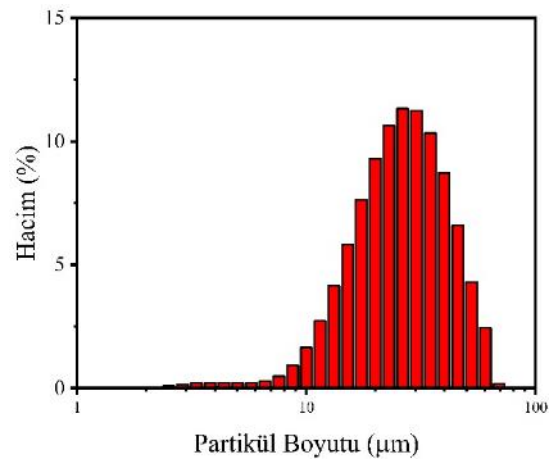
Başlangıçta -100 mesh olarak temin edilen bakır tozları elek analizi deneyleri sonrasında partikül boyutu dağılımı belirleme deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan partikül boyut dağılımı belirleme deneyleri sonrasında elde edilen partikül boyutu dağılım grafikleri Şekil 51, Şekil 52 ve Şekil 53'te gösterilmektedir. Şekil 51 incelendiğinde 90 μm elek üzerinde kalan bakır tozların boyutlarının kaba olduğu ve ortalama olarak 120-125 μm toz boyutuna sahip olduğu görülmektedir. Elek aralığının küçülmesiyle birlikte ortalama toz boyutunun da doğrusal olarak küçüldüğü Şekil 52 ve Şekil 53 incelendiğinde açık bir şekilde anlaşılabilir. Şekil 52 incelendiğinde -90/+40 μm elekleri arasında kalan bakır partiküllerin ortalama toz boyutunun yaklaşık olarak 68-70 μm arasında olduğu anlaşılmaktadır. Son olarak Şekil 53 incelendiğinde ortalama partikül boyutunun oldukça azaldığı ve yaklaşık olarak 27-30 μm aralığında ortalama toz boyutuna sahip bakır tozların elde edildiği görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılacak olan altık bakır tozlarının tamamı -40 μm elek altında kalan ve ortalama toz boyutları yaklaşık olarak 27,82 μm olarak hesaplanan bakır tozlarından kullanılmıştır.



Şekil 51. +90 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait partikül boyutu dağılım grafiği



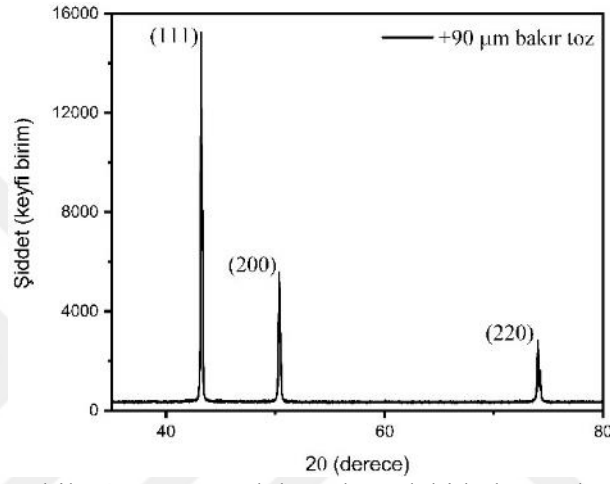
Şekil 52. -90/+40 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait partikül boyutu dağılım grafiği



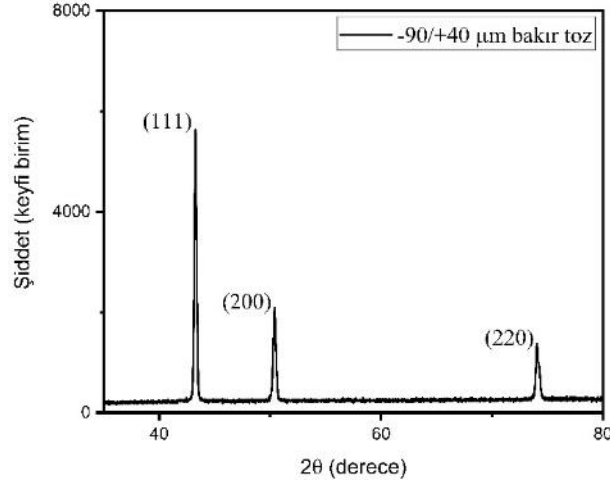
Şekil 53. -40 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait partikül boyutu dağılım grafiği

3.3. Başlangıç Partiküllerine ait Elementel Analiz Çalışmaları

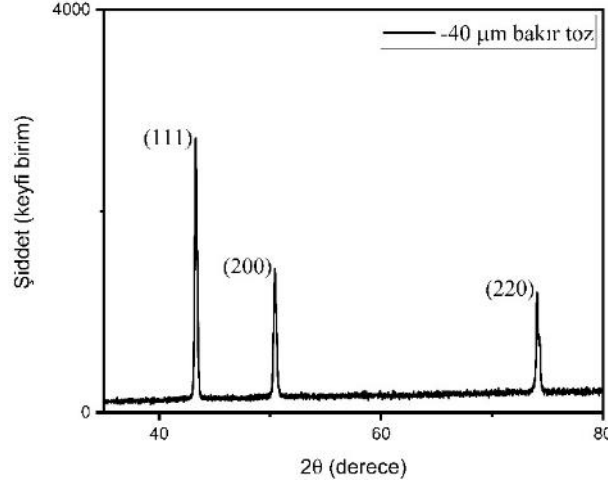
Elek analizi sonrasında üç farklı boyut dağılımına sahip olan başlangıç bakır tozlara ait X-ışını difraksiyonu (XRD) desenleri Şekil 54, Şekil 55 ve Şekil 56'da gösterilmiştir. XRD desenleri incelendiğinde azalan partikül boyutuyla birlikte şiddetin azaldığı ve piklerin yassılaşmaya başladığı görülmektedir. Ayrıca yapıda bakır dışında herhangi bir faz tespit edilememiştir.



Şekil 54. +90 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait XRD grafiği



Şekil 55. -90/+40 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait XRD grafiği

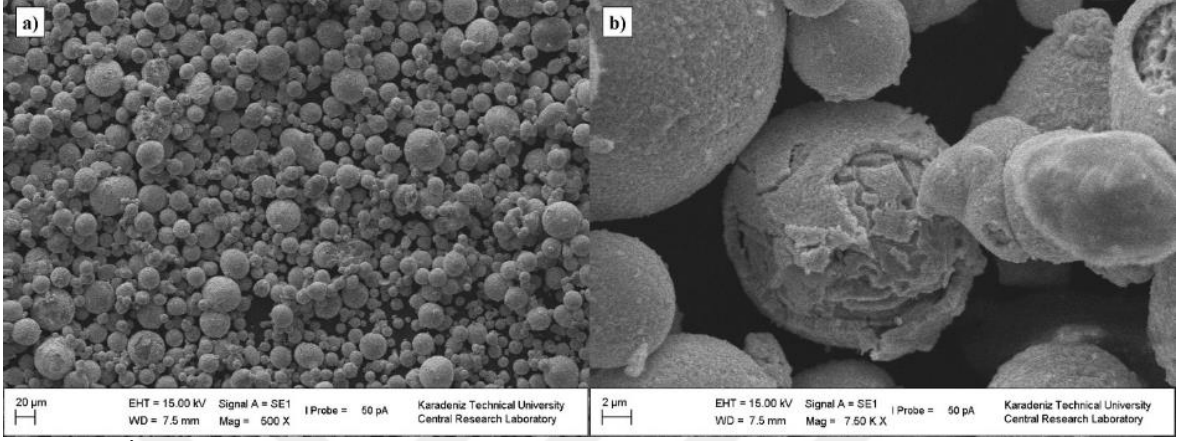


Şekil 56. -40 µm elek aralığındaki bakır tozlara ait XRD grafiği

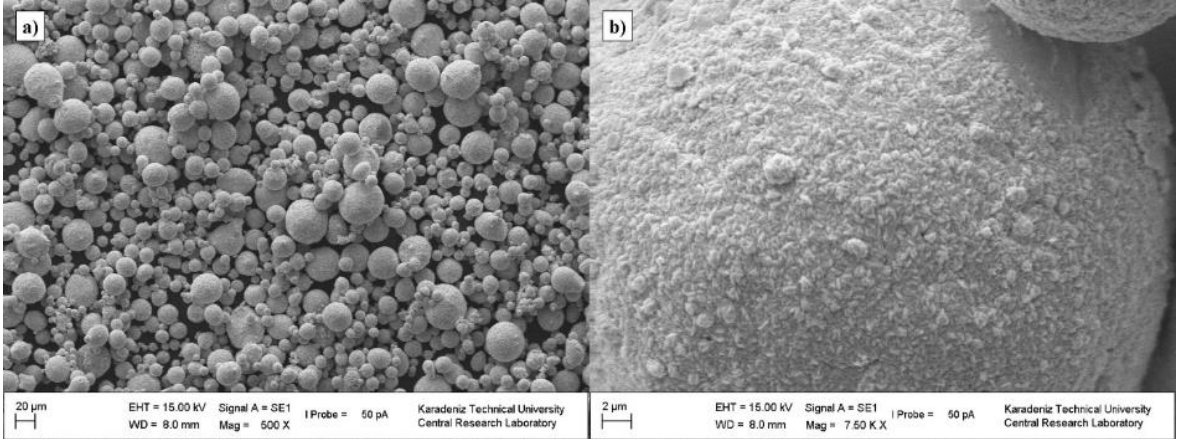
3.4. Birinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Yapılan Morfoloji İncelemeleri

Bu tez çalışması kapsamında işlem koşullarının etkilerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen ve Tablo 8’de parametreleri belirlenmiş olan 27 deney sonucunda elde edilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüleri Şekil 57-Şekil 83 arasında paylaşılmıştır. Şekil 57-83 incelendiğinde akımsız gümüş kaplama işlem koşulları olarak farklı parametreler ile deneyleri gerçekleştirilen sıcaklık, karıştırma hızı ve pH koşullarının akımsız gümüş kaplama tabakasının homojenliği ve yapısı üzerine oldukça büyük etkileri olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda en uygun pH değerinin 11 olduğu tespit edilmiştir. Şekil 63, Şekil 64, Şekil 65, Şekil 72, Şekil 73, Şekil 74, Şekil 81, Şekil 82 ve Şekil 83’te görüldüğü üzere pH 11 mertebesinde gerçekleştirilen bütün akımsız gümüş kaplama deneylerinde diğer pH değerleri (7 ve 9) ile kıyaslandığında daha homojen ve nispeten tüm yüzeyde pürüzsüz elde edilen bir gümüş tabakası varlığı ortaya çıkmaktadır. Diğer bir işlem koşulu olan sıcaklık parametresi incelendiğinde sıcaklığın akımsız gümüş kaplama tabakası üzerindeki etkisinin pH ile kıyaslandığında daha az öneme sahip olduğu görülmektedir. Ancak yapılan morfolojik incelemeler neticesinde sıcaklığın da gümüş kaplama tabakası üzerine etkilerinin olduğu tespit edilmiş ve en uygun akımsız gümüş kaplama sıcaklığının 40 °C olduğu tespit edilmiştir. Son olarak işlem koşulları olarak belirlenen karıştırma hızının özellikle sıvı çözelti içerisinde partiküllerin dağılmasını doğrudan etkilemesi nedeniyle homojen bir kaplama tabakası elde etmek için önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde en uygun karıştırma hızının 600 devir/dakika karıştırma hızı olduğu tespit edilmiştir.

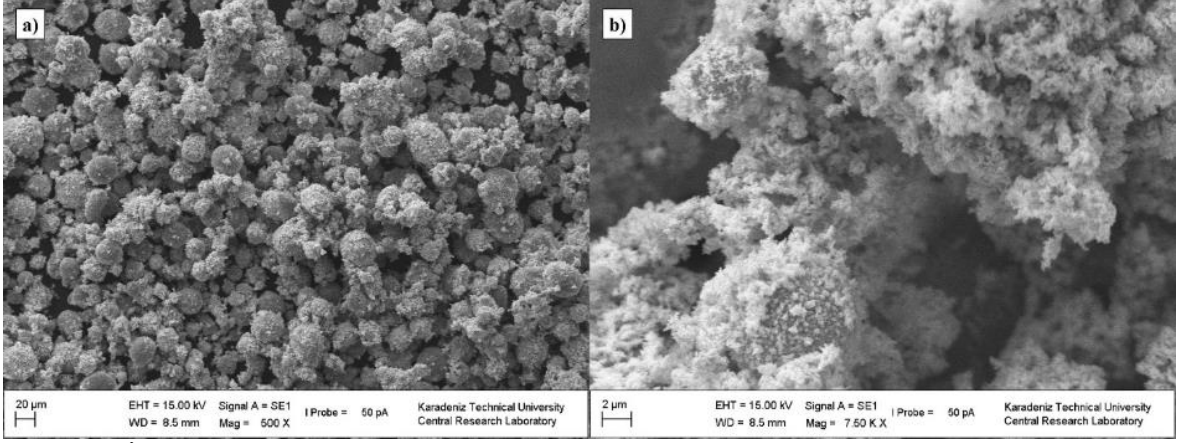
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde en uygun akımsız gümüş kaplama işlem koşullarının 40  C sıcaklık, 600 devir/dakika karıştırma hızı ve pH 11 olduğu belirlenmiştir.



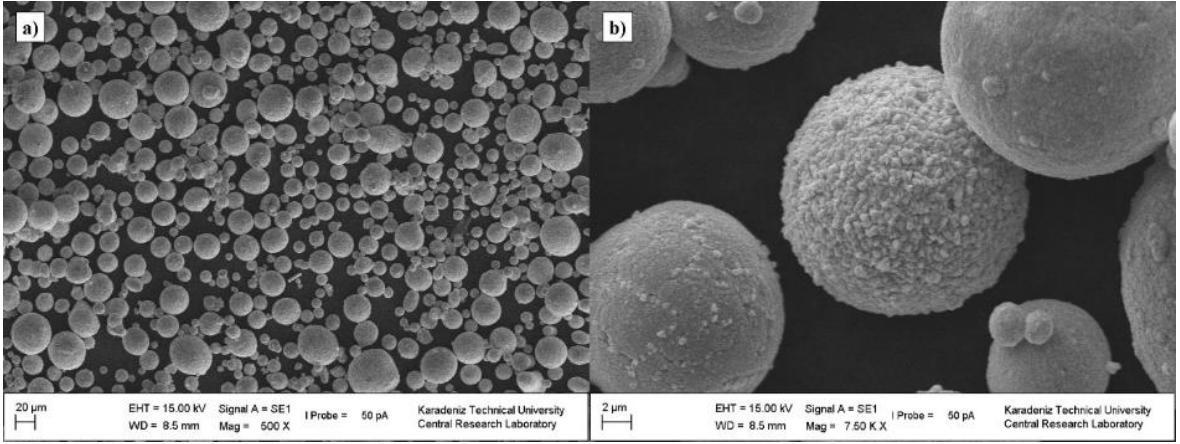
şekil 57. İK-1 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



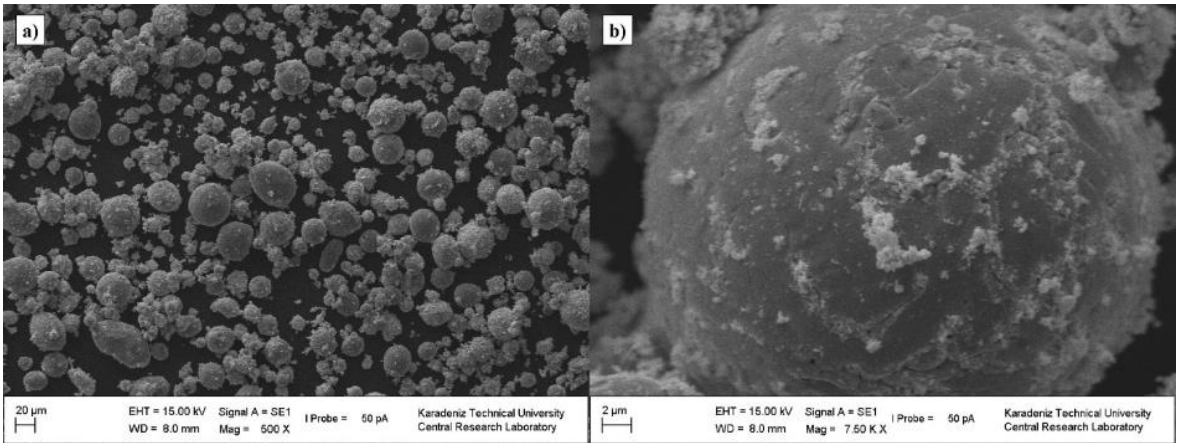
şekil 58. İK-2 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



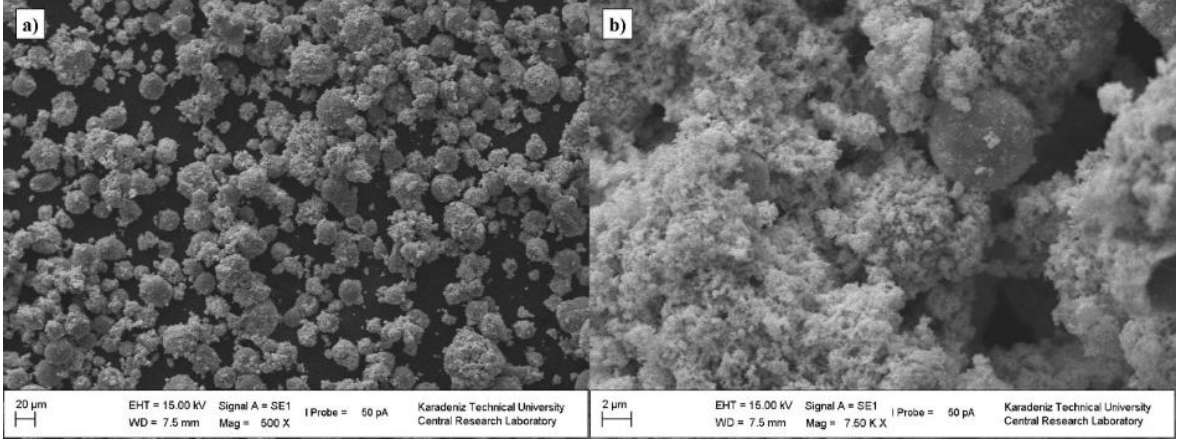
Şekil 59. İK-3 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



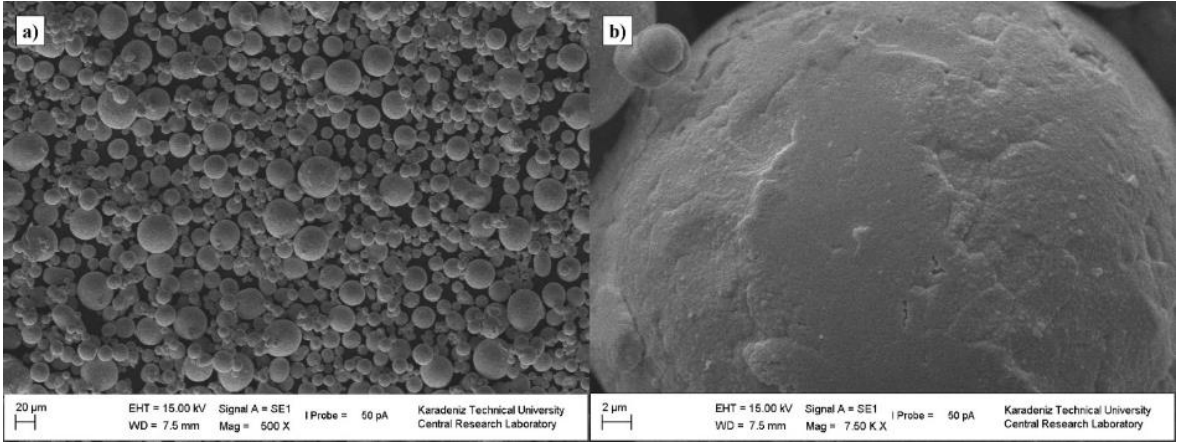
Şekil 60. İK-4 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



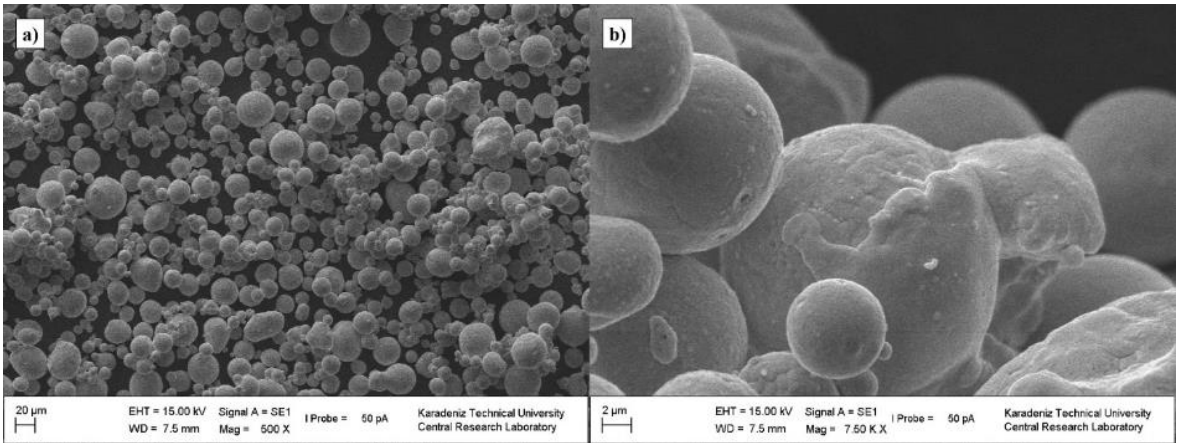
Şekil 61. İK-5 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



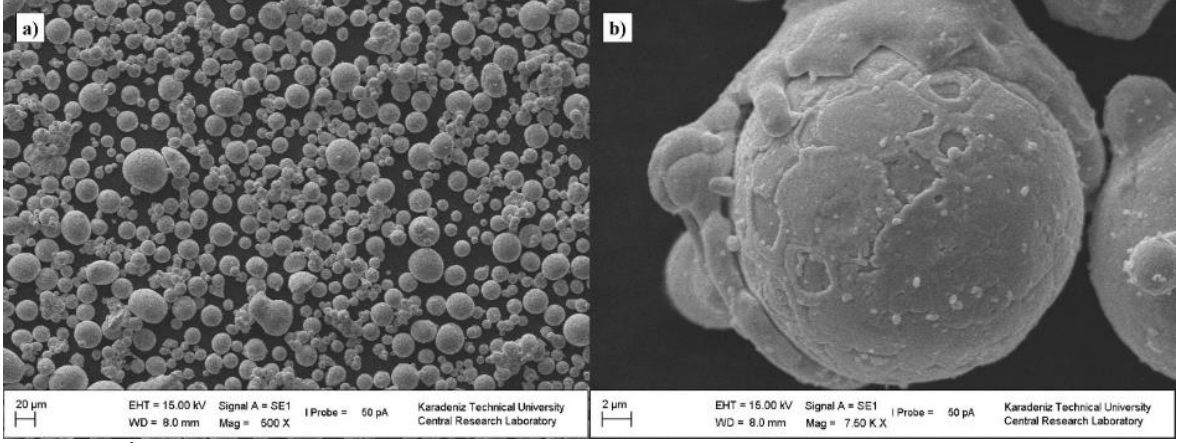
Şekil 62. İK-6 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



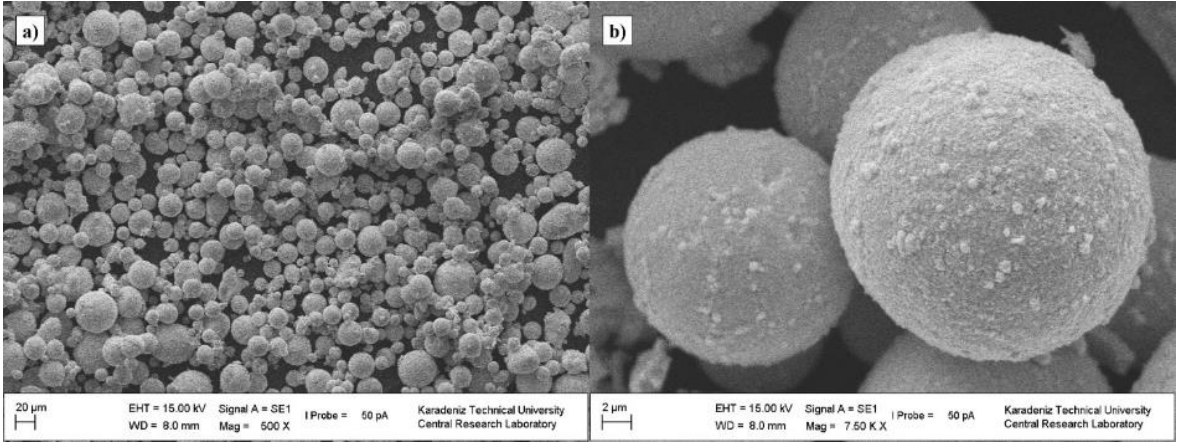
Şekil 63. İK-7 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



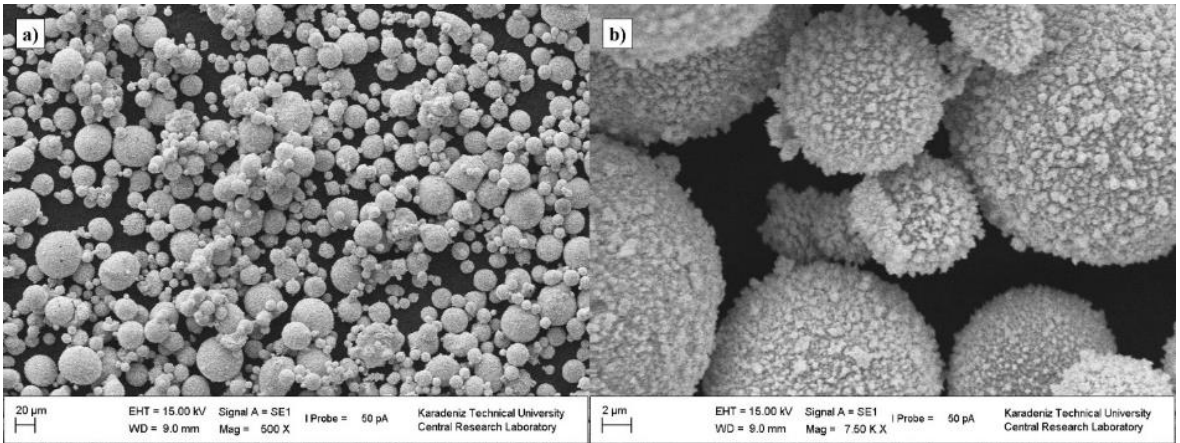
Şekil 64. İK-8 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



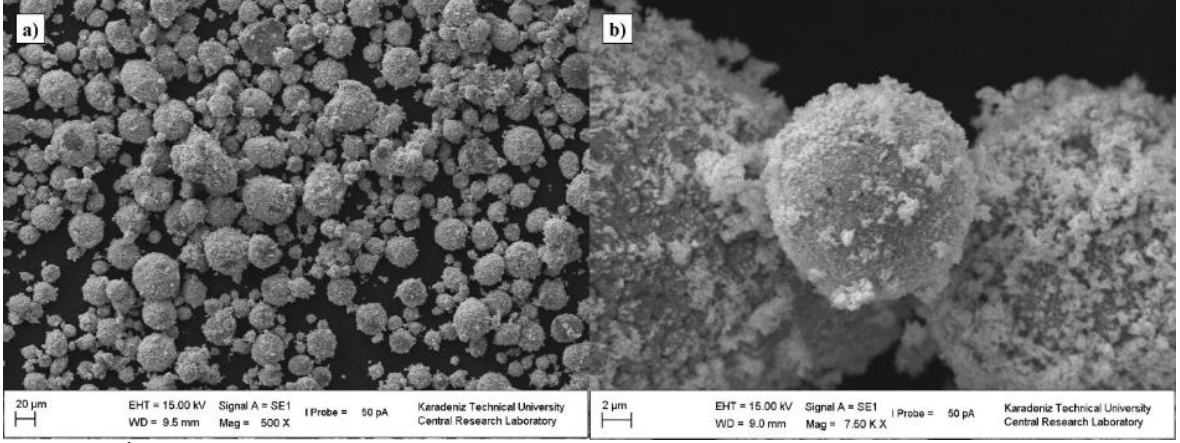
Şekil 65. İK-9 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



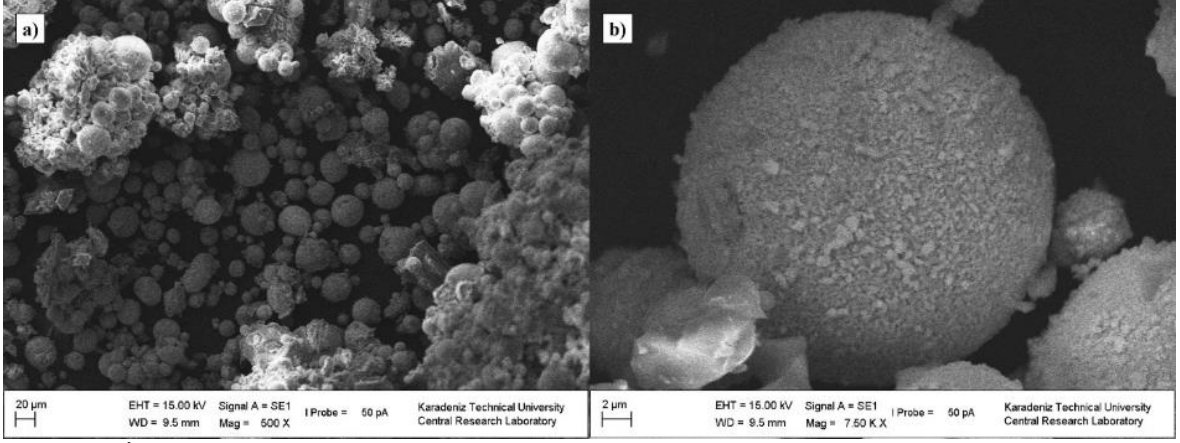
Şekil 66. İK-10 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



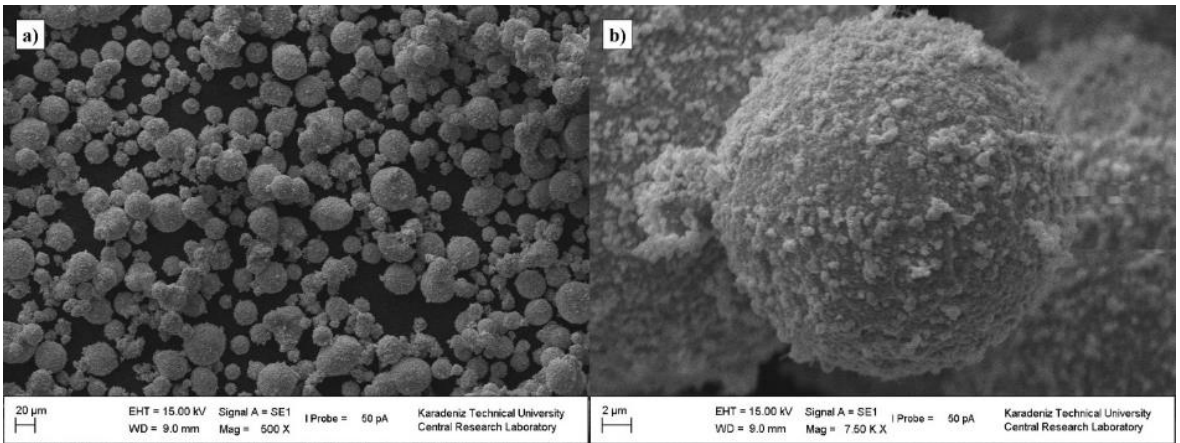
Şekil 67. İK-11 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



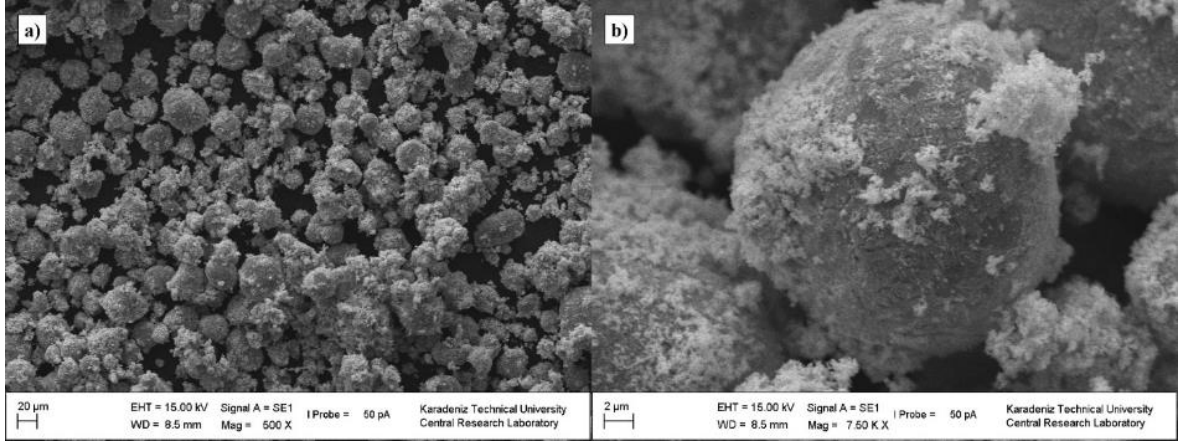
Şekil 68. İK-12 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



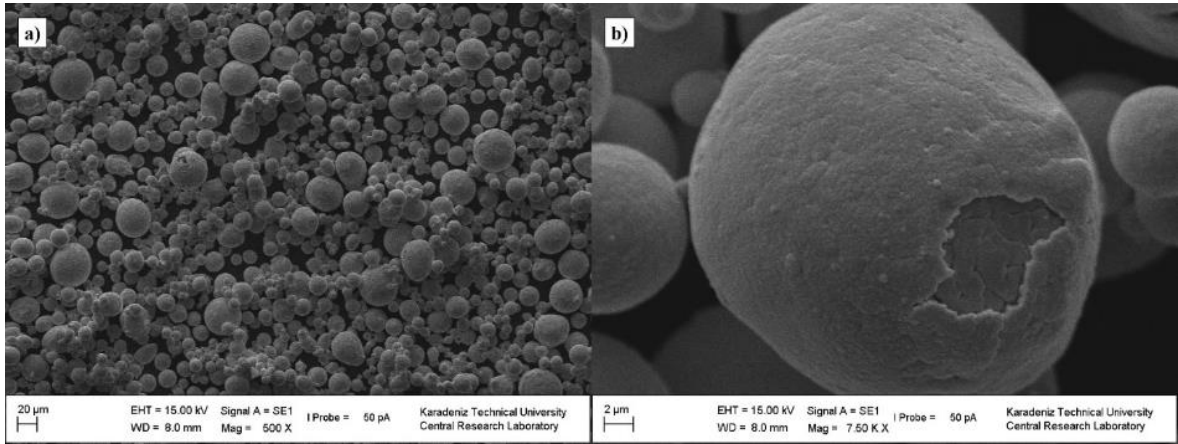
Şekil 69. İK-13 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



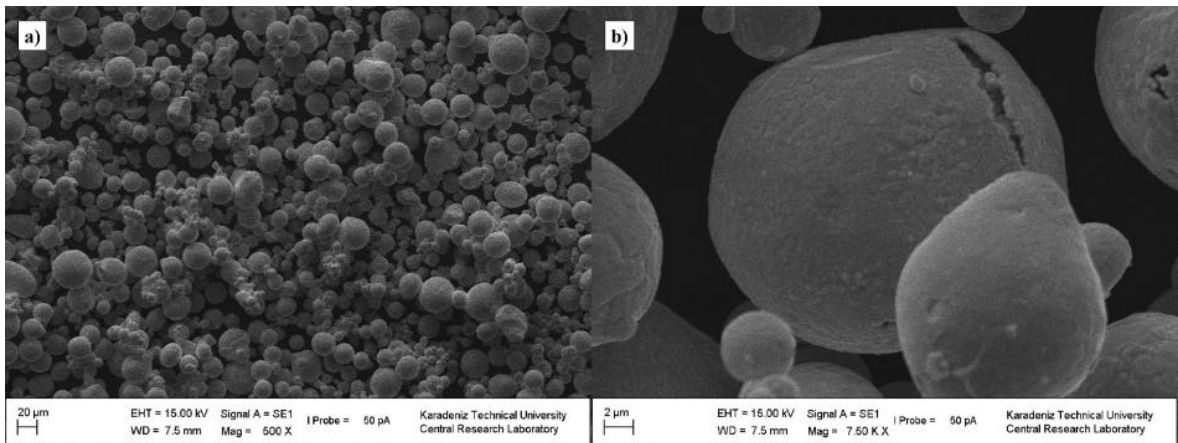
Şekil 70. İK-14 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



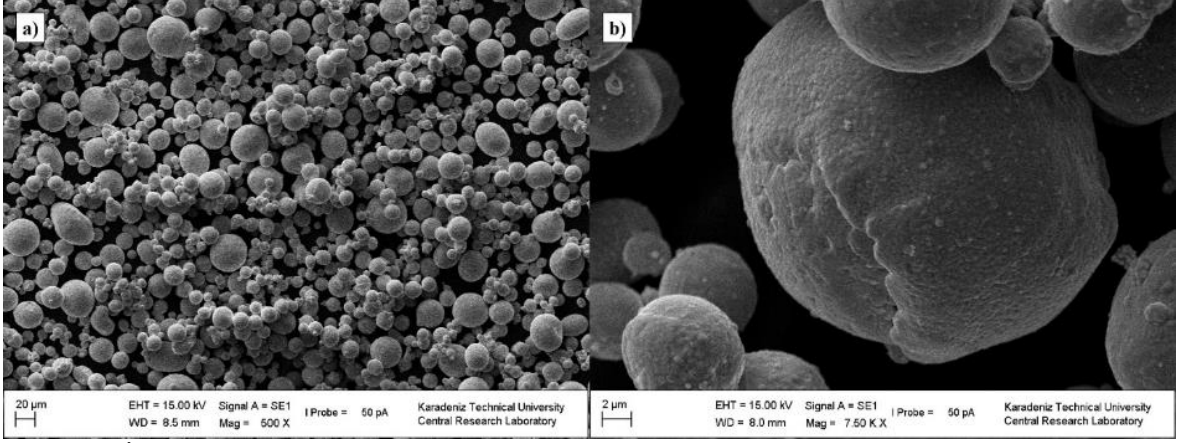
Şekil 71. İK-15 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



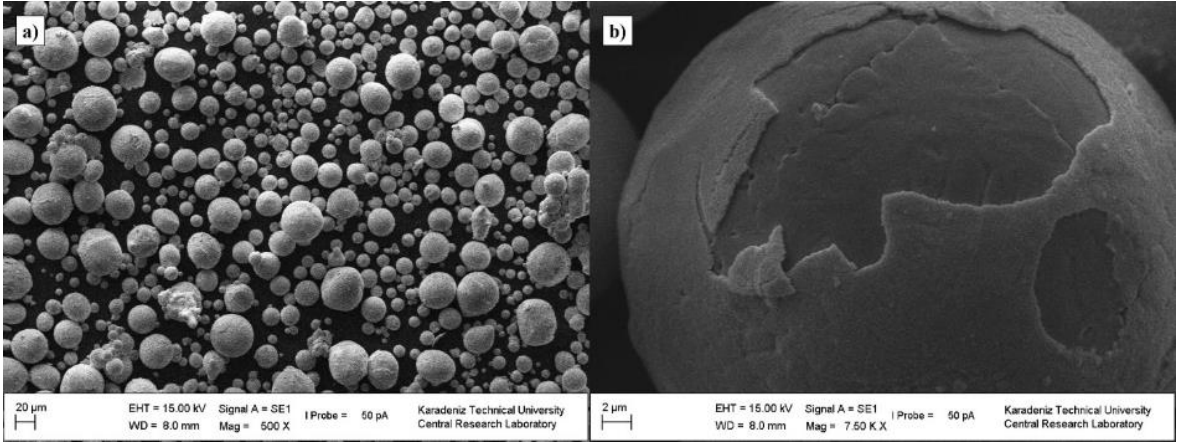
Şekil 72. İK-16 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



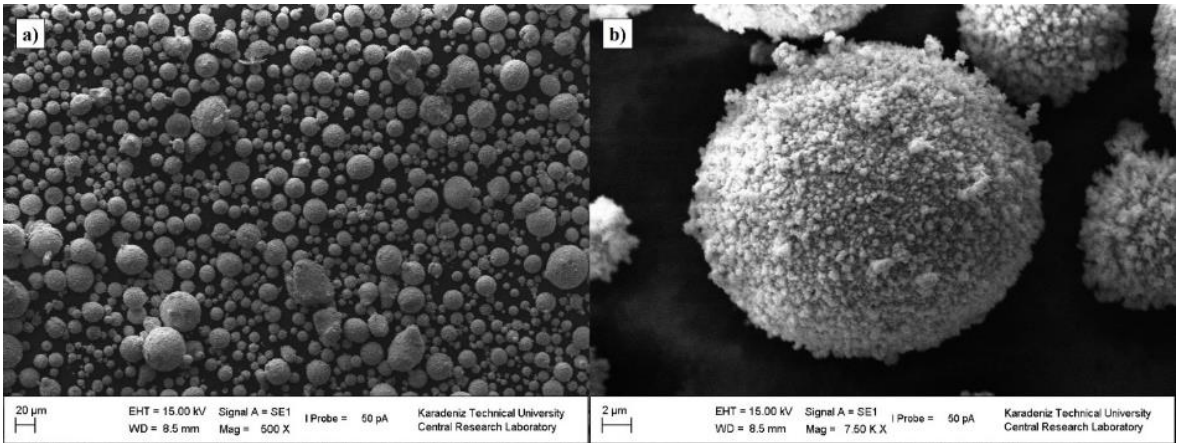
Şekil 73. İK-17 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



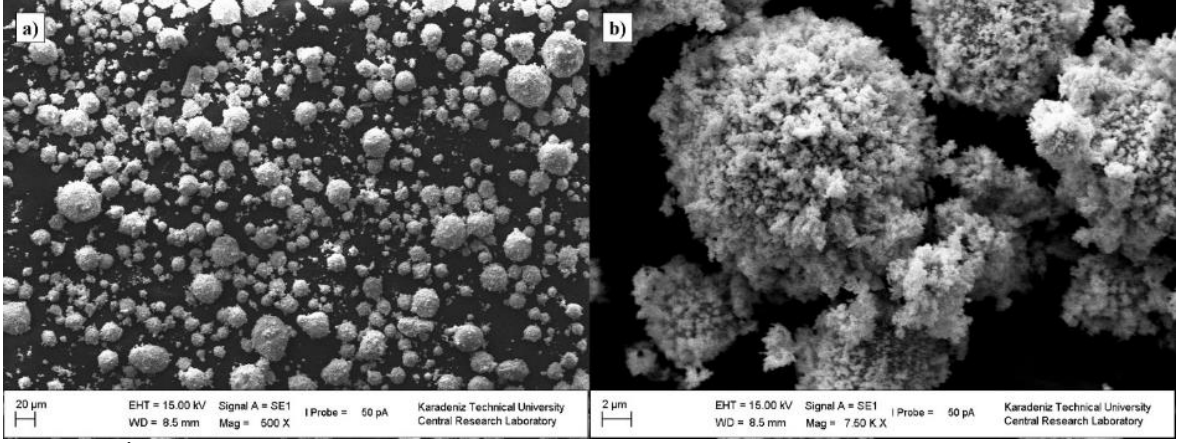
Şekil 74. İK-18 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



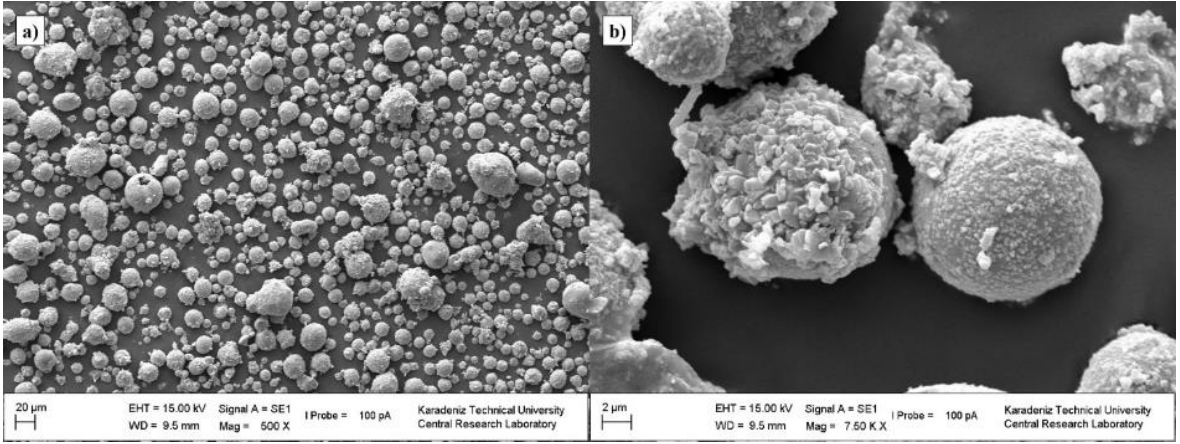
Şekil 75. İK-19 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



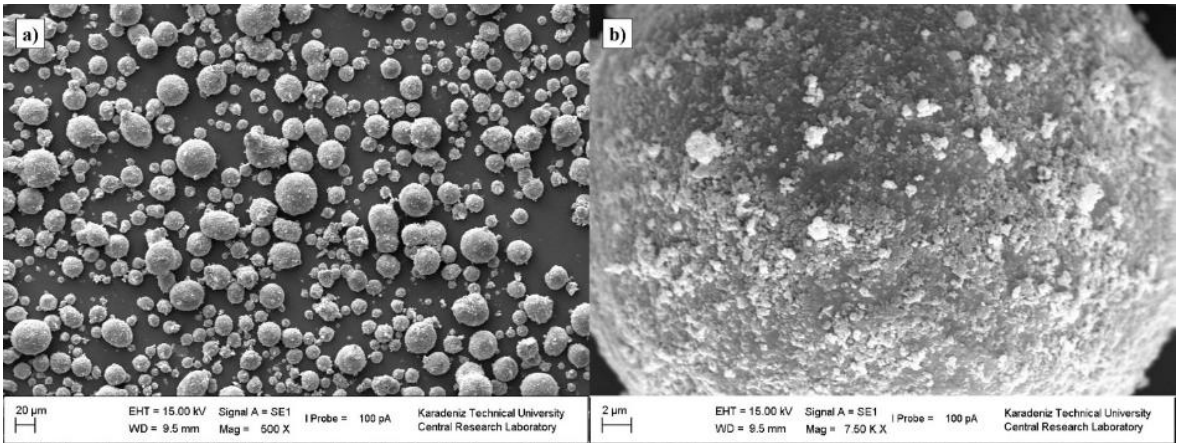
Şekil 76. İK-20 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



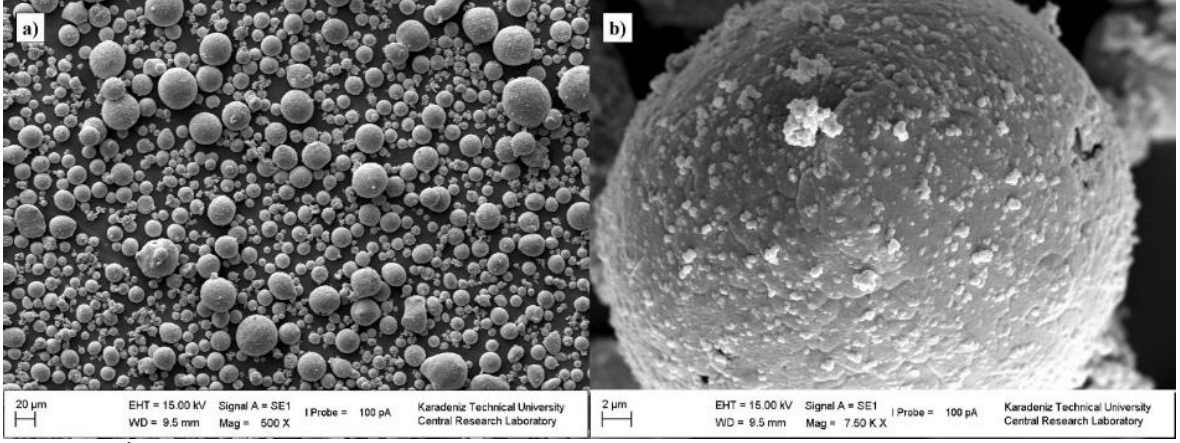
Şekil 77. İK-21 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



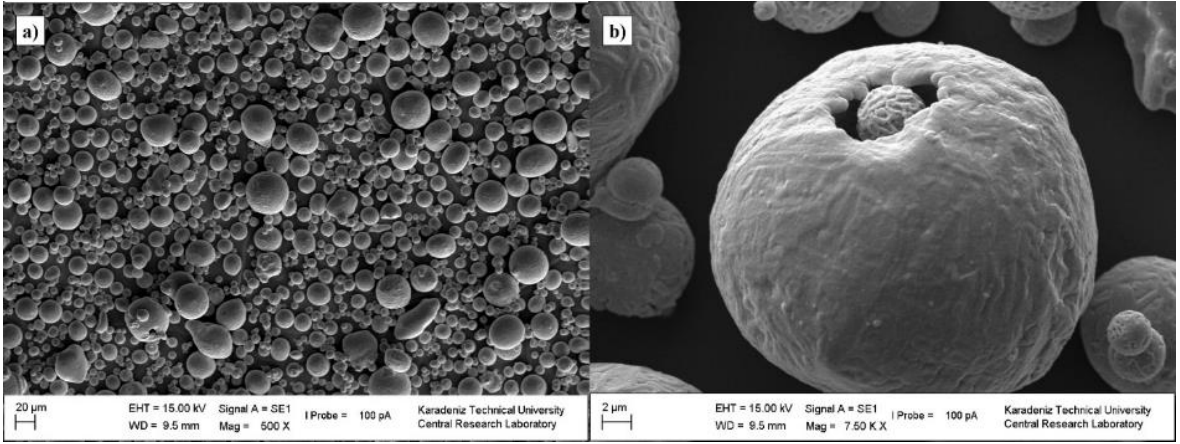
Şekil 78. İK-22 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



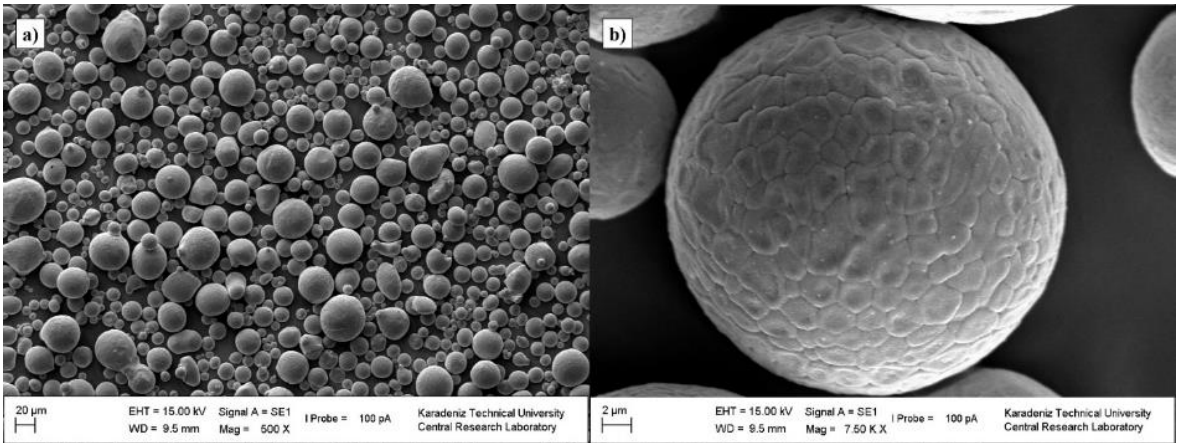
Şekil 79. İK-23 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



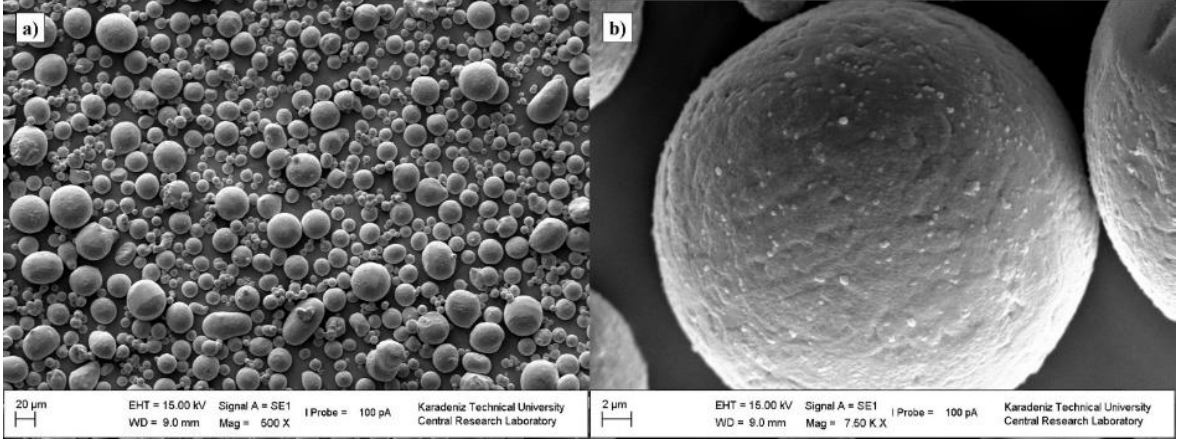
Şekil 80. İK-24 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



Şekil 81. İK-25 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)



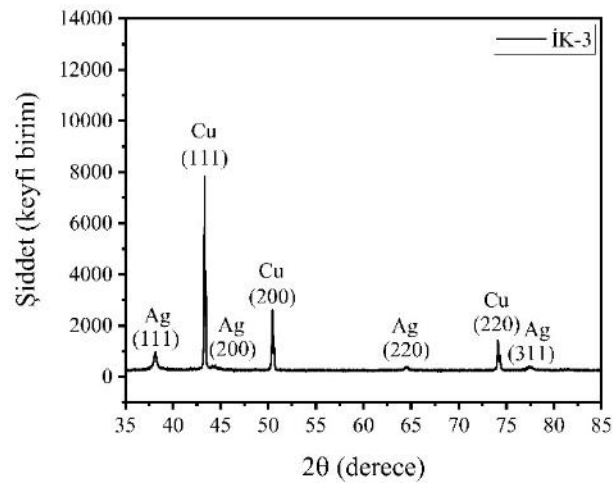
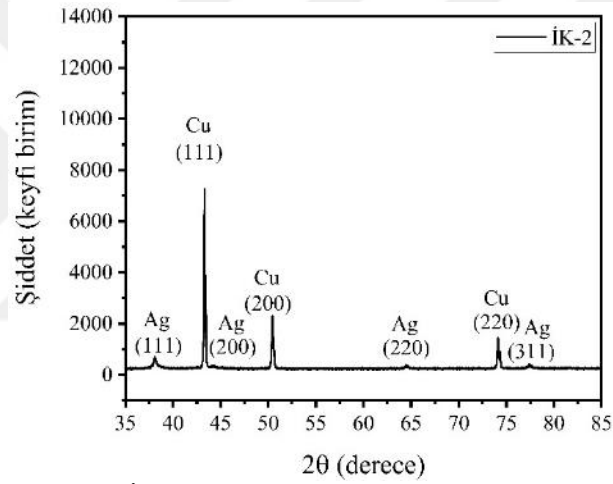
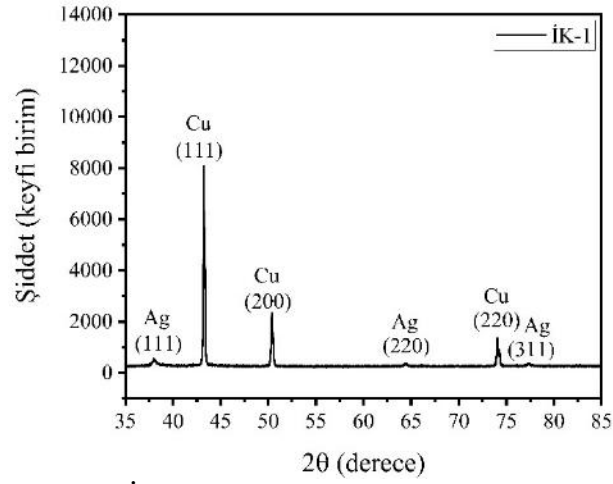
Şekil 82. İK-26 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)

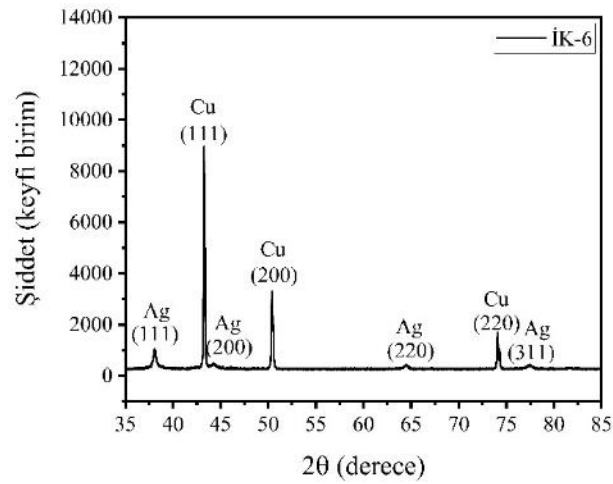
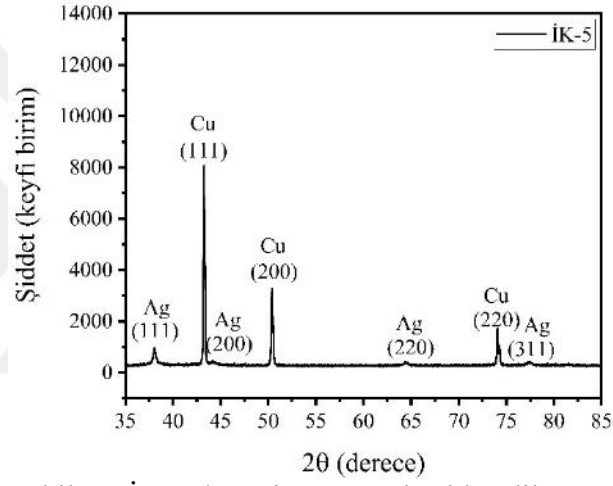
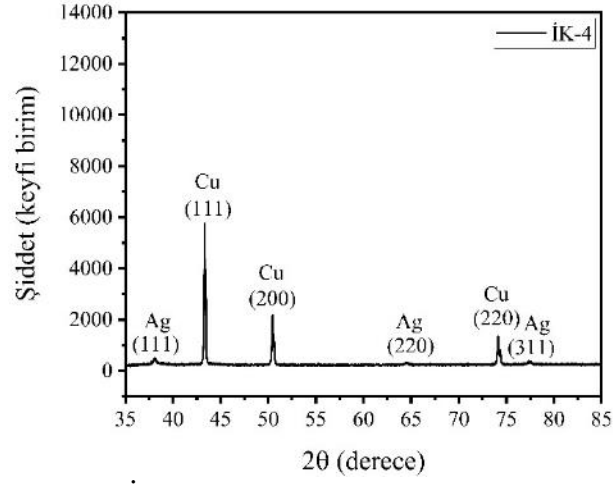


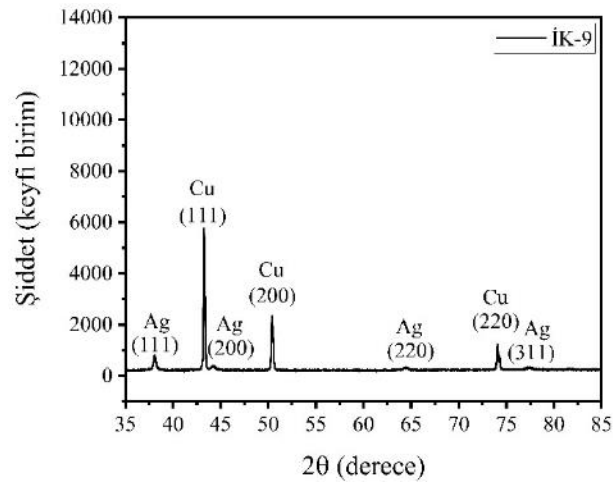
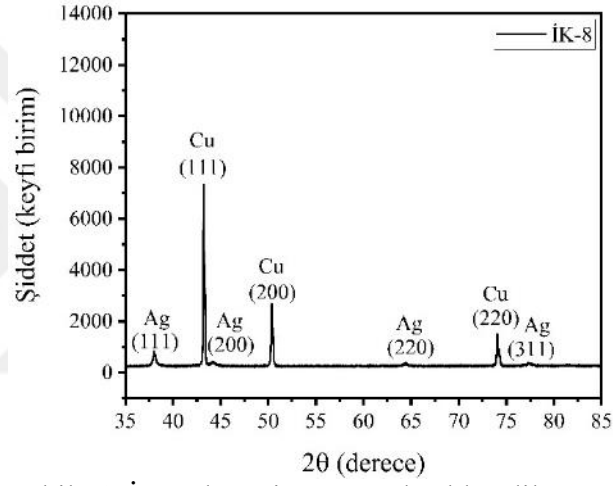
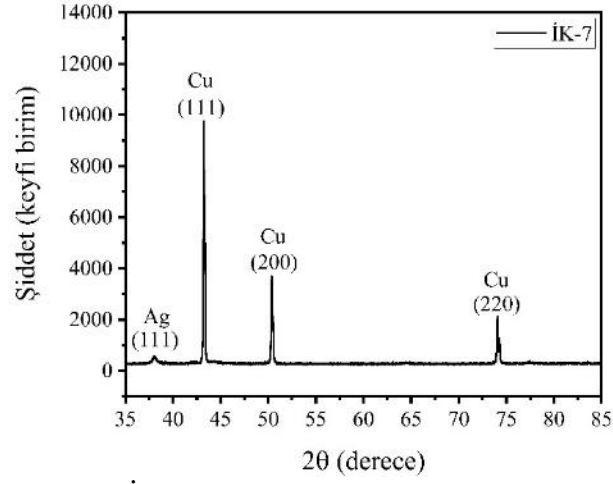
Şekil 83. İK-27 kodlu deney sonrası elde edilen gümüş kaplı bakır toz morfoloji görüntüleri; 500X (a) ve 7500X (b)

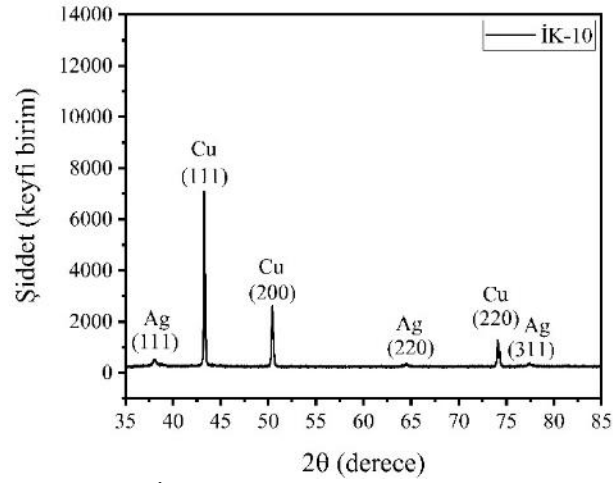
3.5. Birinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Yapılan XRD Analizleri

Bu tez çalışması kapsamında Tablo 8’de belirlenen parametrelere göre gerçekleştirilen birinci grup akımsız gümüş kaplama deneyleri sonrasında üretilen partiküllerin XRD analizleri sonrasında elde edilen XRD grafikleri Şekil 84-110 arasında yer almaktadır. Elde edilen XRD desenleri neticesinde tüm tozların yapısında yalnızca bakır ve gümüş fazlarına rastlanmıştır. Elde edilen XRD desenleri incelendiğinde bakır için referans olarak kabul edilen JCPDS 04-0836 [74] ve gümüş için referans kabul edilen JCPDS 04-0783 [75] ile uyumludur ancak parametrik gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen veriler göstermektedir ki akımsız gümüş kaplama işlem koşulları elementel analiz sonuçlarını doğrudan etkilememektedir. Elementel analiz sonuçları incelendiğinde İK-1, 4, 7, 10, 19, 22 ve 23 numaralı deneyler sonucunda elde edilmesi gereken (200) gümüş kırınımı elde edilememiştir. Bahsi geçen bu deneylerin sıcaklık değerleri düşük olarak belirlenen (20 °C) parametre ışığında ayarlanmıştır. Buradan anlaşılmaktadır ki akımsız gümüş kaplama işleminde başarılı bir gümüş indirgemenin gerçekleşebilmesi için işlem sıcaklığı büyük bir önem taşımaktadır. Benzer şekilde karıştırma hızı da özellikle tüm yüzeyde homojen bir kaplama tabakası elde edilmesi için önemli bir parametredir ve XRD desenleri incelendiğinde özellikle düşük karıştırma hızı (200 devir/dakika) gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen XRD desenlerinde gümüş fazı olarak eksik desenler bulunmaktadır. Sonuç olarak elde edilen XRD desenleri incelendiğinde en uygun sonucun pH 11 mertebesinde 40 °C sıcaklıkta ve 600 devir/dakika karıştırma hızında gerçekleştirilen deney (İK-26) neticesinde elde edildiği anlaşılmaktadır.

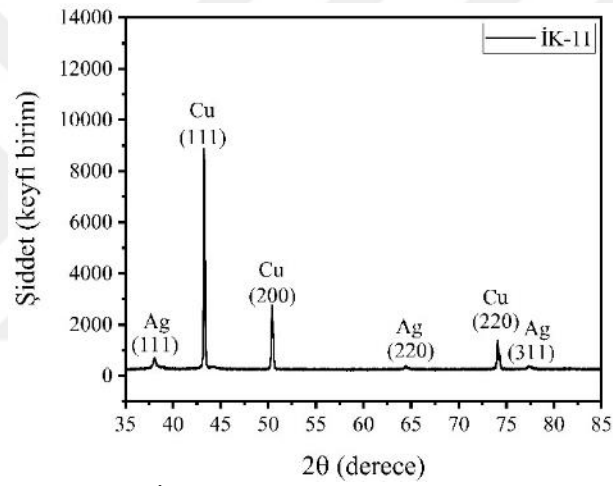




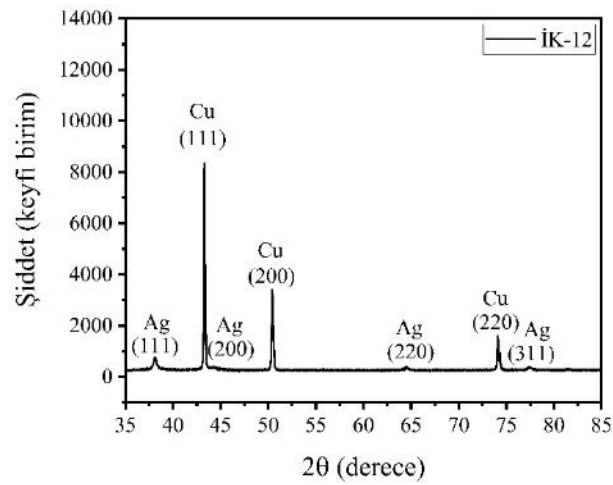




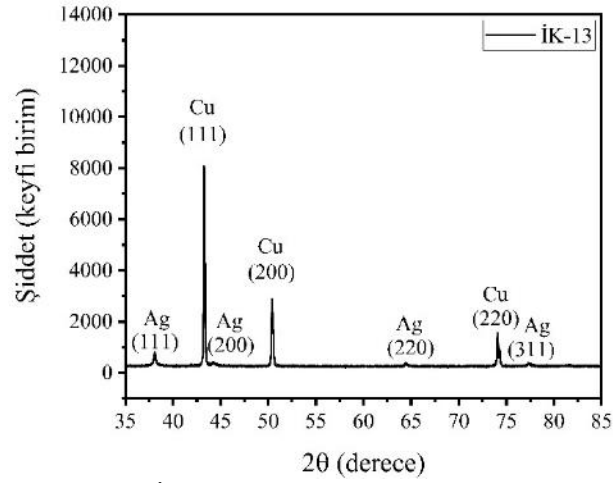
Şekil 93. İK-10 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



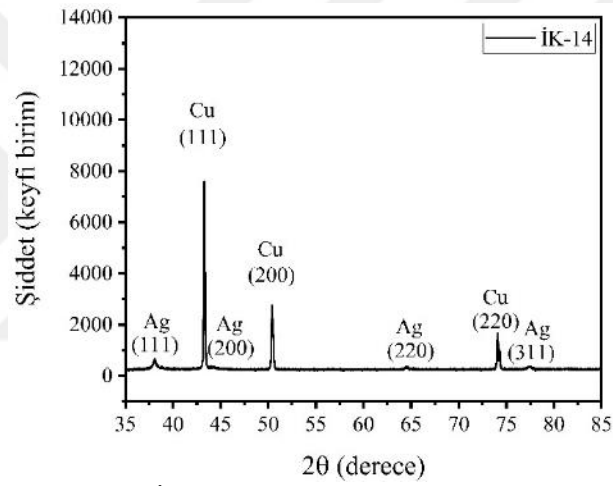
Şekil 94. İK-11 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



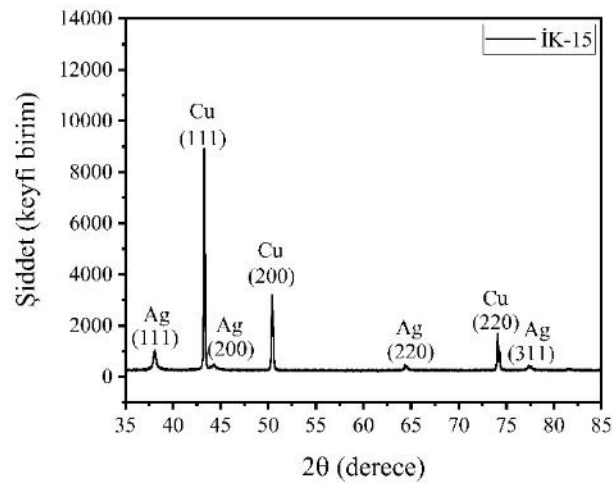
Şekil 95. İK-12 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



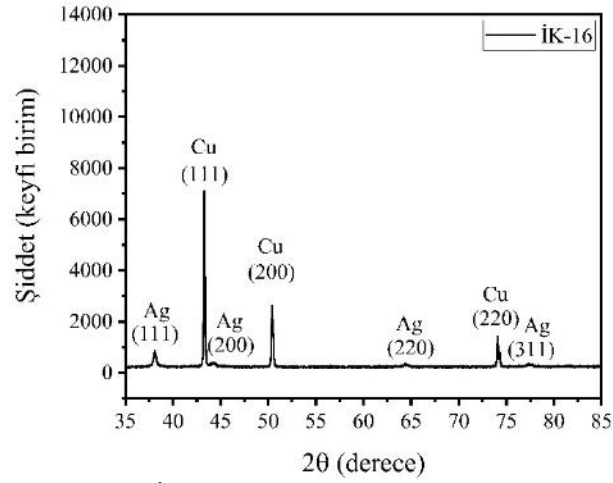
Şekil 96. İK-13 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



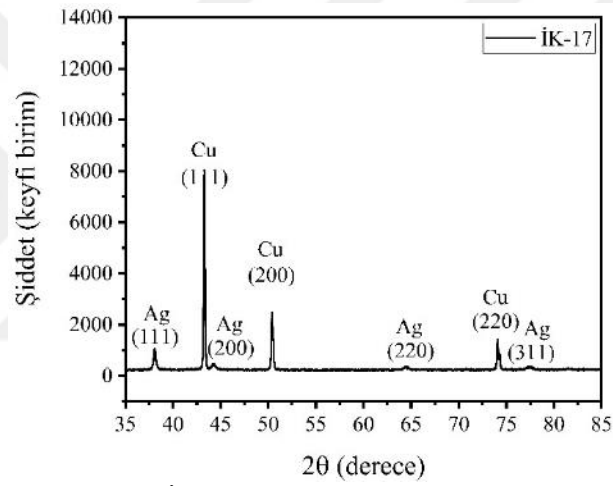
Şekil 97. İK-14 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



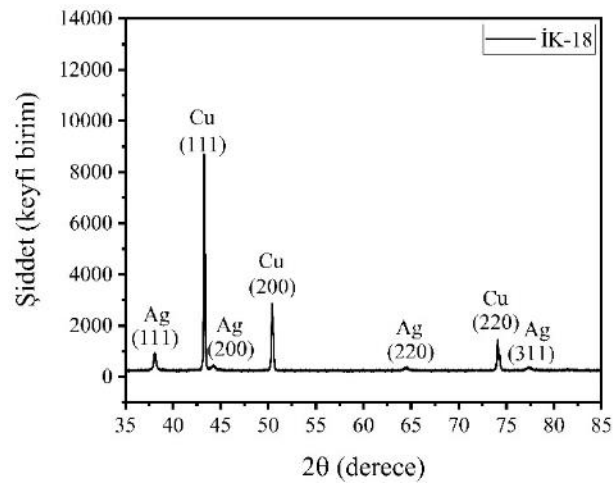
Şekil 98. İK-15 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



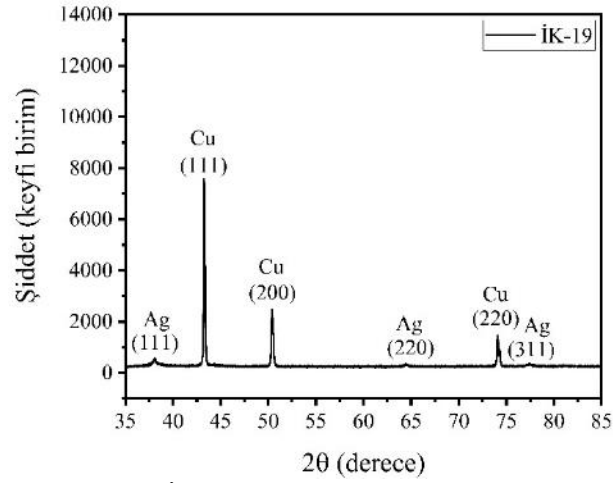
Şekil 99. İK-16 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



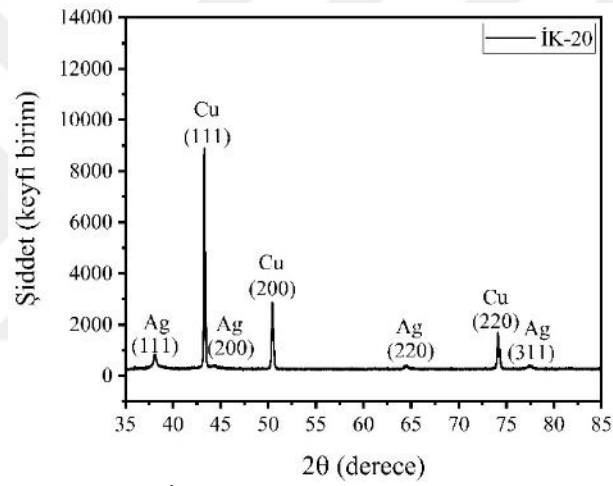
Şekil 100. İK-17 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



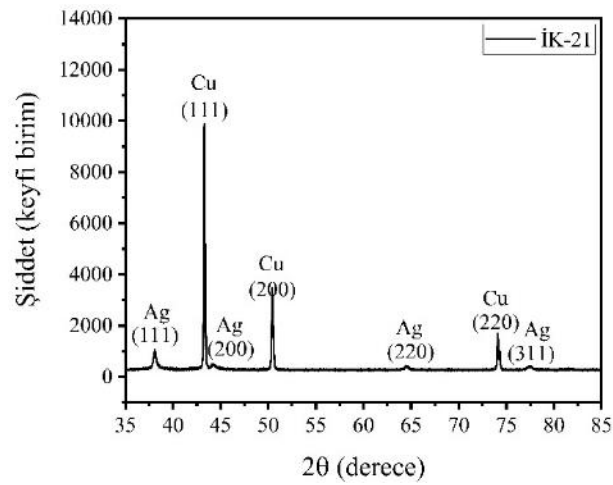
Şekil 101. İK-18 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



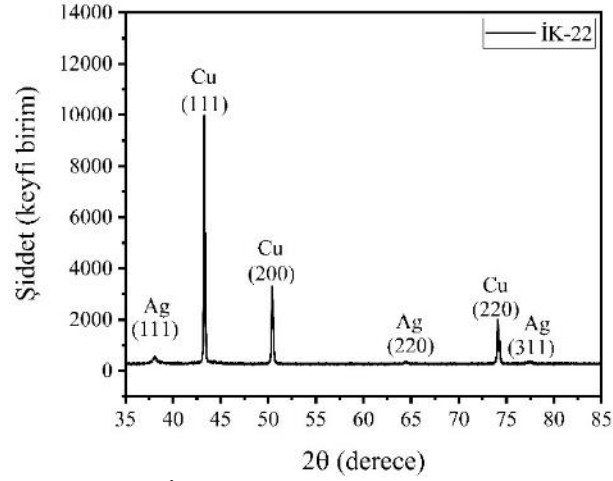
Şekil 102. İK-19 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



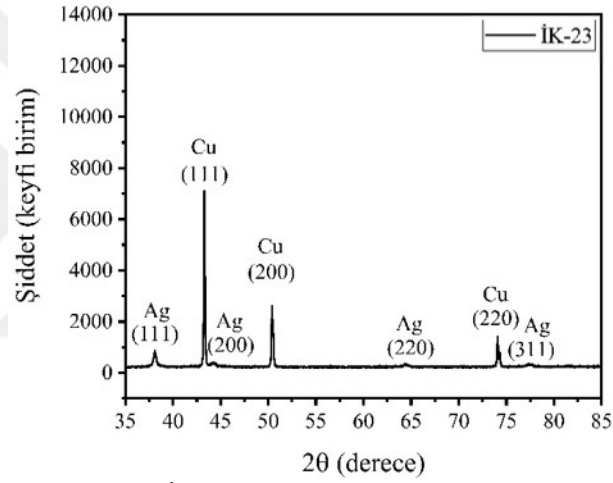
Şekil 103. İK-20 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



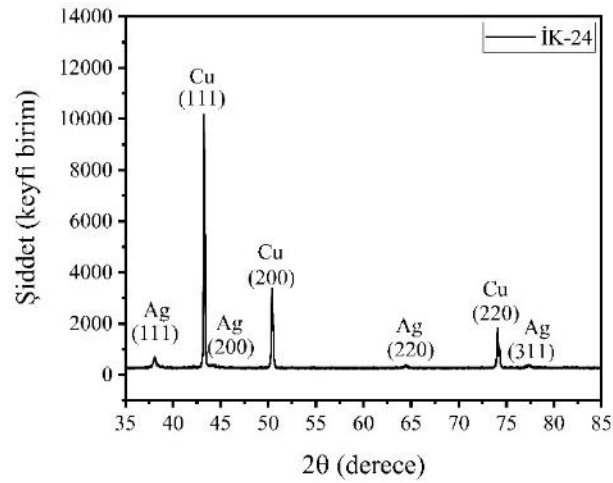
Şekil 104. İK-21 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



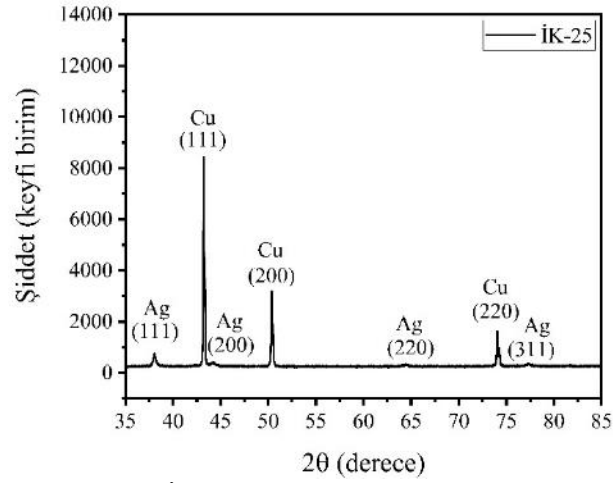
Şekil 105. İK-22 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



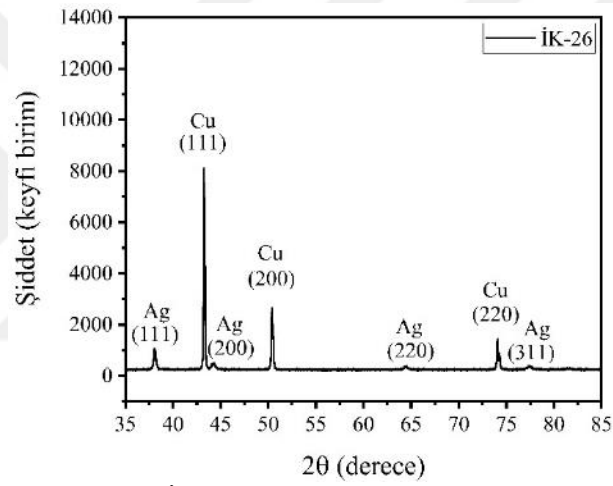
Şekil 106. İK-23 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



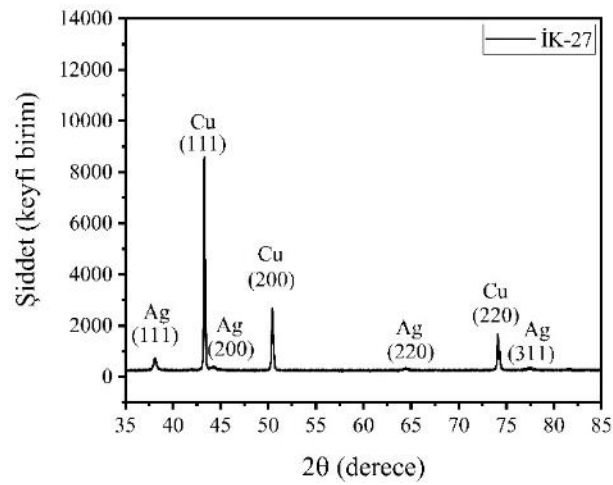
Şekil 107. İK-24 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



Şekil 108. İK-25 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri



Şekil 109. İK-26 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri

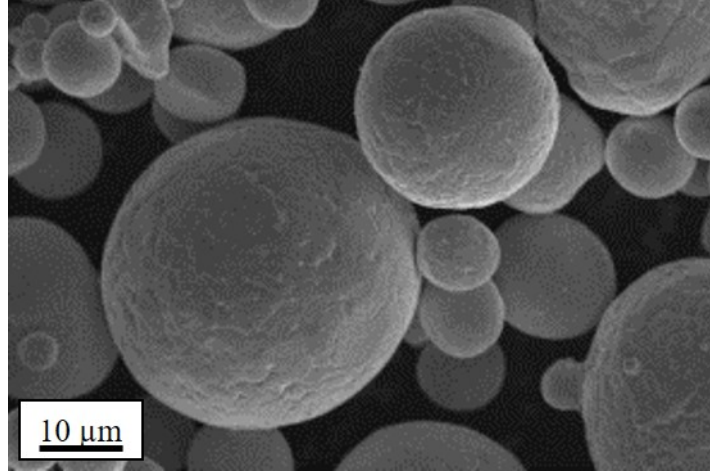


Şekil 110. İK-27 deneyi sonucunda elde edilen X-ışını kırınımı desenleri

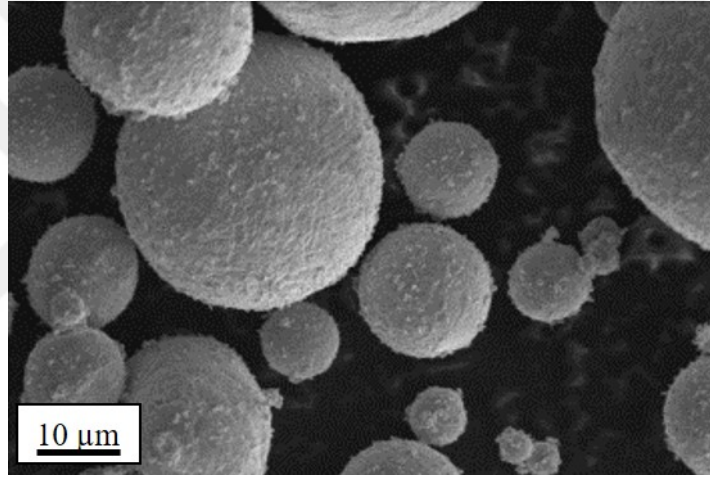
3.6. İkinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Yapılan Morfoloji İncelemeleri

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen birinci grup deneyler sonrasında belirlenen en uygun akımsız gümüş kaplama banyo koşulları şartları ile Tablo 9’da yer alan parametreler kullanılarak gerçekleştirilen ikinci grup akımsız gümüş kaplama deneyleri neticesinde elde edilen gümüş kaplı bakır tozların morfoloji incelemelerine ait SEM görüntüleri Şekil 111-122 arasında yer almaktadır.

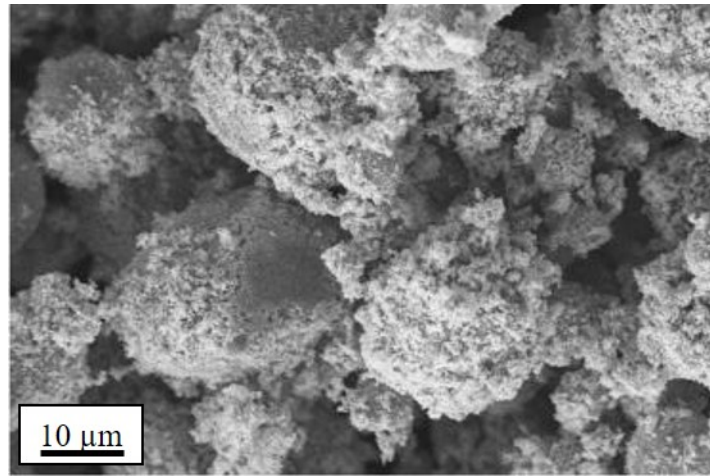
Bu tez çalışmasında BM-1, BM-2 ve BM-3 kodlu deney parametreleri kullanılarak altlık toz miktarının değişiminin akımsız kaplama süreci ve verimi üzerine etkilenin incelenmesi deneylerinde kaplanacak bakır miktarının kaplama süreci ve kaplama verimine etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneyler arasında 5 gram bakır tozunun kullanıldığı BM-1 olarak isimlendirilen deney sonucunda üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfolojik gözlemler Şekil 111’de verilmiş olup bakır tozları üzerine düzgün bir gümüş kaplama tabakası oluşmadığı gözlemlenmiştir. BM-2 olarak isimlendirilen deneyde BM-1 olarak isimlendirilen ve kaplama işleminde aynı banyo bileşiminde 5 gram bakır tozu kullanılan deneyden farklı olarak gümüş kaplanacak bakır miktarı 3 gram olacak şekilde azaltılarak parçacık başına düşen gümüş kaynağı miktarının artırılması ve bu durumun kaplama işlemine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. BM-2 olarak isimlendirilen deney sonucunda üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü Şekil 112’de verilmiş olup bakır tozları üzerine gümüş birikiminin noktasal olması sonucunda topaklanma oluştuğu ancak nitelikli bir kaplama tabakası ya da gümüş kabuğun oluşmadığı gözlemlenmiştir. BM-3 olarak isimlendirilen deneyde BM-1 ve BM-2 olarak isimlendirilen deneylerden farklı olarak 1 gram bakır tozu kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. BM-2 olarak isimlendirilen deneye göre bakır miktarı biraz daha düşürülmüş ve BM-2’de görülen topaklanma eğiliminin devam edip etmediği ve kabuk oluşumunun gözlenip gözlenmeyeceği araştırılmıştır. BM-3 olarak isimlendirilen deney sonucunda elde edilen morfoloji görüntüsü Şekil 113’te verilmiş olup bakır tozları üzerine gümüş birikiminin noktasal olarak devam ettiği ve bunun sonucunda bakır yüzeyi üzerinde gümüş topaklanmasının daha da arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 111. BM-1 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

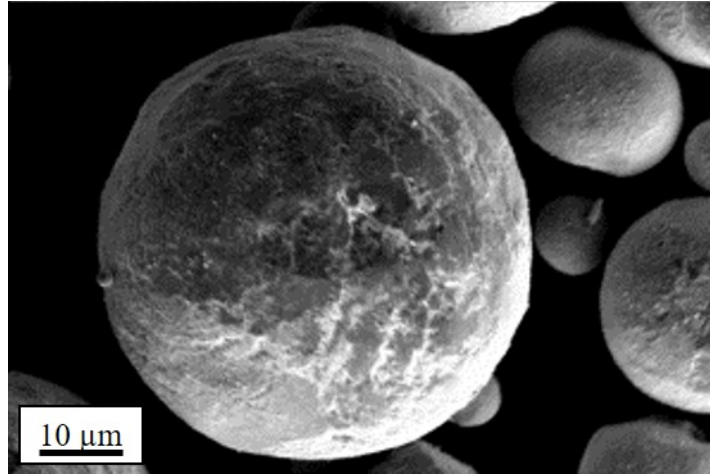


Şekil 112. BM-2 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

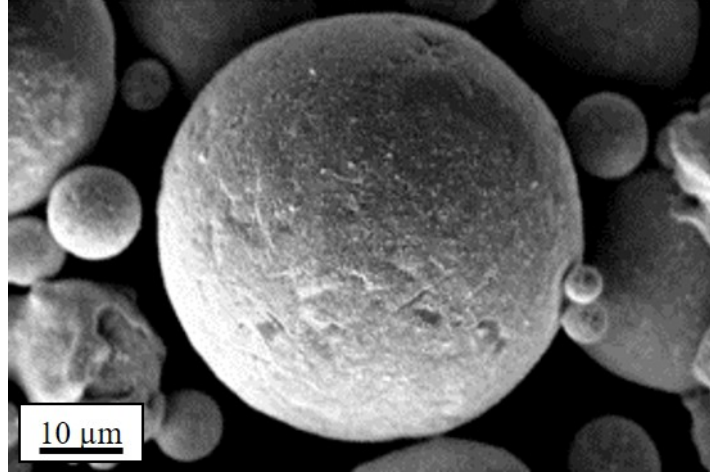


Şekil 113. BM-3 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

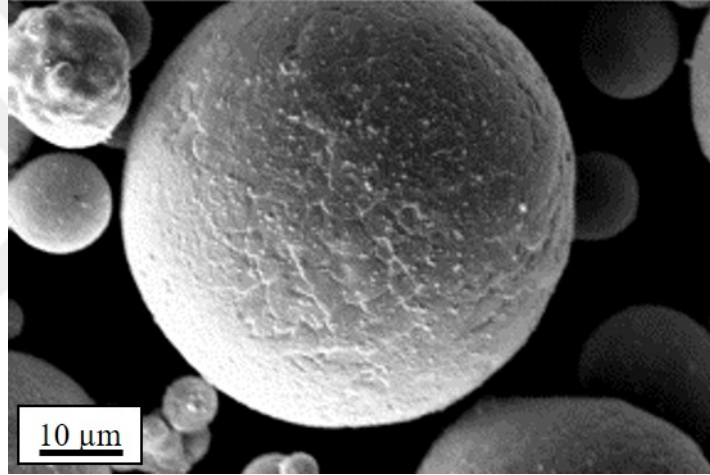
Bu tez çalışmasında akımsız gümüş kaplama işlem bileşen miktarlarının etkilerinin incelenmesinde belirlenen parametrelerden bir tanesi olan indirgeyici ajan miktarının etkisi deneyleri düşük gümüş kaynağı içeriği ile BM-4, BM-5, BM-6 ve BM-7 kodlu deney parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BM-4 olarak isimlendirilen akımsız gümüş kaplama işlemi sonrasında üretilen tozlar ile ilgili morfoloji görüntüsü Şekil 114'te verilmiş olup morfoloji resimde de görüldüğü gibi küresel bakır parçacıklarının üzerinde bir miktar gümüş birikimi oluşmuştur. BM-5 olarak isimlendirilen deney sonucunda üretilen tozlara ait morfoloji görüntüsü Şekil 115'te yer almaktadır. Şekil 115'te yer alan morfoloji resimlerinde de görüldüğü gibi küresel bakır parçacıklarının üzerinde BM-4 olarak isimlendirilen deneyde de gözlemlendiği gibi bir miktar gümüş birikimi yine oluşmuştur. Bununla birlikte bakır tozları üzerinde verimli bir gümüş kabuk elde edilememiştir. BM-6 ile ilgili morfoloji görüntüsü Şekil 116'da yer almaktadır. BM-6 ile ilgili morfoloji görüntüsünde de görüldüğü gibi küresel bakır parçacıklarının üzerinde bir miktar gümüş birikimi oluşmuştur. Bununla birlikte bakır tozları üzerinde verimli bir gümüş kabuk elde edilememiştir. BM-7 ile ilgili morfoloji resimleri Şekil 117'de gösterilmektedir. BM-7 ile ilgili morfoloji görüntüsünde de görüldüğü gibi küresel bakır parçacıklarının üzerinde önceki deneylerde (BM-4, 5 ve 6) görüldüğü gibi bir miktar gümüş birikimi oluşmuştur. Bununla birlikte bakır tozları üzerinde verimli bir gümüş kabuk elde edilememiştir.



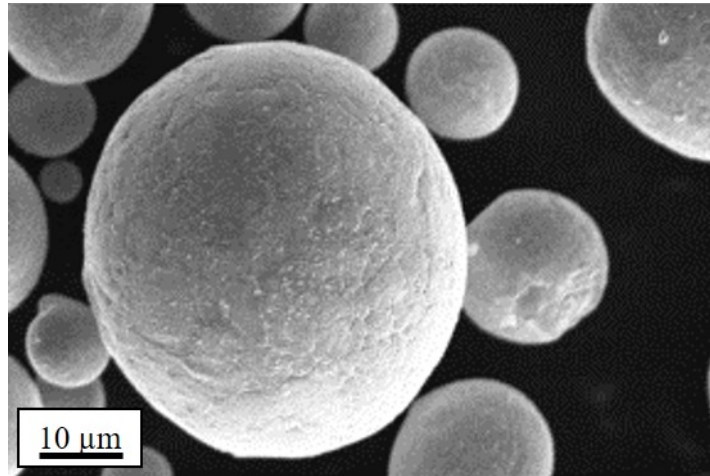
Şekil 114. BM-4 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü



Şekil 115. BM-5 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

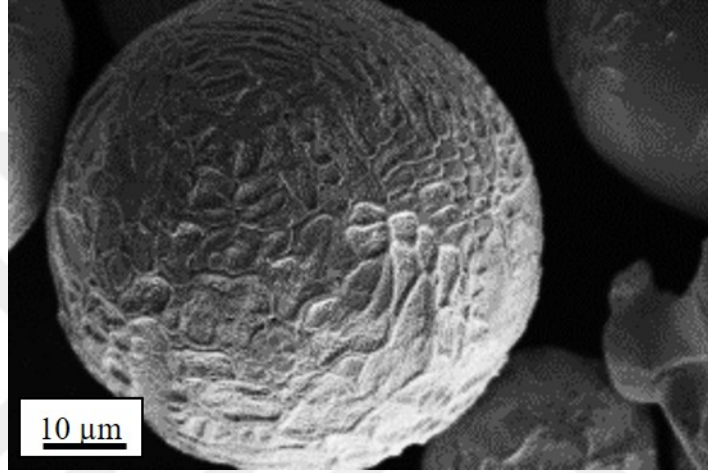


Şekil 116. BM-6 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

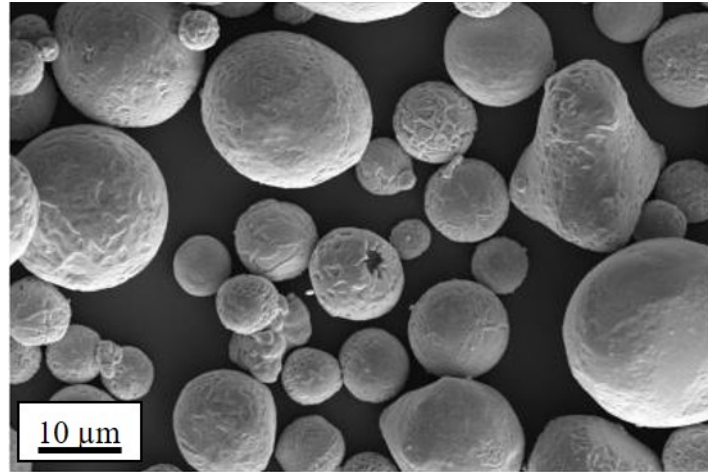


Şekil 117. BM-7 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

BM-8 ve BM-9 kodlu deney parametreleriyle gerçekleştirilen deneyler neticesinde sabit indirgeyici ajan miktarının değişen gümüş kaynağı miktarıyla birlikte gümüş tabakasına etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüleri BM-8 için şekil 118’de BM-9 için şekil 119’da yer almaktadır. Morfoloji görüntülerinden de anlaşılacağı üzere artan gümüş kaynağı miktarıyla gümüş kabuk elde edilebileceği ortaya konulmuştur ancak yine de tam olarak etkin bir gümüş kaplama tabakası elde edilememiştir.

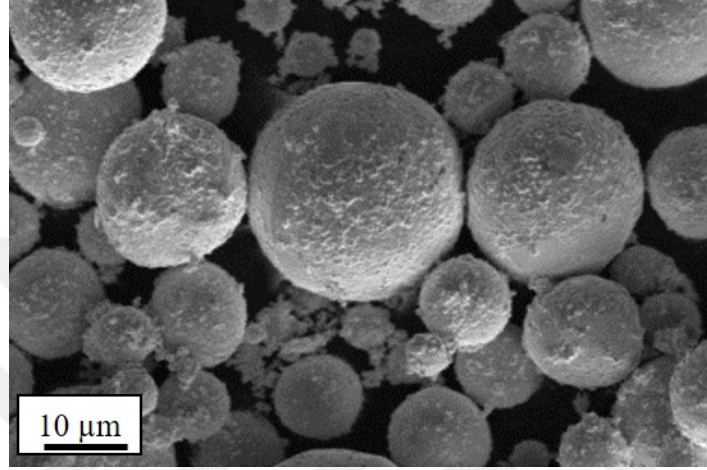


şekil 118. BM-8 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

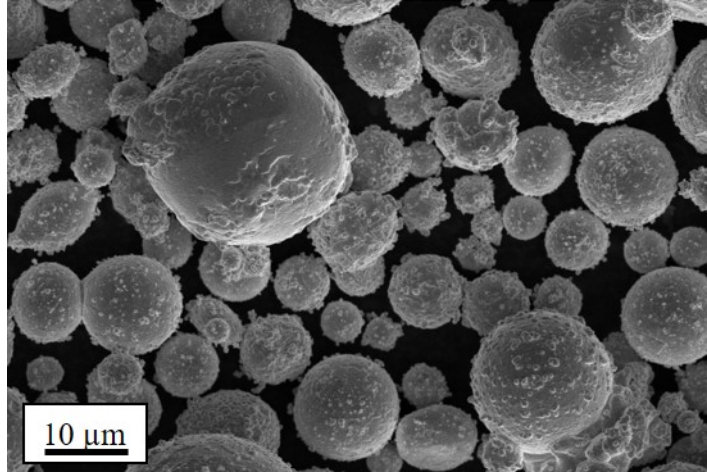


şekil 119. BM-9 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

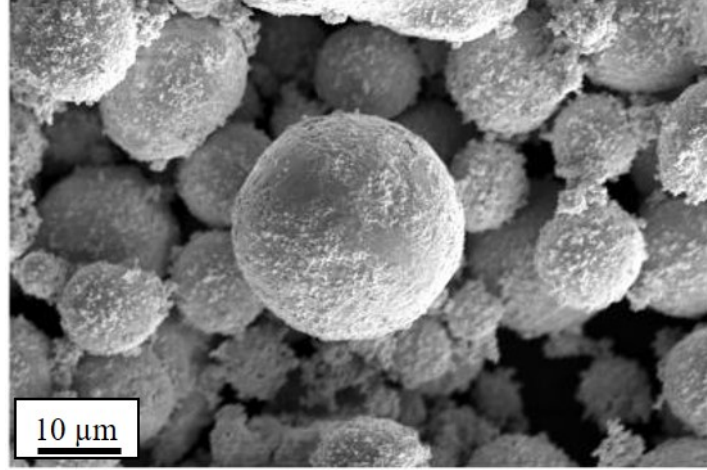
BM-10, BM-11 ve BM-12 kodlu deney parametreleri kullanılarak yüksek gümüş kaynağı miktarı koşullarında değişken indirgeyici ajan miktarının incelendiği deneysel çalışmalar sonucunda üretilen gümüş kaplı bakır tozların morfoloji incelemelerine ait görüntüler sırasıyla Şekil 120-122’de yer almaktadır. Gümüş kaynağı miktarının artmasıyla gümüş tabaka eldesinin kolaylaştığı açıkça görülmektedir.



Şekil 120. BM-10 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü



Şekil 121. BM-11 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü



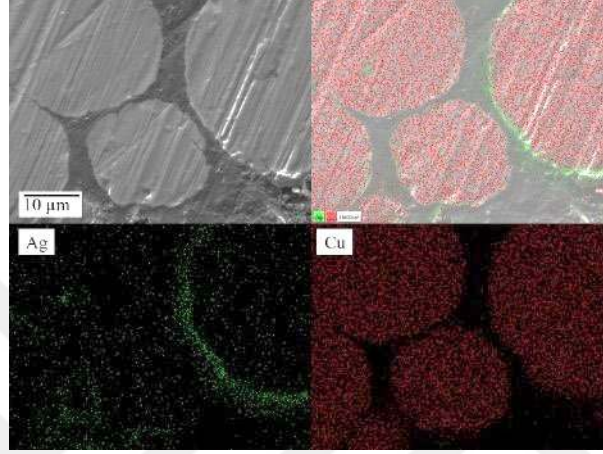
Şekil 122. BM-12 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait morfoloji görüntüsü

Sonuç olarak akımsız kaplama işlemleri başlığı altında açıklanan 12 adet deney koşulları ve sonuçları dikkate alındığında kaplama tabakası kalınlığı bakımından en iyi sonuçlar BM-10, BM-11 ve BM-12 olarak isimlendirilen deneylerde elde edilmiştir. BM-11 olarak isimlendirilen deney sonucunda elde edilen kaplama kalınlığı BM-10 olarak isimlendirilen deneye göre daha fazla olduğundan ve BM-12 olarak isimlendirilen deney sonucunda topaklanma eğilimi gözlemlendiğinden en iyi kaplama tabakası verimi BM-11’de elde edilmiştir. Bundan sonraki üretim süreçlerinde (sıcak presleme) kullanılacak gümüş kaplı bakır tozlar BM-11’deki kaplama parametreleri kullanılarak üretilmiştir.

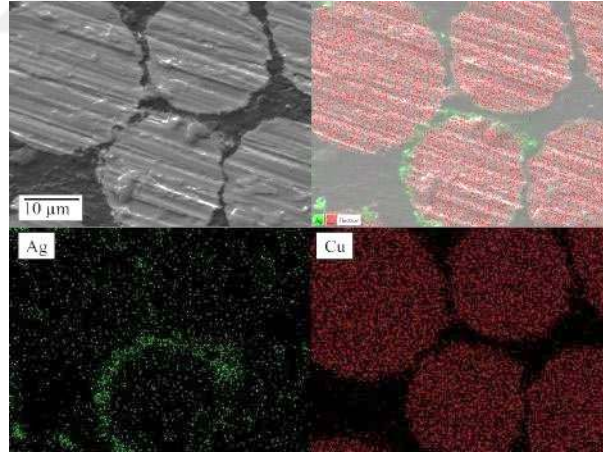
3.7. İkinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Tozların Kesit Görüntüleri Üzerinde Yapılan Element Haritalama İncelemeleri

Bu tez çalışması kapsamında Tablo 9’da yer alan işlem bileşen miktarlarının farklı parametrelerle deneysel olarak test edildiği çalışmalar sonrasında üretilen gümüş kaplı bakır tozlar üzerlerine polimerik bir reçine dökülmesi, kürleştirilmesi ve daha sonrasında 2000 numaralı sulu zımpara ile zımparalanması sonrasında elementel haritalama testlerine tabi tutulmuştur. Kesit görüntüleri üzerinden yapılan haritalama analiz sonuçları Şekil 123-134 arasında gösterilmektedir. Şekil 123 incelendiğinde BM-1 olarak isimlendirilen deney sonucunda üretilen gümüş kaplı bakır tozların kesin görüntüsünde çok az bir gümüş kaplama tabakası varlığı görülmektedir. BM-2 olarak isimlendirilen deneye ait kesit görüntüsü Şekil 124’te yer almaktadır ve BM-1 kodlu deneyde görüldüğü gibi tüm partiküllerin etrafında homojen olmayan ve düşük miktarda bir gümüş kaplama tabakası mevcuttur.

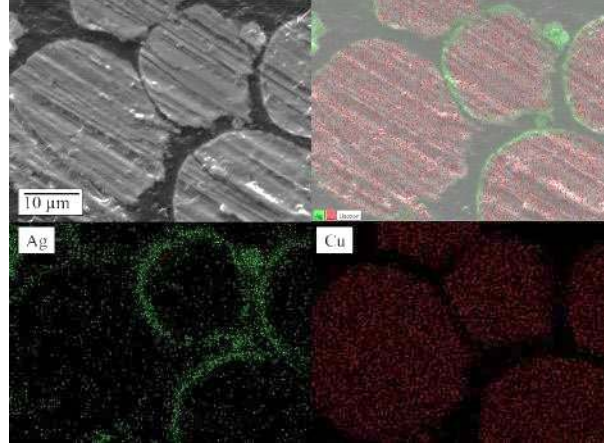
BM-1 ve BM-2 ile aynı parametrelerle fakat çok daha düşük bakır tozunun kullanılmasıyla gerçekleştirilen BM-3 kodlu deney neticesinde elde edilen kesit görüntüsünde (Şekil 125) gümüş kaplama tabakasının varlığı belirgin hale gelmeye başlamıştır ancak homojen değildir ve yetersizdir. Ayrıca kaplama kalınlıkları incelendiğinde 1 μm kalınlıktan daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 123. BM-1 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

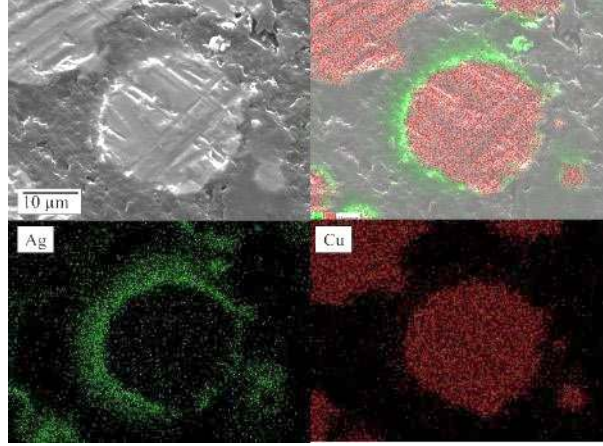


Şekil 124. BM-2 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

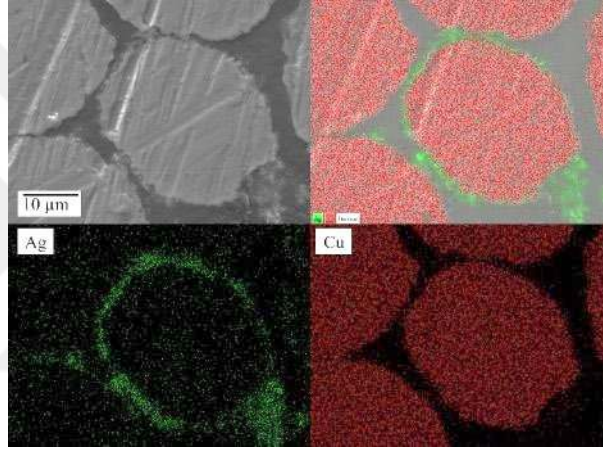


Şekil 125. BM-3 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

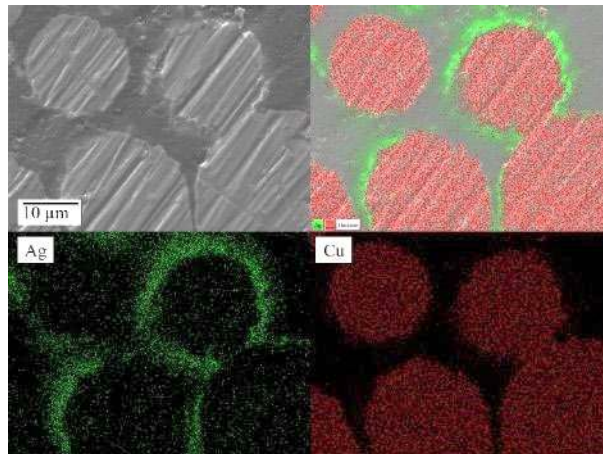
Şekil 126, BM-4 olarak isimlendirilen deney sonucunda elde edilen kesit görüntüsünü içermektedir. Şekil 126’da görüldüğü üzere gümüş tabakası bakır toz üzerinde mevcuttur fakat görüntüdeki bütün tozlar üstünde etkin bir gümüş tabakası bulunmamaktadır. Bu durum Şekil 127’de gösterilen BM-5 kodlu deney sonucu elde edilen tozların kesin görüntüsünde de benzer şekilde gözlemlenmektedir. İndirgeyici ajan miktarının artmasıyla birlikte Şekil 128 ve Şekil 129’da görülen ve sırasıyla BM-6 ve BM-7 olarak isimlendirilen deneyler neticesinde elde edilen kesit görüntüleri incelendiğinde, artan indirgeyici ajan miktarıyla gümüş kaplama tabakasının varlığının arttığı görülmektedir. Bu durum, bu tez çalışmasında parametrik olarak incelenen indirgeyici ajan miktarının akımsız gümüş kaplama işleminde önemli bir parametre olduğunu doğrulamaktadır. Kaplama kalınlıkları kıyaslandığında BM-4 için 1 µm ve üzerinde, BM-5 için yaklaşık 1 µm ve BM-6 için 1,5 µm dolaylarında olduğu anlaşılmaktadır.



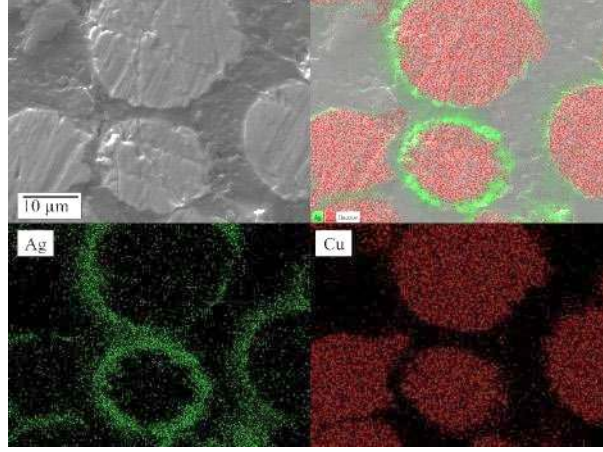
Şekil 126. BM-4 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü



Şekil 127. BM-5 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

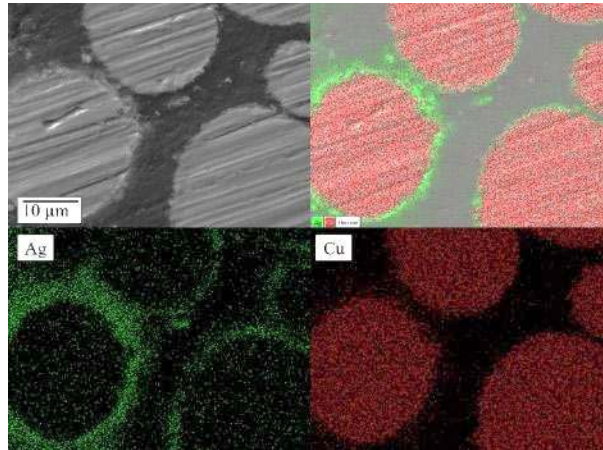


Şekil 128. BM-6 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

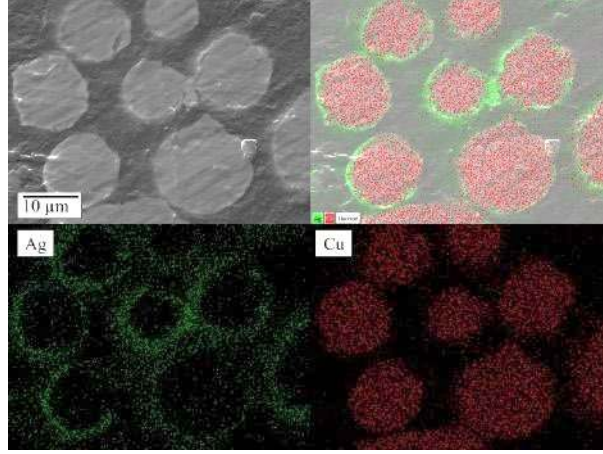


Şekil 129. BM-7 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

Şekil 130 ve Şekil 131 sırasıyla BM-8 ve BM-9 olarak isimlendirilen deneyler neticesinde elde edilen gümüş kaplı bakır tozların kesit görüntüsünü içermektedir. Şekil 130 incelendiğinde düşük gümüş kaynağı içeriği ile elde edilen gümüş tabakasının tüm tozlar üzerinde homojen olmadığı ve nispeten düşük katman kalınlığına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Gümüş kaynağı miktarının artmasıyla BM-9 olarak isimlendirilen deney neticesinde tozların etrafında bulunan gümüş kaplama tabakasının varlığının tüm tozlarda homojen bir biçimde görülmeye başladığı Şekil 131 incelendiğinde anlaşılmaktadır. Ancak yine de efektif bir kaplama katmanının varlığı söz konusu değildir. BM-8 ve BM-9 için kaplama kalınlıkları kıyaslandığında 1-1,5 µm dolaylarında olduğu anlaşılmaktadır.

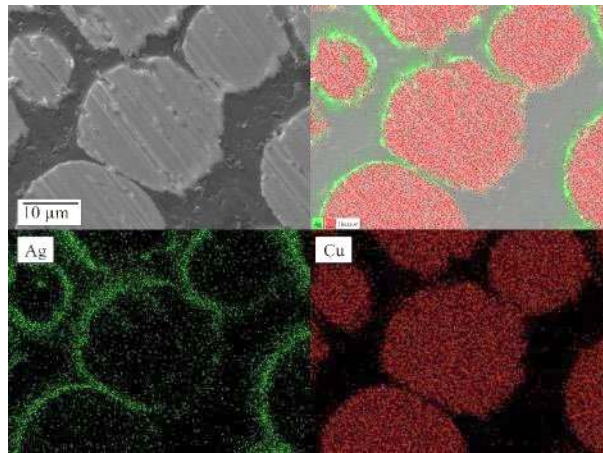


Şekil 130. BM-8 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

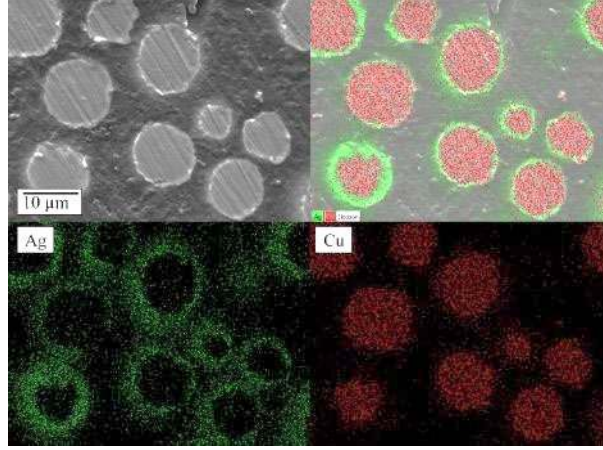


Şekil 131. BM-9 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

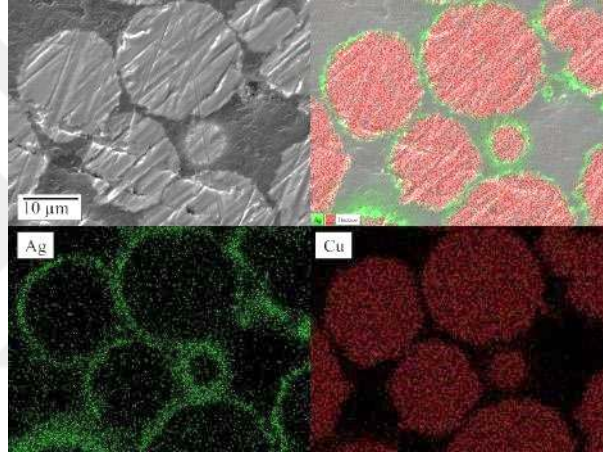
Kesit görüntüleri üzerinden yapılan elementel haritalama deney sonuçları incelendiğinde morfoloji incelemelerinde benzer şekilde olduğu gibi BM-11 kodlu deneyde (Şekil 133) oldukça homojen ve kaba-ince bütün tanelerde etkin bir gümüş tabakasının elde edildiği anlaşılmaktadır. BM-11 kodlu deneye benzer şekilde BM-10 (Şekil 132) ve BM-12’de (Şekil 134) etkin bir gümüş tabakası varlığı sergilemektedir fakat bu çalışma kapsamında en uygun oran BM-11 olarak kodlanan deney şartlarında gerçekleştirilen deneyde kullanılan bileşim oranları olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kaplama kalınlıklarının BM-11 kodlu deney için yaklaşık olarak 2-2,5 µm olarak ölçüldüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 132. BM-10 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü



Şekil 133. BM-11 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

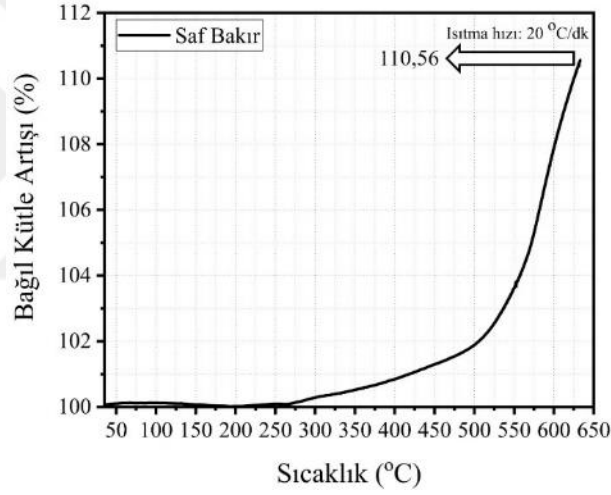


Şekil 134. BM-12 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait kesit haritalama görüntüsü

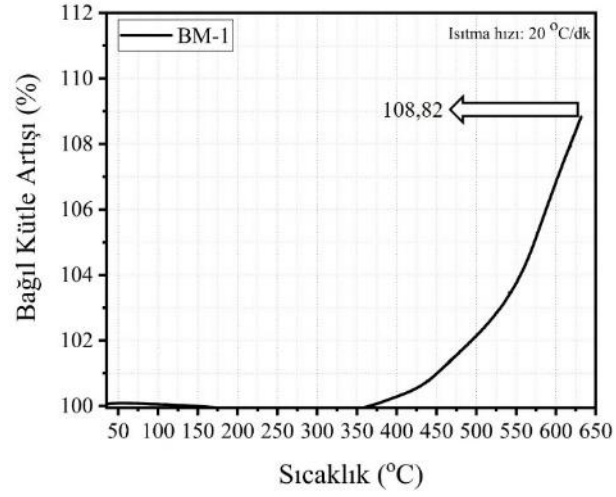
3.8. İkinci Grup Akımsız Gümüş Kaplama Deneyleri Sonrasında Tozların Oksidasyon Direncinin Belirlenmesi

Şekil 135-147 ikinci grup akımsız gümüş kaplama deneyleri neticesinde elde edilen gümüş kaplı bakır tozlara ait oksidasyon direnci belirleme deneylerinin sonuçlarını göstermektedir. Oksidasyon direnci belirleme deneyleri ile elde edilen grafikler malzemelerin belirli bir sıcaklık değerine kadar ısıtılması ve bu işlem sırasında ağırlıklarının %ağırlık olarak hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Şekil 135 incelendiğinde saf bakırın toplam kütle artışının %10,56 olduğu görülmektedir. Ayrıca bağlı kütle artışının yaklaşık 250 °C sıcaklık sonrasında belirgin bir şekilde artışa geçtiği görülmektedir. Bu sonuç saf bakırın 250 °C sıcaklıktan sonra oksitlenmeye başladığını göstermektedir.

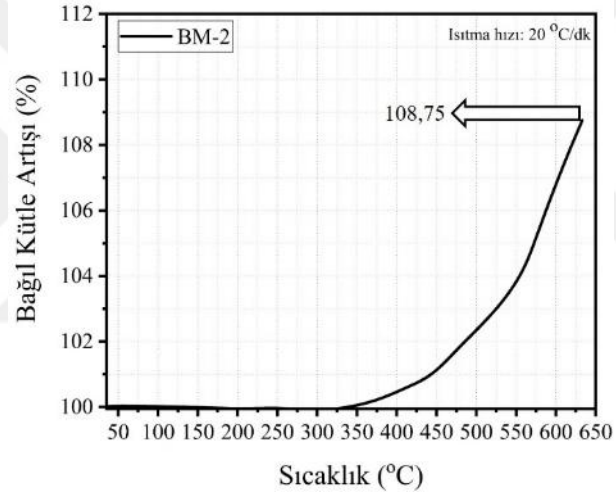
Şekil 136’da BM-1 olarak isimlendirilen ve 5 gram bakır tozunun 0,3 gr AgNO_3 ve 6 gr $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNa}$ bileşen oranları kullanılarak üretilen gümüş kaplı bakır tozlarının oksidasyon direnci belirleme deneyi sonrasında elde edilen %bağlı kütle değişimi-sıcaklık grafiği incelendiğinde saf bakıra göre bağlı kütle artış miktarının azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. BM-1 olarak isimlendirilen deney sonrası toplam bağlı kütle artışı %8,82 olarak hesaplanmıştır. BM-1 olarak isimlendirilen deneye benzer şekilde BM-2 ve BM-3 olarak isimlendirilen deneylerde de bağlı kütle artışı saf bakıra göre daha düşüktür. Ayrıca BM-1, BM-2 ve BM-3 deneyleri sırasıyla bakır toz miktarının 5, 2 ve 1 gram olarak kullanıldığı deneylerdir. Diğer bileşenlerin sabit olduğu dikkate alındığında kaplama yapılacak altlık toz miktarının azaltılmasıyla gümüş kaplama tabakasının yoğunluğunun arttığı ve buna bağlı olarak oksidasyon direncinin yükseldiği söylenebilir.



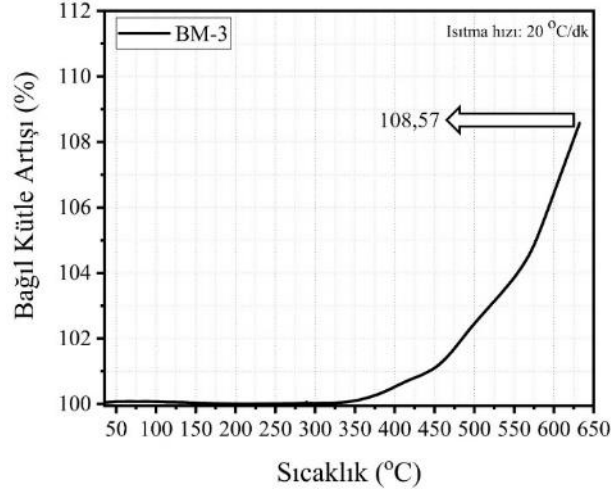
Şekil 135. Saf bakır toza ait bağlı kütle değişimi-sıcaklık grafiği



Şekil 136. BM-1 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağli kütle değişimi-sıcaklık grafiği

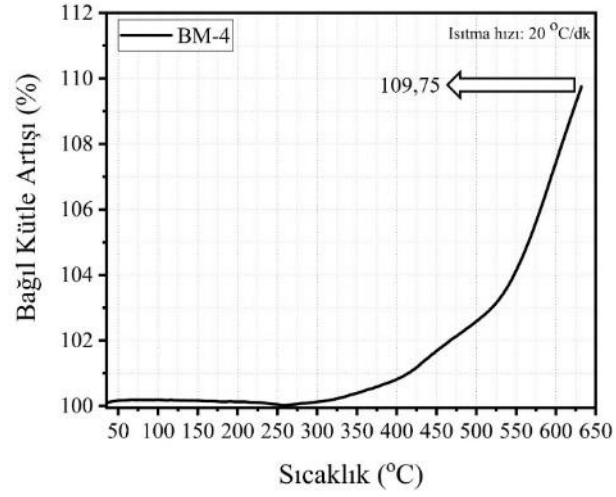


Şekil 137. BM-2 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağli kütle değişimi-sıcaklık grafiği

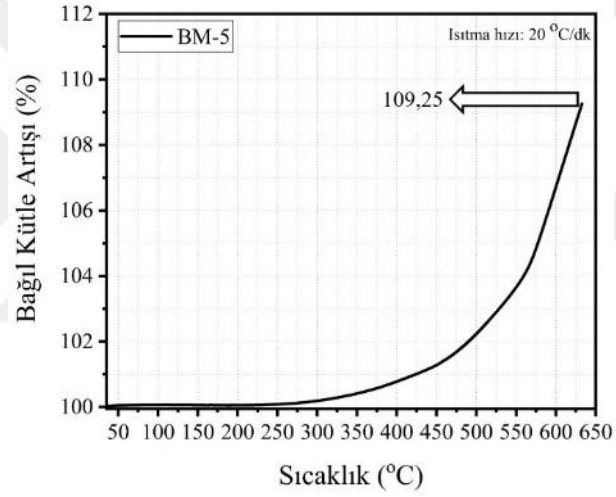


Şekil 138. BM-3 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği

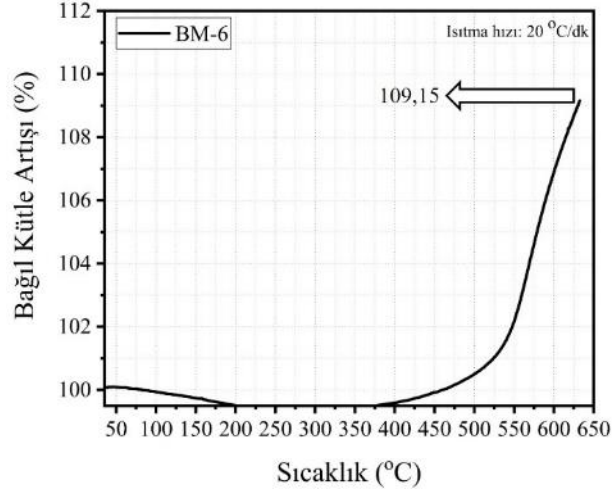
İkinci grup akımsız gümüş kaplama deneyleri içerisinde bakır toz ve gümüş kaynağı miktarının sabit tutulup indirgeyici ajan miktarının farklı parametreler kullanılarak hazırlandığı BM-4, BM-5, BM-6 ve BM-7 olarak kodlanan numunelerin oksidasyon direnci belirleme deneylerinin sonucunda elde edilen grafikler Şekil 139-142’de görülmektedir. Şekil 139 incelendiğinde BM-4 olarak isimlendirilen deney sonucunda elde edilen gümüş kaplı bakır partiküllerin toplam bağıl kütle artışının %9,75 olarak ölçüldüğü görülmektedir. Bu sonuç BM-1, BM-2 ve BM-3 kodlu deneyler ile kıyaslandığında daha düşük oksidasyon direnci anlamına gelmektedir. Ancak saf bakır ile kıyaslandığında bu sonuç bakır tozlar üzerinde bir gümüş tabakanın varlığını kanıtlar niteliktedir. Şekil 140-142’de görüldüğü üzere BM-5, BM-6 ve BM-7 kodlu deneyler neticesinde elde edilen bağıl kütle artışları sırasıyla %9,25, %9,15 ve %8,94 olarak hesaplanmıştır. Böylece sabit toz miktarı ve gümüş miktarı koşullarında artan indirgeyici ajan miktarı ile gümüş kaplama tabakasının daha etkin bir hale geldiği sonucuna ulaşılmaktadır.



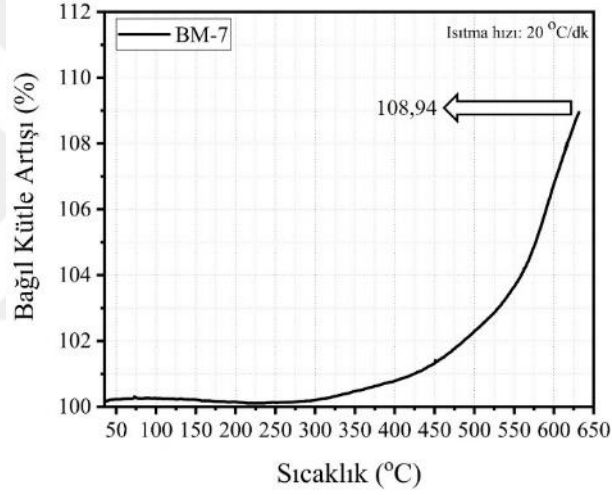
Şekil 139. BM-4 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği



Şekil 140. BM-5 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği

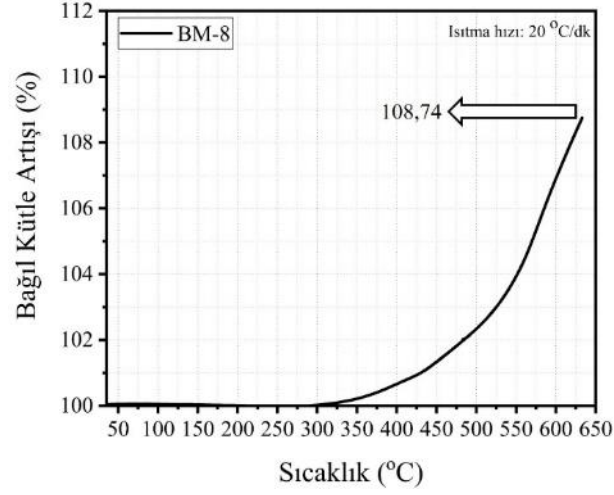


Şekil 141. BM-6 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği

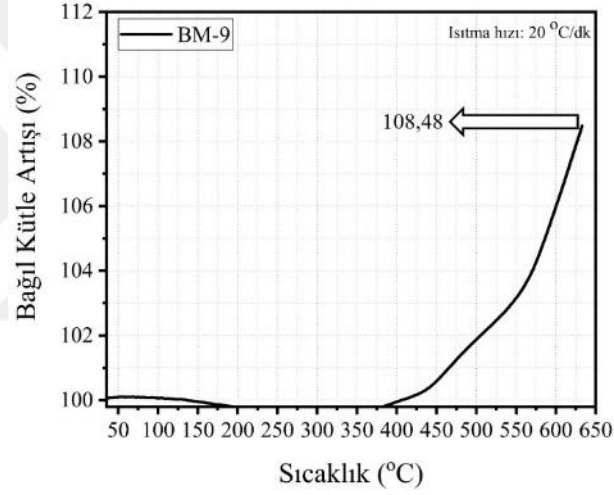


Şekil 142. BM-7 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği

İkinci grup akımsız gümüş kaplama deneyleri içerisinde toz miktarı ve indirgeyici ajan miktarının sabit olarak kullanıldığı iki farklı gümüş kaynağı parametresinin deneysel olarak çalışıldığı BM-8 ve BM-9 kodlu numunelere ait oksidasyon direnci belirleme deneyleri sonucu elde edilen grafikler Şekil 143-144'te yer almaktadır. Şekil 143'te görüldüğü üzere 0,3 gr gümüş kaynağı ve 0,253 gr indirgeyici ajan kullanılarak gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen gümüş kaplı bakır tozların toplam bağıl kütle artışı %8,74 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, gümüş kaynağı miktarının artırılmasıyla Şekil 144'te görülen BM-9 kodlu numuneye ait toplam bağıl kütle artışı %8,48 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç gümüş kaynağı miktarının artışıyla gümüş kaplama tabakasının etkinliğinin de arttığını kanıtlar niteliktedir.



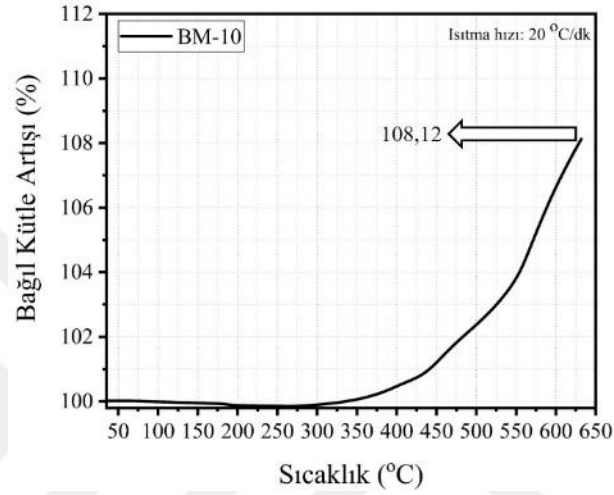
Şekil 143. BM-8 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağlı kütle değişimi-sıcaklık grafiği



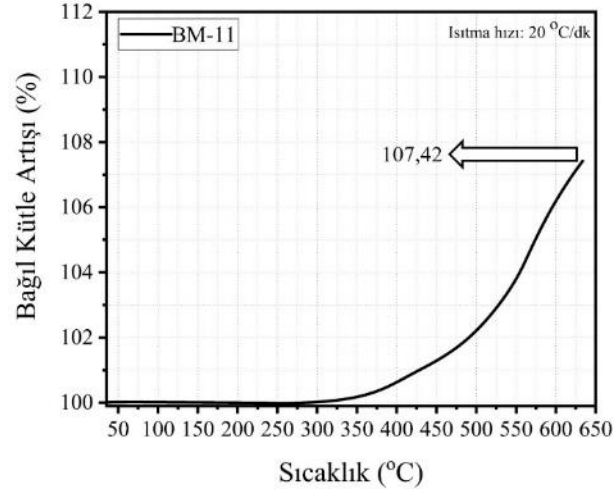
Şekil 144. BM-9 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağlı kütle değişimi-sıcaklık grafiği

Son olarak ikinci grup akımsız gümüş kaplama deneyleri içerisinde gümüş kaynağı miktarının sabit 0,963 gr olarak belirlendiği ve 3 farklı indirgeyici ajan miktarı parametresi ile gerçekleştirilen akımsız gümüş kaplama deneyleri neticesinde üretilen gümüş kaplı bakır tozlara ait oksidasyon direnci belirleme deneyleri sonucu elde edilen grafikler Şekil 145-147 arasında gösterilmektedir. Şekil 145 incelendiğinde BM-10 olarak isimlendirilen deney sonucunda üretilen gümüş kaplı bakır partiküllerin oksidasyon direnci belirleme deneyi sonucunda toplam bağlı kütle değişiminin %8,12 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu deneyler arasında BM-11 olarak isimlendirilen deney sonrasında ise Şekil 146'da görüldüğü üzere toplam bağlı kütle değişimi %7,42 olarak hesaplanmıştır.

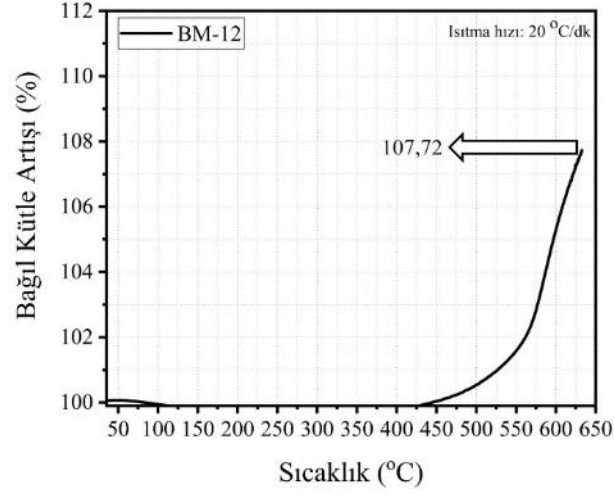
Bu sonuç saf bakır ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %30 daha yüksek bir oksidasyon direncine sahip olduğu anlamına gelmektedir. Son olarak Şekil 147’de görülen BM-12 isimli deney sonucunda elde edilen grafikte toplam bağıl kütle değişimi %7,72 olarak hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar incelendiğinde oksidasyon direnci olarak gümüş kaplı bakır tozlar arasında en uygun parametrenin BM-11 olarak isimlendirilen deney olduğu görülmektedir.



Şekil 145. BM-10 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği

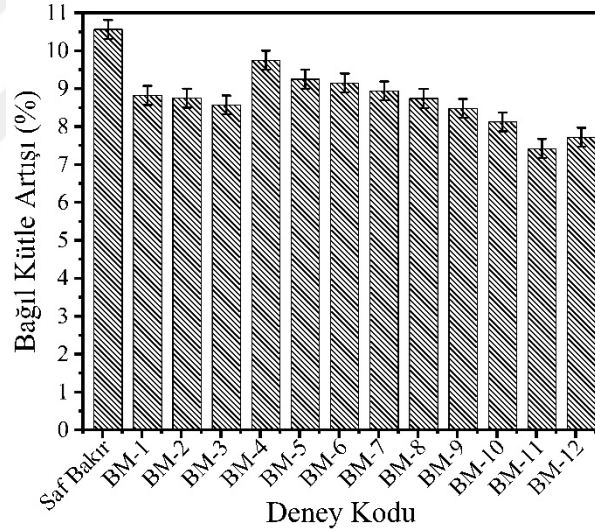


Şekil 146. BM-11 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği



Şekil 147. BM-12 kodlu deney sonucu üretilen gümüş kaplı bakır toza ait bağıl kütle değişimi-sıcaklık grafiği

Oksidasyon direnci deneyleri sonucu elde edilen sonuçlara ait sayısal veriler Şekil 148’de karşılaştırmalı olarak incelenebilmesi için sütun grafik şeklinde paylaşılmıştır.

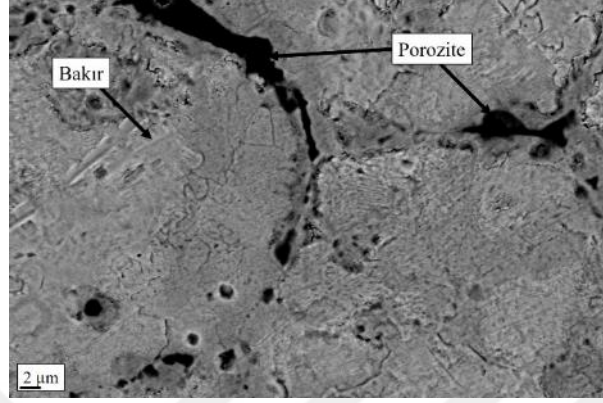


Şekil 148. Oksidasyon direnci karşılaştırma grafiği

3.9. Sıcak Presleme Sonrası Mikroyapı ve Elementel Analiz İncelemeleri

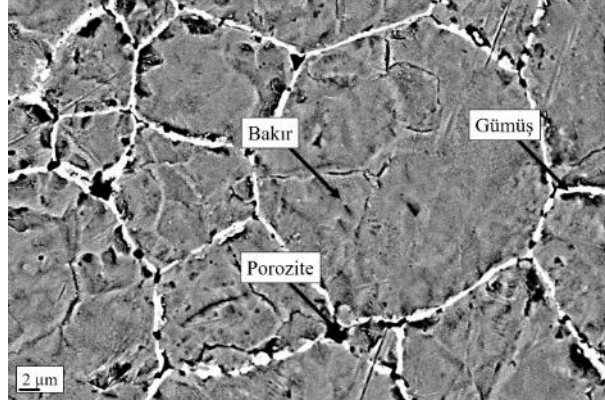
2. grup akımsız gümüş kaplama işlemleri sonrasında sıcak presleme ile kompakt hale getirilen numunelere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 149-161 arasında gösterilmiştir. Şekil 148 incelendiğinde saf bakır ait mikroyapı görüntüsü görülmektedir.

Şekil 149’da görüldüğü üzere saf bakır tozlardan üretilen kompakt numunenin taneleri arasında poroziteler mevcuttur. Porozitenin varlığı hem fiziksel hem de mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir.

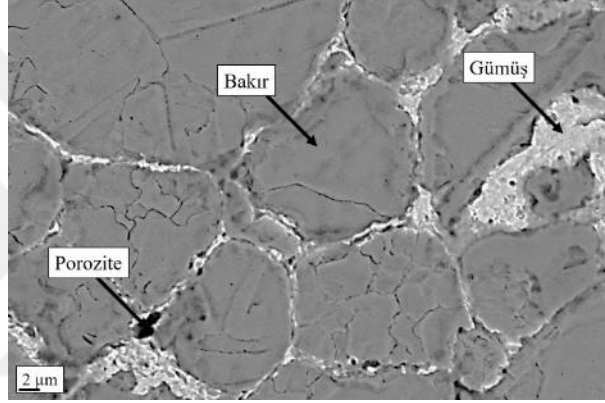


Şekil 149. Saf bakır tozlardan üretilen kompakt numuneye ait mikroyapı inceleme görüntüsü

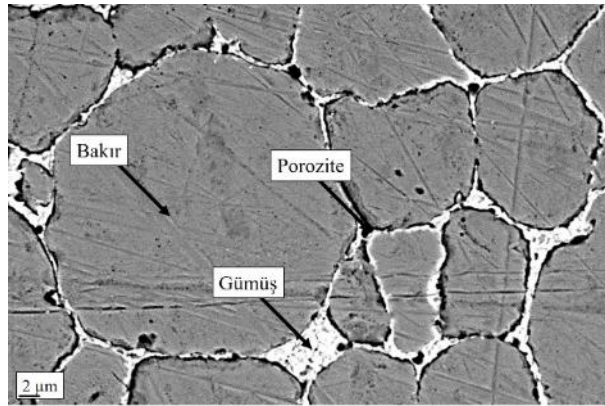
Şekil 150-152 sırasıyla BM-1, BM-2 ve BM-3 olarak kodlanmış deneyler sonrasında üretilen gümüş kaplı bakır tozlardan sıcak pres yöntemiyle üretilen kompakt malzemelerin mikro yapı incelemelerine ait SEM görüntülerini içermektedir. Şekil 150 incelendiğinde BM-1 olarak kodlanmış deney parametreleri doğrultusunda üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrasında elde edilen mikroyapı görüntüsünde bakır tanelerin etrafında homojen olmayan gümüş bir ağ yapısına sahip olduğu ancak kaplama katmanının homojen olmaması ve yetersiz olması nedeniyle porozitelerin var olduğu anlaşılmaktadır. BM-2 kodlu deney numunesine ait mikroyapı görüntüsü incelendiğinde (Şekil 151), tane sınırlarında yer alan gümüş ağ yapısının kalınlığının arttığı ancak yine de yapı içerisinde porozite varlığının devam ettiği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde Şekil 152’de gösterilen BM-3 kodlu deney sonucunda üretilen kompakt numunenin mikro yapısında da gümüş ağ yapısının varlığının arttığı ancak homojen olmadığı ve yapı içerisinde porozite varlığının devam ettiği anlaşılmaktadır.



Şekil 150. BM-1 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

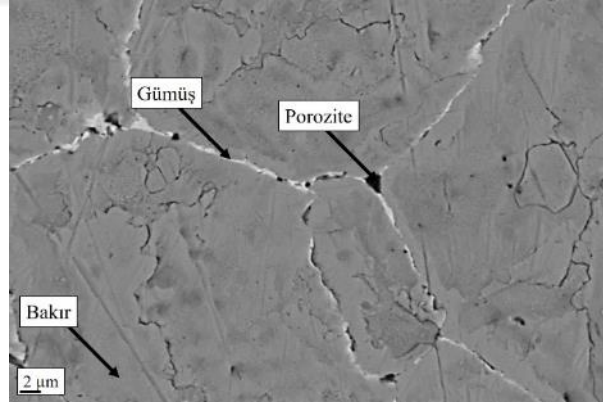


Şekil 151. BM-2 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

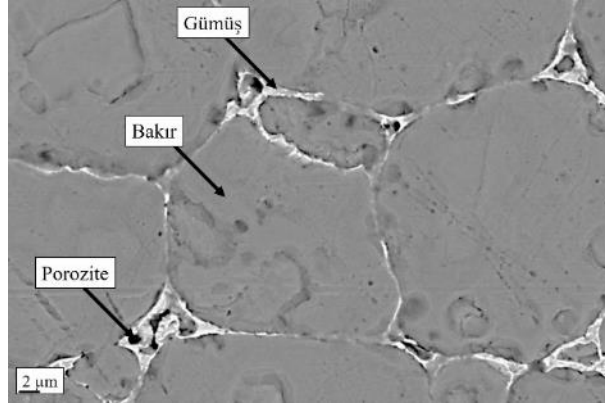


Şekil 152. BM-3 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

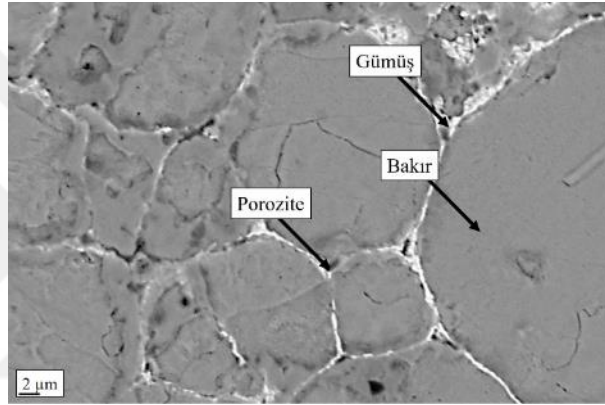
BM-4, BM-5, BM-6 ve BM-7 olarak kodlanmış akımsız gümüş kaplama deneyleri sonrasında elde edilen gümüş kaplı bakır tozlar kullanılarak yapılan sıcak presleme deneyleri sonrasında üretilen kompakt numunelere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 153-156 arasında gösterilmiştir. Şekil 153 incelendiğinde BM-4 kodlu deney sonucunda elde edilen mikro yapının oldukça zayıf bir gümüş ağ yapısına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 154 incelendiğinde BM-5 olarak isimlendirilen deney sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsünde gümüş ağ yapısının varlığının arttığı ancak mikro yapının tam olarak homojen bir gümüş ağ yapısına sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak, BM-4 ile kıyaslandığında BM-5 sonrası elde edilen mikro yapının daha homojen bir gümüş ağ yapısına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum artan indirgeyici ajan miktarı ile sabit toz ve gümüş kaynağı miktarlarında akımsız gümüş kaplama işleminin daha etkin bir şekilde gerçekleştiğini kanıtlamaktadır. Benzer şekilde indirgeyici ajan miktarının artmasıyla BM-6 ve BM-7 olarak isimlendirilen deneyler neticesinde elde edilen mikroyapı görüntülerinde (Şekil 155 ve Şekil 156) gümüş ağ yapısının daha belirgin hale geldiği ancak yapı içerisinde porozitenin varlığını sürdürdüğü ve gümüş ağ yapısının yeterli katman kalınlığına ve homojenliğine sahip olmadığı anlaşılmaktadır.



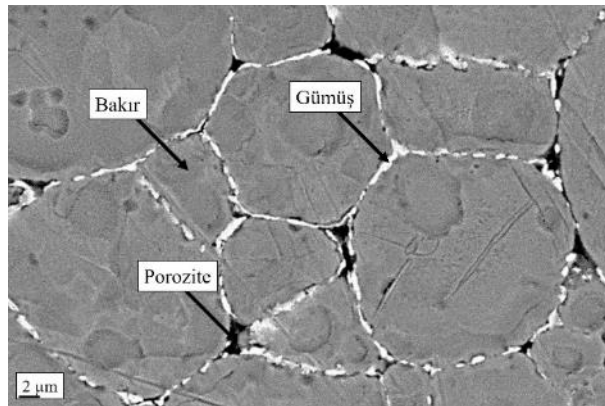
Şekil 153. BM-4 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü



Şekil 154. BM-5 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

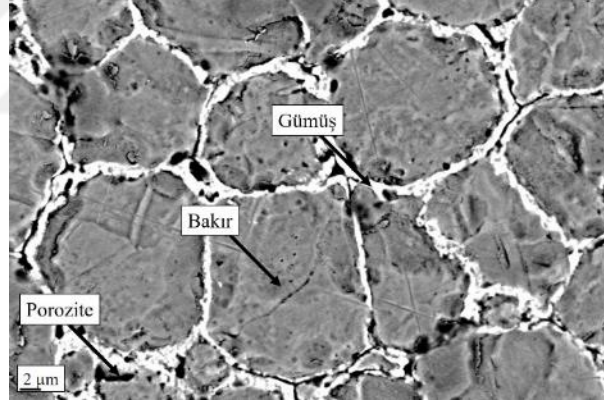


Şekil 155. BM-6 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

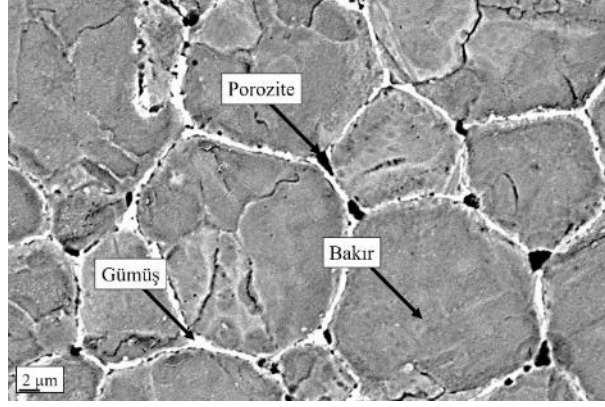


Şekil 156. BM-7 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

Şekil 157 ve Şekil 158 incelendiğinde sırasıyla BM-8 ve BM-9 olarak kodlanmış deneyler sonucunda elde edilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesiyle üretilen kompakt numunelere ait mikroyapı görüntüleri görülmektedir. Şekil 157 incelendiğinde düşük gümüş kaynağının sabit indirgeyici ajan parametresi ve sabit toz miktarı parametresi kullanılarak (BM-8) gümüş ile kaplama işlemi sonrasında üretilen gümüş kaplı bakır tozlardan üretilen kompakt numunenin mikroyapısında hemen taneler arasında hem de gümüş ağ yapısında poroziteler olduğu görülmektedir. Bu durum akımsız gümüş kaplama işlemi sonrasında elde edilen gümüş kaplı bakır tozların üzerinde gümüş kaplama tabakasının homojen olmaması ve yetersiz olmasıyla ilgili bir durumdur. Gümüş kaynağı miktarının artmasıyla sabit koşullarda BM-9 olarak isimlendirilen deney neticesinde elde edilen mikroyapı görüntüsü (Şekil 158) incelendiğinde BM-8 ile kıyaslandığında daha homojen bir gümüş ağ yapısı ve daha düşük porozite varlığı anlaşılmaktadır. Bu durum sabit toz miktarı ve indirgeyici ajan miktarında artan gümüş kaynağının akımsız gümüş kaplama işleminde olumlu bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

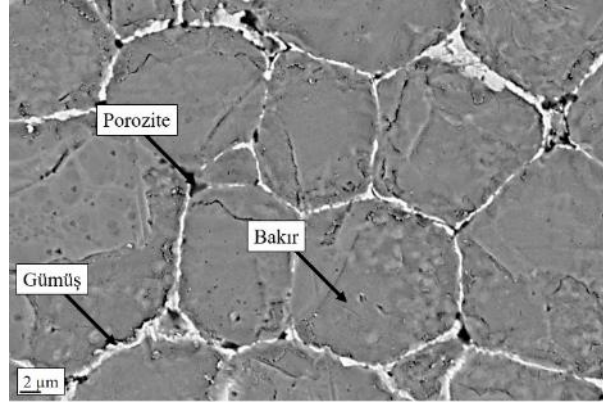


Şekil 157. BM-8 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

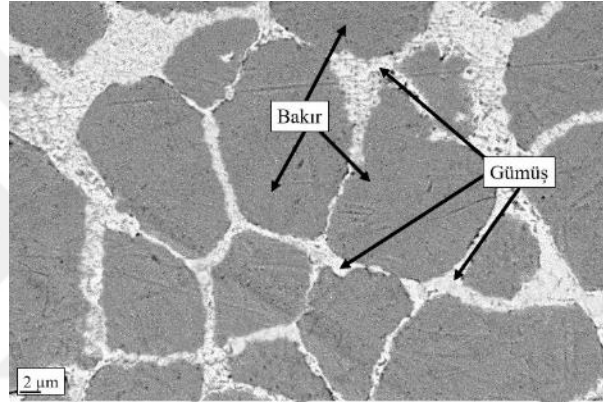


Şekil 158. BM-9 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

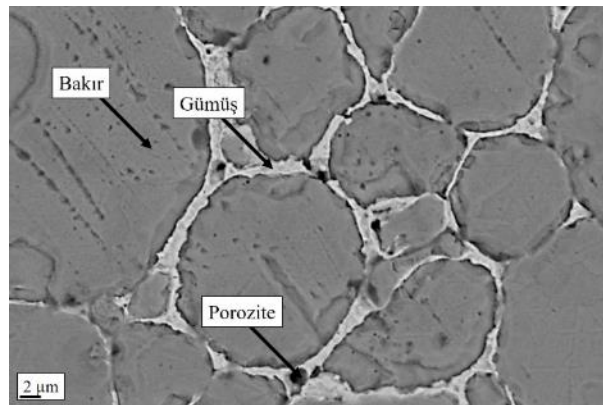
İkinci grup akımsız gümüş kaplama deneylerinin son üç deneyi olan ve yüksek gümüş kaynağı miktarı ve sabit toz miktarı kullanımıyla artan indirgeyici ajan miktarının etkilerinin incelendiği deneyler neticesinde elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 159-161 arasında yer almaktadır. Şekil 159 incelendiğinde BM-10 olarak isimlendirilen deney sonrası elde edilen mikro yapıda nispeten homojen bir gümüş ağ yapısının var olduğu ve porozite miktarının önceki deneylerle kıyaslandığında azaldığı anlaşılmaktadır. Şekil 160 incelendiğinde akımsız gümüş kaplama deneylerinin en uygun parametresi olarak belirlenen BM-11 kodlu deney sonucu elde edilen mikro yapıda neredeyse hiç porozite varlığı görülmediği ve oldukça homojen ve etkin bir gümüş ağ yapısının var olduğu anlaşılmaktadır. Son olarak BM-12 olarak kodlanan deney neticesinde elde edilen mikro yapıda tozlar üzerinde homojen olmayan aşırı gümüş birikiminin mikro yapıda poroziteye sebep olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan mikroyapı inceleme deneyleri neticesinde de bu tez çalışması kapsamında BM-11 olarak kodlanan deneyin en uygun parametreleri içerdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 159. BM-10 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

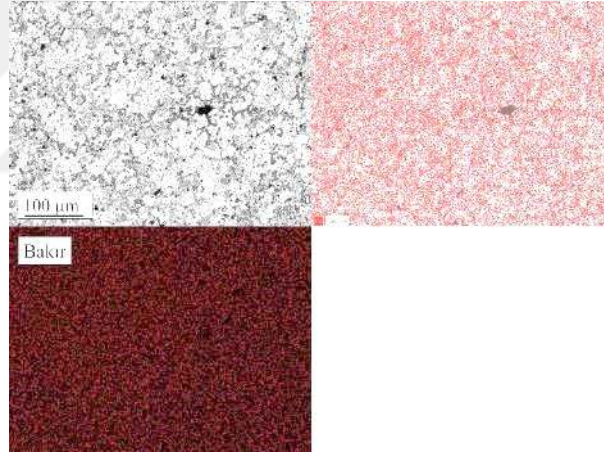


Şekil 160. BM-11 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

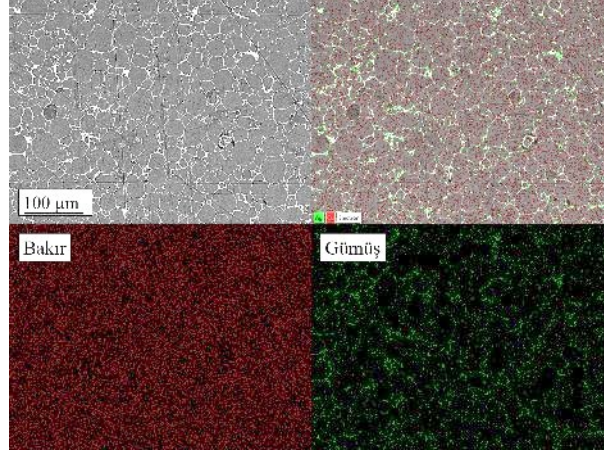


Şekil 161. BM-12 kodlu deney sonrası üretilen gümüş kaplı bakır tozların sıcak preslenmesi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüsü

Elementel haritalama deneyleri, mikroyapı incelemeleri başlığı altında mikroyapı tüm numuneler için detaylıca açıklandığı için yalnızca saf bakır ve BM-11 kodlu numuneler için tez metnine eklenmiştir. Saf bakır ve BM-11 olarak kodlanan kompakt numunelere ait elementel haritalama görüntüleri Şekil 162 ve Şekil 163'te gösterilmiştir. Şekil 162'de saf bakırın yalnızca bakıra ait harita görüntüsü içerdiği görülmektedir. Şekil 163'te görüldüğü gibi mikroyapı görüntülerinde isimlendirilen gümüş ağ yapısının elementel haritalama deneyleri sonucunda da varlığı kanıtlanmıştır. Yapıda bakır ve gümüş harici herhangi bir elemente rastlanmamıştır. BM-1 - BM-10 kodlu deney parametreleri kullanılarak üretilen kompakt numunelerinin EDS sonuçları incelendiğinde yapı içerisinde yer alan gümüş miktarı %4,65 ile %18,80 arasında değişkenlik göstermektedir. BM-11 kodlu deney parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen akımsız kaplama deneyleri sonrasında yapılan sıcak presleme işlemini takip eden EDS sonuçları incelendiğinde ise yapıda yaklaşık %24,5 oranında gümüş içeriği olduğu tespit edilmiştir.



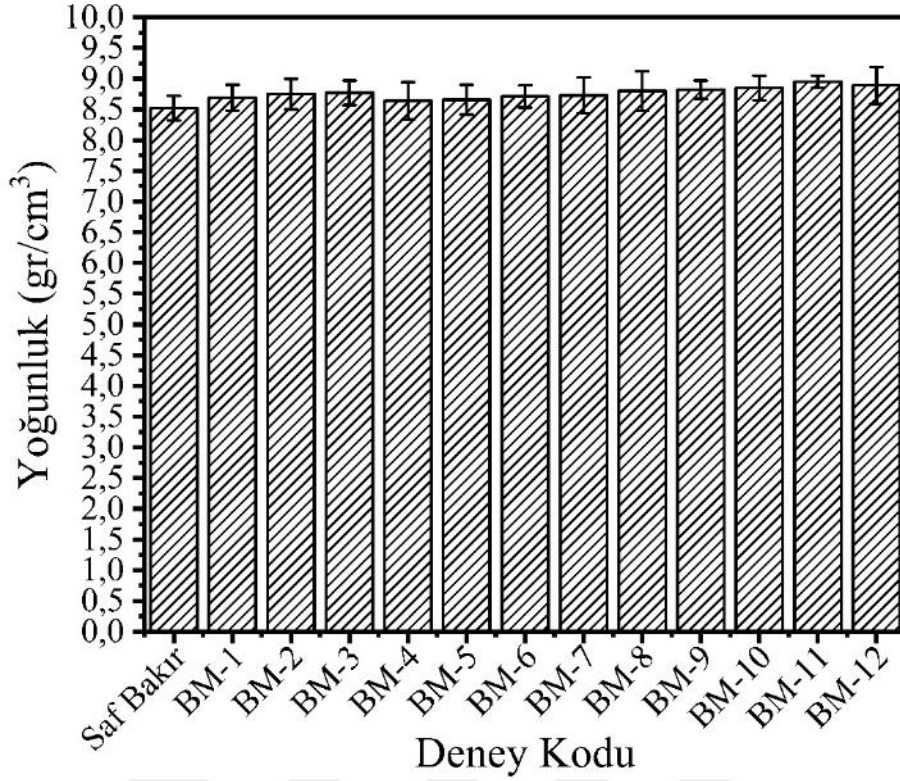
Şekil 162. Saf bakır kompakt numuneye ait elementel haritalama görüntüsü



Şekil 163. BM-11 kodlu kompakt numuneye ait elementel haritalama görüntüsü

3.10. Sıcak Presleme Sonrası Yoğunluk İncelemeleri

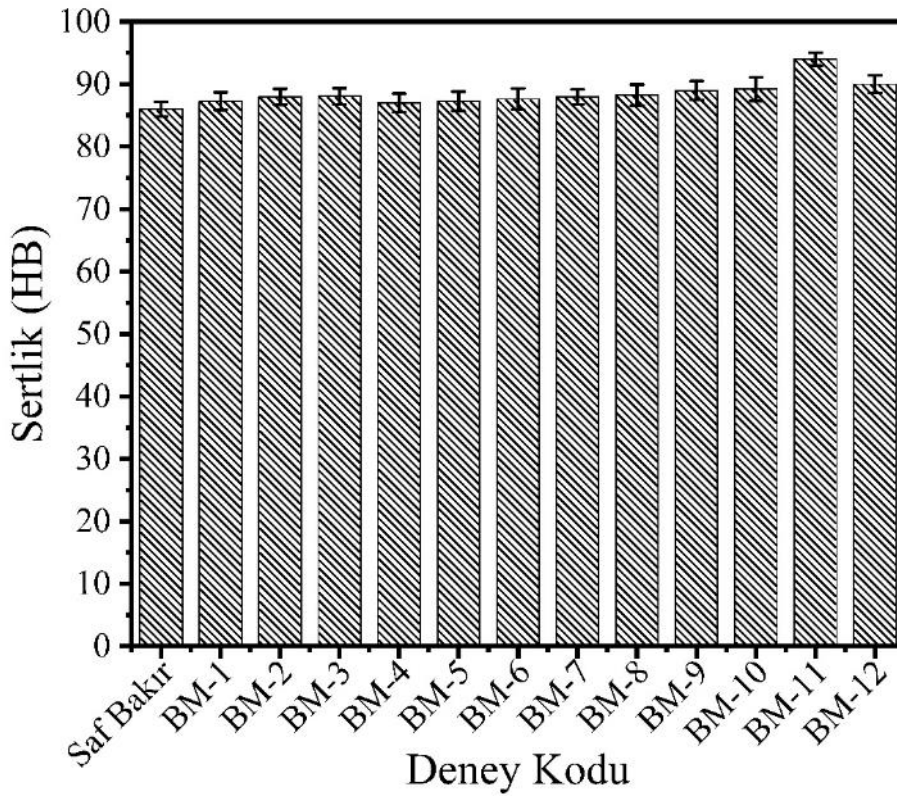
Bu tez çalışması kapsamında üretilen kompakt malzemelerin yoğunluk deneyleri sonucu elde edilen yoğunluk değerleri Şekil 164'te yer almaktadır. Şekil 164 incelendiğinde en düşük yoğunluk değerinin saf bakır numuneye ait olduğu ve yaklaşık olarak $8,52 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplandığı anlaşılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında üretilen kompakt malzemeler arasında en yüksek yoğunluk değerinin ise BM-11 olarak isimlendirilen deney sonucunda yaklaşık olarak $8,95 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu durum akımsız gümüş kaplama işleminin bakır esaslı elektrik kontak malzemelerinde yoğunluğa olumlu etkisi olan bir işlem olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 164. Kompakt numunelere ait yoğunluk deney sonuçları

3.11. Sıcak Presleme Sonrası Sertlik İncelemeleri

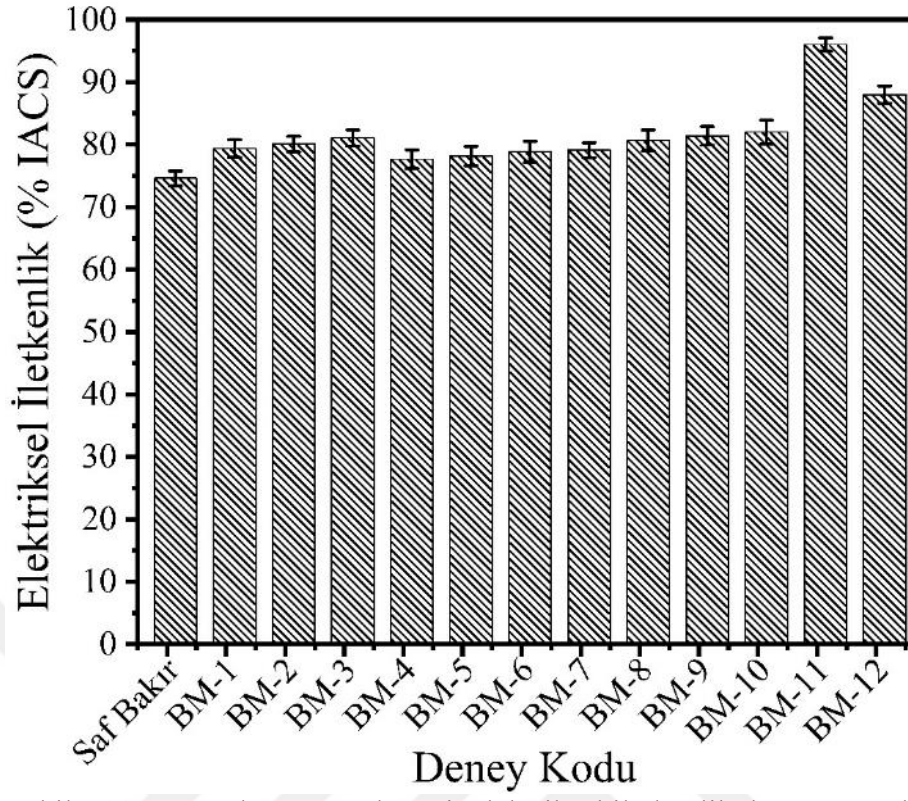
Sertlik deney sonuçları Şekil 165'te gösterilmiştir. Şekil 165 incelendiğinde saf bakır kompakt numuneye ait sertlik değerinin 86 HB olduğu görülmektedir. Yapı içerisinde gümüş içeriğinin varlığıyla birlikte yoğunlukta olduğu gibi sertlik değerlerinde de artış olmuştur. Bu durum gümüşün tane sınırları arasındaki boşlukları doldurması ve porozite miktarını azaltmasıyla ilişkilidir. Sertlik değerleri gümüş ağ yapısı homojenleştikçe ve yapı içerisindeki gümüş ağ miktarı arttıkça yoğunlukta olduğu gibi artmaktadır. Kompakt malzemeler arasında en yüksek sertlik değeri 94 HB sertlik değerine sahip olan BM-11 kodlu kompakt numunede elde edilmiştir. Yoğunluk deney sonuçlarında da (Şekil 164) görüldüğü üzere bu tez çalışması kapsamında en yüksek yoğunluğa sahip olan kompakt numunenin en yüksek sertliğe de sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 165. Kompakt numunelere ait sertlik deney sonuçları

3.12. Sıcak Presleme Sonrası Elektriksel İletkenlik

Bu tez çalışması kapsamında elektriksel iletkenlik ölçüm sonuçları Şekil 166’da yer almaktadır. Şekil 166 incelendiğinde elektriksel iletkenlik değerinin yapı içerisinde sertlik deney sonuçlarında da (Şekil 165) olduğu gibi artan gümüş oranıyla artmaya başladığı anlaşılmaktadır. Gümüş ağ, tane sınırları arasındaki boşlukları doldurmakta ve malzemenin içerisindeki porozite miktarını azaltmaktadır. Böylece, daha yüksek yoğunluklu bir malzeme elde edilmekte ve bu da hem mekanik hem de fiziksel özelliklere olumlu etkiler sergilemektedir. Elektriksel iletkenlik deneyleri sonucunda elde edilen en düşük elektriksel iletkenlik değeri saf bakır numuneye aittir ve 74,6 %IACS olarak ölçülmüştür. En yüksek elektriksel iletkenlik değeri ise 96 %IACS olarak BM-11 kodlu kompakt numuneden elde edilmiştir. Böylece yapı içerisinde homojen ve etkin oluşturulan gümüş ağ yapısının bakır esaslı elektrik kontak malzemeleri için elektriksel iletkenlik değerlerinde olumlu bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 166. Kompakt numunelere ait elektriksel iletkenlik deney sonuçları

4. İRDELEME

Bu tez çalışması kapsamında akımsız gümüş kaplama işleminde işlemin verimi ve uygulanabilirliği üzerine kontrol edilebilir işlem koşulları arasında yer alan pH, sıcaklık ve karıştırma hızının etkileri araştırılmıştır. Literatür çalışmaları incelendiğinde pH seviyesinin akımsız kaplama için önemli bir parametre olduğu açıktır. Shu ve diğerleri (2015) yapmış oldukları çalışmada Ni-W-P kaplamalar için temel parametrelerin etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada pH seviyesinin de kaplama akımsız kaplama işlemini doğrudan etkilediğini vurgulayarak 7, 8, 9 ve 10 pH seviyelerinde farklı deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları deneysel çalışmalar neticesinde bu tez çalışmasında da olduğu gibi pH seviyesinin akımsız kaplama için etkili bir parametre olduğunu tespit etmişlerdir [76]. Du ve Pritzker (2003) yapmış oldukları çalışmada akımsız kaplama yöntemlerinden biri olan Ni-P kaplamalar üzerine parametrik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları deneysel çalışmalarda 7 ve 11 pH seviyelerinde ağırlıkça sırasıyla %3,5 ila %8 arasında fosfor ve %0,5 ila %6 arasında değişen tungsten içerikleri elde ettiklerini raporlamışlardır. Yapmış oldukları çalışma neticesinde pH ve sıcaklığın metal çökeltme hızı üzerindeki etkilerinin önemli olduğunu ortaya koymuşlardır [77]. Chang ve diğerleri (2016) stabil bir akımsız gümüş banyosunun belirlenmesi için deneysel çalışmalar gerçekleştirdikleri çalışmalarında kompleks yapıcı ajanlar olarak Na₂EDTA ve etilendiamin kullanmışlardır. Akımsız gümüş kaplama işleminde çökeltme hızının artan pH ile arttığını ve pH değişimi ile çökeltme hızının da değiştiğini raporlamışlardır. Yapmış oldukları deneysel çalışmalar neticesinde pH oranının artmasıyla biriktirme miktarının da arttığını raporlamışlardır ve deneysel çalışmaları sonucunda pH 12,6 mertebesinde gerçekleştirilen deneyler sonrasında yaklaşık 5,5 µm/saat biriktirme oranına ulaştıklarını raporlamışlardır [78]. Sereshti ve diğerleri (2017) pH seviyesinin kimyasalların kimyasal formunu ve yüzey yükünü etkileyebilecek bir parametre olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında pH verimliliğini test edebilmek için pH 3 ila 9 mertebeleri arasında deneysel çalışmalar gerçekleştirmişler ve en iyi sonuçlara pH 5 mertebesinde ulaştıklarını raporlamışlardır [79]. Huang ve diğerleri (2014) çalışmalarında pH seviyesinin akımsız gümüş kaplama üzerindeki etkilerini incelemişler ve artan pH seviyesi ile elementel analiz tekniklerinden biri olan XRD deneyleri sonucunda gümüşe ait XRD desenlerinin yoğunluğunun arttığını raporlamışlardır. Böyle artan pH oranı ile akımsız gümüş kaplama işlem veriminin artmakta olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır [80].

Bu tez çalışmasında da yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde pH seviyesinin akımsız gümüş kaplama üzerine önemli bir etkisi bulunmaktadır ve artan pH değeri ile biriktirme oranında artış gözlemlenmektedir. Oksidasyon direnci deneyleri incelendiğinde akımsız gümüş kaplanmış bakır tozların oksidasyon direncinin saf bakır ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum gümüşün bakır ile kıyaslandığında sahip olduğu yüksek oksidasyon direnci ile açıklanabilir. Ayrıca akımsız gümüş kaplama işlem verimliliğinin artması ve bakır toz yüzeyinde homojen bir gümüş tabakası eldesinin sağlanmasıyla birlikte oksidasyon direncinin çok daha yüksek değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara benzer şekilde literatür çalışmalarında da çeşit deneysel çalışmalar ve çıktıları mevcuttur. Xu ve diğerleri (2003) akımsız gümüş kaplama işleminin bakır tozu üzerine uygulanması sonrasında yapılan oksidasyon direnci testleri üzerine çalışmalar gerçekleştirdiler. Yapmış oldukları çalışmalar neticesinde akımsız gümüş kaplama işleminin homojen olmasının oksidasyon direncini önemli ölçüde arttırdığını raporlamışlardır [81]. Benzer şekilde Hai ve diğerleri (2006) çalışmalarında gümüş kaplı bakır tozların özellikleri üzerine kaplama parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda bakır tozlar üzerinde elde edilen gümüş kaplama tabakasının homojen olması ile oksidasyon direncinin arttığını ortaya koymuşlardır [82]. Akımsız gümüş kaplama işleminin bakır esaslı elektrik kontak malzemelerinin fiziksel ve mekanik üzerine olumlu etkileri olduğu bu tez çalışması kapsamında tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda saf bakır tozların kullanılmasıyla üretilen kompakt malzemenin elektriksel iletkenliği yaklaşık 75 %IACS olarak tespit edilirken, en yüksek elektriksel iletkenlik değerinin ise en uygun akımsız gümüş kaplama şartları ile gümüş kaplanmış bakır tozlardan üretilen numuneden yapılan ölçümler ile 96 %IACS olarak belirlenmiştir. Bu durum literatürde de benzer şekilde raporlanmıştır. Luo ve diğerleri (2017) yapmış oldukları deneysel çalışmalar neticesinde gümüş ve indirgenmiş grafen oksit takviyeli kompozit numuneler ile elde edilen elektriksel iletkenlik değerinin saf bakır ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %18 daha yüksek olduğunu raporlamışlardır [83]. Benzer şekilde literatürde yer alan başka bir çalışmada gümüş ve indirgenmiş grafen oksit takviyeli bakır matrisli kompozitler üzerine deneysel çalışmalar yapılmış ve en yüksek elektriksel iletkenlik değerinin 92,69 %IACS olarak elde edildiği raporlanmıştır [84]. Güler ve diğerleri (2020) çalışmalarında gümüş kaplı bakır tozlar ve alümina parçacıklar kullanarak ürettikleri kompozitlerin özellikleri üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Yapmış oldukları deneysel çalışmalar neticesinde akımsız gümüş kaplama işleminin kompakt malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine olumlu etkileri olduğunu tespit etmişlerdir [85].

Literatür alışmaları üzerinde yapılan incelemelerden de anlaşılmaktadır ki akımsız gümüş kaplama işleminin bakır tozlar kullanılarak üretilen iletken malzemeler üzerine hem fiziksel hem de mekanik olarak olumlu etkileri bulunmaktadır. Bu bağlamda bu tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmalar küresel bakır tozları üzerine akımsız gümüş kaplamak için en uygun parametrelerin tespit edilmesi ve en uygun parametreler ile kaplanmış bakır tozları kullanılarak üretilen kompakt malzemelerin özelliklerini belirlemek üzerine önemli çıktılar oluşturmuştur.



5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında akımsız gümüş kaplama işlem parametrelerinin bakır esaslı elektrik kontak malzemeleri üzerine etkileri araştırılmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Akımsız gümüş kaplama işlemi farklı sıcaklık, pH ve karıştırma koşulları altında gerçekleşebilmektedir.
- Tüm akımsız kaplama işlemleri neticesinde elde edilen XRD desenleri yalnızca bakır ve gümüş desenleri sergilemektedir bu durum bu tez çalışması kapsamında belirlenen işlem koşullarının (sıcaklık, pH ve karıştırma hızı) elementel karakteristik üzerine doğrudan bir etkisi olmadığını göstermektedir.
- Akımsız gümüş kaplama işlemi için en uygun işlem koşulları pH 11, 40 °C sıcaklık ve 600 devir/dakika karıştırma hızı olarak belirlenmiştir.
- İşlem bileşen miktarlarının akımsız gümüş kaplanmış bakır tozların morfolojisi üzerine önemli etkileri bulunmaktadır. Düşük gümüş kaynağı ya da düşük indirgeyici ajan miktarlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda etkin bir gümüş kaplama tabakası elde edilememiştir.
- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bu tez çalışmasında kullanılan bakır tozlar için en uygun akımsız gümüş kaplama bileşen miktarlarının 50 mL çözelti için 5 gr bakır tozu, 0,963 gr gümüş nitrat ve 1,625 gr sodyum potasyum tartarat olduğu belirlenmiştir.
- Sıcak presleme işlemleri sonucunda yapılan mikroyapı incelemeleri mikro yapıda yalnızca bakır ve gümüş varlığını ortaya koymaktadır.
- Sıcak presleme işlemleri sonucunda yapı içerisinde gümüş kaplama tabakası miktarının artmasıyla daha yoğun ve daha az porozite içeren kompakt numunelerin elde edilebileceğini göstermektedir.
- 0,963 gr AgNO_3 ve 1,625 gr sodyum potasyum tartarat ve 5 gr bakır tozu kullanılarak gerçekleştirilen akımsız kaplama deneyleri sonrasında yapılan sıcak presleme işlemini takip eden EDS sonuçları incelendiğinde yapıda yaklaşık %24,5 oranında gümüş içeriği olduğu tespit edilmiştir.

- Sıcak presleme işlemleri sonrasında elde edilen kompakt numunelerin yoğunluğu doğrudan akımsız gümüş kaplama işlemiyle ilişkilidir. Başarılı olarak tamamlanmış ve etkin bir gümüş kaplama tabakası içeren gümüş kaplı bakır tozlar kullanılarak üretilen kompakt numunelerin yoğunluğunun daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda en düşük yoğunluk değeri saf bakır numuneye aittir ve $8,52 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. En yüksek yoğunluk değeri ise BM-11 kodlu kompakt numuneye aittir ve yaklaşık olarak $8,95 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir.
- Kompakt numunelere ait sertlik değerleri yoğunluk değerleriyle doğrudan ilişkilidir ve artan yoğunluk ile sertlik değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda en düşük yoğunluğa sahip kompakt numune olan saf bakır numunenin en düşük sertliğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Saf bakıra ait sertlik değeri 86 HB olarak ölçülmüştür. En yüksek sertlik değeri ise yoğunluğu en yüksek olan kompakt malzeme BM-11 olarak belirlenmiştir ve yaklaşık olarak 94 HB sertlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir.
- Sertlik değerlerinde olduğu gibi elektriksel iletkenlik değerlerinin de malzemelerin yoğunluğu arttıkça artmakta olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda en düşük elektriksel iletkenlik değeri yoğunluğu ve sertliği en düşük olan saf bakır numuneye aittir ve yaklaşık olarak 74,6 %IACS olarak tespit edilmiştir. En yüksek elektriksel iletkenlik değeri ise yoğunluğu ve sertliği en yüksek olan kompakt numuneye aittir ve yaklaşık olarak 96 %IACS olarak belirlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında bakır esaslı elektrik kontak malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine akımsız gümüş kaplama parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Gelecek çalışmalar için yapılabilecek öneriler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

- Akımsız gümüş kaplama işlemlerinde kullanılan gümüş kaynağı ve indirgeyici ajan bileşenlerinin değişiminin akımsız gümüş kaplama işlemi için etkileri incelenebilir.
- Akımsız gümüş kaplama işlemi sonrasında tozların ısıtılma tabii tutulması toz yüzeylerinde kalan boşluk ve gözeneklerinin kapanması ve daha yüksek yapışma mukavemeti sağlanmasına yardımcı olabilir.
- Akımsız gümüş kaplama işleminde bu çalışma kapsamında işlem koşulları ve bileşen miktarları incelenmiştir. Altlık bakır toz boyutunun ve morfolojisinin akımsız gümüş kaplama işlemine etkileriyle alakalı deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Bu çalışma kapsamında üretilen kompakt numuneler için farklı sıcaklık ve basınç parametreleri çalışılabilir, iki ya da daha fazla eksenli baskı kuvveti oluşturulan presleme yöntemlerinin fiziksel ve mekanik özelliklere olan etkileri incelenebilir.
- Akımsız gümüş kaplı bakır tozlardan imal edilen elektrik kontak malzemelerinin tribolojik özelliklerini belirlemek için yüzey pürüzlülüğü ve aşınma deneyleri gerçekleştirilebilir. Elektrik kontak malzemelerinin tekrarlı çevrimler altında davranışlarını incelemek için kontak test düzenekleri kurulabilir ve yüksek çevrimler sonrasında malzeme özellikleri incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Collini, L., Copper Alloys: Early Applications and Current Performance-Enhancing Processes, BoD–Books on Demand, 2012.
2. Buggy, M. ve Conlon, C., Material selection in the design of electrical connectors, Journal of materials processing technology, 153 (2004) 213-218.
3. Mu, Z., Geng, H.R., Li, M.M., Nie, G.L. ve Leng, J.F., Effects of Y2O3 on the property of copper based contact materials, Composites Part B-Engineering, 52 (2013) 51-55.
4. Çalli, Ç., Farklı seramik takviyeli bakır matrisli kompozit kaplamalar ile elektrik kontak malzemelerinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
5. Agarwala, R.C. ve Agarwala, V., Electroless alloy/composite coatings: A review, Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences, 28,3 (2003) 475-493.
6. Balalan, Z. ve SARSILMAZ, F., Isıl Çevrim Uygulanmış Al-Bronz Alaşımında Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29,2 (2017) 131-136.
7. Ünlü, B.S., KÖKSAL, S., Enver, A. ve Meriç, C., CuSn10 yatak malzemesinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11,1 (2005) 41-45.
8. Association, C.D., <https://www.copper.org/education/history/timeline/timeline.html> A Timeline of Copper Technologies. 27.04.2022.
9. Davis, J.R., Copper and copper alloys, ASM international, 2001.
10. Hao, K.D., Gong, M.C., Xie, Y., Gao, M. ve Zeng, X.Y., Effects of alloying element on weld characterization of laser-arc hybrid welding of pure copper, Optics and Laser Technology, 102 (2018) 124-129.
11. Klassert, A. ve Tikana, L., Corrosion Behaviour and Protection of Copper and Aluminium Alloys in Seawater, Copper and copper–nickel alloys – an overview, 47-61, 2007.
12. Simon, N., Drexler, E. ve Reed, R.P. Properties of copper and copper alloys at cryogenic temperatures. Final report, 1992.
13. Li, M. ve Zinkle, S.J., Physical and Mechanical Properties of Copper and Copper Alloys, Comprehensive Nuclear Materials, 4, Radiation Effects in Structural and Functional Materials for Fission and Fusion Reactors, (2012) 667-690.
14. Szakalos, P., Hultquist, G. ve Wikmark, G., Corrosion of copper by water, Electrochemical and Solid State Letters, 10,11 (2007) C63-C67.

15. Kiener, D., Motz, C., Schoberl, T., Jenko, M. ve Dehm, G., Determination of mechanical properties of copper at the micron scale, Advanced Engineering Materials, 8,11 (2006) 1119-1125.
16. Heidarzadeh, A., Jabbari, M. ve Esmaily, M., Prediction of grain size and mechanical properties in friction stir welded pure copper joints using a thermal model, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 77,9-12 (2015) 1819-1829.
17. Lu, L., Shen, Y., Chen, X., Qian, L. ve Lu, K., Ultrahigh strength and high electrical conductivity in copper, Science, 304,5669 (2004) 422-426.
18. Roberts, S., Optical Properties of Copper, Physical Review, 118,6 (1960) 1509-1518.
19. Peñalva, I., Alberro, G., Legarda, F., Esteban, G. ve Riccardi, B., Interaction of copper alloys with hydrogen, Copper Alloys-Early Applications and Current Performance-Enhancing Processes, (2012) 31-48.
20. Pohja, R., Vestman, H., Jauhiainen, P. ve Hanninen, H., Narrow gap arc welding experiments of thick copper sections, Helsinki University of Technology, Finland, (2003) 312.
21. Kapur, A., Bertram, M., Spataro, S., Fuse, K. ve Graedel, T.E., The contemporary copper cycle of Asia, Journal of material cycles waste management, 5,2 (2003) 143-156.
22. Tsuya, Y., Shimura, H. ve Umeda, K., A study of the properties of copper and copper-tin base self-lubricating composites, Wear, 22,2 (1972) 143-162.
23. Jamwal, A., Mittal, P., Agrawal, R., Gupta, S., Kumar, D., Sadasivuni, K.K. ve Gupta, P., Towards sustainable copper matrix composites: Manufacturing routes with structural, mechanical, electrical and corrosion behaviour, Journal of Composite Materials, 54,19 (2020) 2635-2649.
24. Eaton, D.W., Schiro, C.S., Perilloux, T.W. ve Goodwin, C., Advanced cable diagnostics-evaluation, selection, application and experience on medium voltage shielded power cables at a petrochemical facility, 2011 Record of Conference Papers Industry Applications Society 58th Annual IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC) 2011, 1-10.
25. Zhang, X.H., Zhang, Y., Tian, B.H., Song, K.X., Liu, P., Jia, Y.L., Chen, X.H., An, J.C., Zhao, Z., Liu, Y., Volinsky, A.A., Li, X. ve Yin, T., Review of nano-phase effects in high strength and conductivity copper alloys, Nanotechnology Reviews, 8,1 (2019) 383-395.
26. Timsit, R.S., High speed electronic connectors: A review of electrical contact properties, Ieice Transactions on Electronics, E88c,8 (2005) 1532-1545.
27. Zhai, C.P., Hanaor, D., Proust, G. ve Gan, Y.X., Stress-Dependent Electrical Contact Resistance at Fractal Rough Surfaces, Journal of Engineering Mechanics, 143,3 (2017) B4015001.
28. Bares, J.A., Argibay, N., Mauntler, N., Dudder, G.J., Perry, S.S., Bourne, G.R. ve Sawyer, W.G., High current density copper-on-copper sliding electrical contacts at low sliding velocities, Wear, 267,1-4 (2009) 417-424.

29. Bateni, M.R., Ashrafizadeh, F., Szpunar, J.A. ve Drew, R.A.L., Improving the tribological behavior of copper through novel Ti-Cu intermetallic coatings, Wear, 253,5-6 (2002) 626-639.
30. Association, C.D. Copper in Electrical Contacts, Copper Development Association, 1980.
31. Holm, R., Electric contacts: theory and application, Springer Science & Business Media, 2013.
32. Braunovic, M., Reliability of power connections, Journal of Zhejiang University-Science A, 8,3 (2007) 343-356.
33. Findik, F. ve Uzun, H., Microstructure, hardness and electrical properties of silver-based refractory contact materials, Materials & Design, 24,7 (2003) 489-492.
34. Li, L., Liu, S., Zhou, M., Zhang, Y., Liang, S., Huang, J., Tian, B., Geng, Y., Ban, Y., Liu, Y., Jia, Y., Li, X. ve Volinsky, A.A., Microstructure evolution of graphene reinforced Cu/CeO₂/Cr electrical contact materials under thermal deformation behavior, Journal of Materials Research and Technology, 18 (2022) 1412-1423.
35. Varol, T., Nano Partikül Takviyeli Bakır Esaslı Fonksiyonel Derecelendirilmiş Elektrik Kontak Malzemelerinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016.
36. Güler, Ö., Oksit takviyeli Bakır kompozitin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2006.
37. Aslanoğlu, Z., Toz hazırlama yöntemlerinin W65Ag35 elektrik kontaklarının yapı ve özelliklerine etkileri, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 1999.
38. Zhang, H.Y., Zou, J.J., Lin, N.M. ve Tang, B., REVIEW ON ELECTROLESS PLATING Ni-P COATINGS FOR IMPROVING SURFACE PERFORMANCE OF STEEL, Surface Review and Letters, 21,4 (2014) 1430002.
39. Biswas, N., Baranwal, R.K., Majumdar, G. ve Brabazon, D., Review of duplex electroless coatings and their properties, Advances in Materials and Processing Technologies, 4,3 (2018) 448-465.
40. Varol, T., Akçay, S. ve GÜLer, O., Akımsız kaplama yöntemi ile Cu-Ag bimetal parçacıkların üretimi ve karakterizasyonu, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (2021).
41. Mallory, G.O. ve Hajdu, J.B., Electroless plating: fundamentals and applications, William Andrew, 1990.
42. Chang, H., Pitt, C.H. ve Alexander, G.B., Electroless Silver Plating of Oxide Particles in Aqueous-Solution, Journal of Materials Science, 28,19 (1993) 5207-5210.
43. Chang, S.Y., Lin, J.H., Lin, S.J. ve Kattamis, T.Z., Processing copper and silver matrix composites by electroless plating and hot pressing,

Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science, 30,4 (1999) 1119-1136.

44. Tate, J., Rogers, J.A., Jones, C.D.W., Vyas, B., Murphy, D.W., Li, W.J., Bao, Z.A., Slusher, R.E., Dodabalapur, A. ve Katz, H.E., Anodization and microcontact printing on electroless silver: Solution-based fabrication procedures for low-voltage electronic systems with organic active components, Langmuir, 16,14 (2000) 6054-6060.
45. Gole, J.L., Seals, L.T. ve Lillehei, P.T., Patterned metallization of porous silicon from electroless solution for direct electrical contact, Journal of The Electrochemical Society, 147,10 (2000) 3785-3789.
46. Kiel, J.H.A., Edelaar, A.C.S., Prins, W. ve van Swaaij, W.P.M., Performance of silica-supported copper oxide sorbents for SO_x/NO_x-removal from flue gas, Applied Catalysis B: Environmental, 1,1 (1992) 41-60.
47. Vaskelis, A., Jagminiene, A., Juskenas, R., Matulionis, E. ve Norkus, E., Structure of electroless silver coatings obtained using cobalt(II) as reducing agent, Surface & Coatings Technology, 82,1-2 (1996) 165-168.
48. Duffy, J., Pearson, L. ve Paunovic, M., The Effect of Ph on Electroless Copper Deposition, Journal of The Electrochemical Society, 130,4 (1983) 876-880.
49. Hajdu, J., Electroless plating: The past is prologue - The 37th William Blum Lecture, Plating and Surface Finishing, 83,9 (1996) 29-33.
50. Bangwei, Z. ve Haowen, X., Effect of alloying elements on the amorphous formation and corrosion resistance of electroless Ni-P based alloys, Materials Science and Engineering: A, 281,1-2 (2000) 286-291.
51. Parkinson, R., Properties and applications of electroless nickel, 37, Nickel Development Institute Toronto, 1997.
52. Sorahi, M., Toz Metalurjisi, Marmara Universitesi (Turkey), 1988.
53. Capus, J.M., Advances in Powder Metallurgy Processing, 156, 33-36, 1999.
54. Criswell, D., Powder metallurgy in space manufacturing, 4th Space manufacturing; Proceedings of the Fifth Conference, Mayıs 1981, 389-399.
55. Angelo, P. ve Subramanian, R., Powder metallurgy: science, technology and applications, PHI Learning Pvt. Ltd., 2008.
56. Baccino, R., Moret, F., Pellerin, F., Guichard, D. ve Raison, G., High performance and high complexity net shape parts for gas turbines: the ISOPREC (R) powder metallurgy process, Materials & Design, 21,4 (2000) 345-350.
57. Upadhyaya, G.S., Powder metallurgy technology, Cambridge Int Science Publishing, 1997.
58. Gai, G.S., Yang, W., Jin, L., Zou, X. ve Wu, Y.X., Particle shape modification and related property improvements, Powder Technology, 183,1 (2008) 115-121.

59. Tsutsui, T., Recent technology of powder metallurgy and applications, Hitachi Chemical Technical Report, 2012, 54, 12-20.
60. Tsutsui, T., Technology Trend and Future Outlook of Structural Materials, Hitachi Powdered Metals Technical Report, 2008, 2-6.
61. Asaka, K. ve Ishihara, C. Technical trends in soft magnetic parts and materials, Hitachi Powdered Metals Technical Report, 2005, 4, 9.
62. Talijan, N.M., Electrical contact materials based on silver, Zaštita materijala, 52,3 (2011) 173-180.
63. Konstanty, J., Powder metallurgy diamond tools—a review of manufacturing routes, Materials Science Forum 2007, 534, 1121-1124.
64. Kulkarni, H. ve Dabhade, V.V., Green machining of powder-metallurgy-steels (PMS): An overview, Journal of Manufacturing Processes, 44 (2019) 1-18.
65. Narasimhan, K.S., Sintering of powder mixtures and the growth of ferrous powder metallurgy, Materials Chemistry and Physics, 67,1-3 (2001) 56-65.
66. Kuhn, H., Powder metallurgy processing: the techniques and analyses, Elsevier, 2012.
67. Shen, W.J., Yu, L.P., Liu, H.X., He, Y.H., Zhou, Z. ve Zhang, Q.K., Diffusion welding of powder metallurgy high speed steel by spark plasma sintering, Journal of materials processing technology, 275 (2020) 116383.
68. Kraft, T. ve Riedel, H., Numerical simulation of solid state sintering; model and application, Journal of the European Ceramic Society, 24,2 (2004) 345-361.
69. James, B.A., Liquid-Phase Sintering in Ferrous Powder-Metallurgy, Powder Metallurgy, 28,3 (1985) 121-130.
70. Xu, X.R., Luo, X.J., Zhuang, H.R., Li, W.L. ve Zhang, B.L., Electroless silver coating on fine copper powder and its effects on oxidation resistance, Materials Letters, 57,24-25 (2003) 3987-3991.
71. Hai, H.T., Ahn, J.G., Kim, D.J., Lee, J.R., Chung, H.S. ve Kim, C.O., Developing process for coating copper particles with silver by electroless plating method, Surface & Coatings Technology, 201,6 (2006) 3788-3792.
72. Hu, F., Yang, S., Wang, H., Hu, A. ve Li, M., Electroless Silver Coating on Copper Microcones for Low-Temperature Solid-State Bonding, Journal of Electronic Materials, 44,11 (2015) 4516-4524.
73. Cao, X.G. ve Zhang, H.Y., Fabrication and performance of silver coated copper powder, Electronic Materials Letters, 8,4 (2012) 467-470.
74. Phan, P.Q., Chae, S., Pornaroontham, P., Muta, Y., Kim, K., Wang, X. ve Saito, N., In situ synthesis of copper nanoparticles encapsulated by nitrogen-doped graphene at room temperature via solution plasma, RSC Adv, 10,60 (2020) 36627-36635.

75. Lakhan, M.N., Chen, R., Shar, A.H., Chand, K., Shah, A.H., Ahmed, M., Ali, I., Ahmed, R., Liu, J., Takahashi, K. ve Wang, J., Eco-friendly green synthesis of clove buds extract functionalized silver nanoparticles and evaluation of antibacterial and antidiatom activity, J Microbiol Methods, 173 (2020) 105934.
76. Shu, X., Wang, Y., Lu, X., Liu, C. ve Gao, W., Parameter optimization for electroless Ni–W–P coating, Surface and Coatings Technology, 276 (2015) 195-201.
77. Du, N. ve Pritzker, M., Journal of Applied Electrochemistry, 33,11 (2003) 1001-1009.
78. Chang, C., Lei, Z., Li, Y. ve Wang, Z., Electrochemical Research of a Stable Electroless Silver Bath, Journal of The Electrochemical Society, 163,3 (2016) D121-D125.
79. Sereshti, H., Afsharsaveh, Z., Gaikani, H. ve Rashidi Nodeh, H., Electroless-coated magnetic three-dimensional graphene with silver nanoparticles used for the determination of pesticides in fruit samples, J Sep Sci, 41,7 (2018) 1567-1575.
80. Huang, B., Gan, W., Zhou, J., Li, Y., Lin, T. ve Liu, X., Factors Affecting the Morphology of Pb-Based Glass Frit Coated with Ag Material Prepared by Electroless Silver Plating, Journal of Electronic Materials, 43,5 (2014) 1326-1334.
81. Xu, X., Luo, X., Zhuang, H., Li, W. ve Zhang, B., Electroless silver coating on fine copper powder and its effects on oxidation resistance, Materials Letters, 57,24-25 (2003) 3987-3991.
82. Hai, H.T., Ahn, J.G., Kim, D.J., Lee, J.R., Chung, H.S. ve Kim, C.O., Developing process for coating copper particles with silver by electroless plating method, Surface and Coatings Technology, 201,6 (2006) 3788-3792.
83. Luo, H., Sui, Y., Qi, J., Meng, Q., Wei, F. ve He, Y., Copper matrix composites enhanced by silver/reduced graphene oxide hybrids, Materials Letters, 196 (2017) 354-357.
84. Luo, H., Sui, Y., Qi, J., Meng, Q., Wei, F. ve He, Y., Mechanical enhancement of copper matrix composites with homogeneously dispersed graphene modified by silver nanoparticles, Journal of Alloys and Compounds, 729 (2017) 293-302.
85. Güler, O., Varol, T., Alver, Ü. ve Canakci, A., Effect of Al₂O₃ content and milling time on the properties of silver coated Cu matrix composites fabricated by electroless plating and hot pressing, Materials Today Communications, 24 (2020).

ÖZGEÇMİŞ

2001-2009 yılları arasında Bener Cordan İlköğretim Okulunda ilkokul ve ortaokul eğitimini tamamladı. 2009-2013 yılları arasında Fatih lisesinde lise eğitimini tamamladı. 2013-2018 yılları arasında bir yılı İngilizce hazırlık olmakla beraber azami sürede Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Lisans eğitimi süresince teknoloji takımları ile ilgilendi. Enerji Teknolojileri Topluluğu takımı ile ulusal ve uluslararası yarışmalar için elektrik ve hidrojen enerjisiyle çalışan otomobiller üretilip yarışmalara katıldı. Katıldığı yarışmalar neticesinde Türkiye 3.'lüğü ve Tanıtım ve Yaygınlaştırma ödülleri takımıyla birlikte kazandı. 2018 yılında mezuniyetinin ardından Trabzon'da faaliyet gösteren Küçükarslanlar Bakır Çinko San. A.Ş. firmasında Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2019 yılında lisansüstü eğitime başladı ve 2021 yılı aralık ayı itibariyle Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi pozisyonunda görev almaktadır. 5 adet uluslararası SCI-exp dergilerde yayınlanmış bilimsel çalışması bulunmaktadır. Ayrıca TR-Dizin kapsamında yayınlanmış 4 adet ulusal (TR-Dizin) makalesi ve ulusal ve uluslararası sempozyumlarda tam metin olarak sunulmuş toplamda 13 adet bildirisi bulunmaktadır.