

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**B₂O₃ KATKILI KONTAK MALZEMESİ ÜRETİMİ
VE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Güven GÖK

Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi

Programı: Döküm

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet KAPLAN

TEMMUZ-2010

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**B₂O₃ KATKILI KONTAK MALZEMESİ ÜRETİMİ
VE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Güven GÖK

(08122101)

Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi

Programı: Döküm

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet KAPLAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 02 TEMMUZ 2010

TEMMUZ-2010

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**B₂O₃ KATKILI KONTAK MALZEMESİ ÜRETİMİ
VE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Güven GÖK

Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi

Programı: Döküm

Bu Yüksek Lisans Tezi, 21/07/2010 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile başarılı / ~~başarısız~~ olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : **Doç.Dr. Mehmet KAPLAN**

Üye : **Prof.Dr. Halis ÇELİK**

Üye : **Prof.Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU**

Bu Yüksek Lisans Tezinin kabulü, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../2010 tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖNSÖZ

Tüm çalışmalarım da bana yardımcı olan danışmanım sayın Doç. Dr. Mehmet KAPLAN'a, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Halis ÇELİK'e ve Fizik Bölümü Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deney numunelerinin üretimi esnasında bilgi ve tecrübesiyle her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen Tunceli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi sayın Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇELİK'e de özellikle teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım esnasında teknik desteklerini sunan KAEL Elektrik Mühendislik Ltd.Şti. 'nden sayın Semih YALINKILIÇ'a, Eroğlu Elektrik San ve Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına ve 1872 proje numarasıyla maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) 'ne teşekkür ederim.

En önemlisi de her türlü desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mustafa Güven GÖK

ELAZIĞ — 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
1.GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK KONTAK MALZEMELERİ	4
2.1. Kontakların Tanımı ve Genel Özellikleri	4
2.2. Kontaklar	9
2.2.1. Kontaktör	9
2.2.2. Röleler	11
2.3. Elektrik Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları	12
2.4. Elektrik Kontak Malzemelerinin Üretim Yöntemleri	14
2.4.1. İnfiltrasyon Yöntemi	14
2.4.2 Toz Metalurjisi Yöntemi	15
2.4.3. Yarı Katı Karıştırma Yöntemi	16
2.4.4. Döküm Yöntemi	17
2.5. Elektrik Devresinde Açma Kapama Esnasında Meydana Gelen Olaylar	17
2.5.1. Ark Oluşumu	17
2.5.2. Kaynak Oluşumu	20
2.5.3. Köprü Oluşumu	21
2.5.4. Elektrik Kontak Malzemeleri İçin Gerekli Özellikler	21
3. SİNERLEME	22
3.1. Sinterleme Mekanizmaları	22
3.1.2 Katı Hal Sinterlemesi	23
3.1.2.1 Boyun Büyümesi ve Şekillenmesi	24

3.1.2.2 Kütle Transferi.....	25
3.2 Sinterleme Türleri.....	26
3.3 Sinterleme Değişkenleri	28
4. DENEYSEL İŞLEMLER	30
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve numunelerin Üretimi.....	30
4.1.2 Kullanılan Tozlar ve Özellikleri	30
4.1.3 Toz Karışımlarının hazırlanması	31
4.1.4 Tozların Kalıplanması	33
4.1.5 Sıcak Presleme.....	35
4.1.6 Yoğunluk Ölçme İşlemi	38
4.1.7 Sertlik Ölçüm İşlemi.....	39
4.1.8. Üç Noktalı Eğme Deneyi	40
4.1.9. İletkenlik Ölçümü Deneyi	41
4.1.10. Elektrik Yükü Altında Aşınma (Kontak Ömrü) Deneyi	42
4.1.11. Mikroyapı İncelemeleri İçin Numune Hazırlanması ve Mikroyapı Çalışmaları.....	44
4.1.12. X-Işını Kırınımı İncelemeleri	46
5. SONUÇLAR.....	48
5.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	48
5.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları	49
5.3. Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları	50
5.4. İletkenlik Ölçümü Sonuçları.....	52
5.5. Mikroyapı İncelemeleri	54
5.6. Kontak Ömrü (Aşınma) Deney Sonuçları	59
5.7. XRD Sonuçları	68
6. GENEL SONUÇLAR.....	71
7. ÖNERİLER.....	73
8. KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	78

ÖZET

Bu çalışmada toz metalurjisi ve sıcak presleme yöntemiyle bakır esaslı bor oksit katkılı elektrik kontak malzemeleri üretilmiş ve bunların mikroyapı, mekanik özellikleri ile elektriksel iletkenlik incelenmiştir. Numunelerin üretimi için Cu tozlarına ağırlıkça % 1, 3, 5 ve 7 oranlarında toz halindeki B_2O_3 katılmış ve bunlar turbula tipi mikserde bilyeli olarak karıştırılmışlardır. Daha sonra elde edilen karışımlar grafit kalıplara doldurularak argon atmosferi altında 850 °C ve 115 MPa basınç altında sinterlenerek deney numuneleri elde edilmiştir. Bu numuneler üzerinde yoğunluk, sertlik, üç noktalı eğme, iletkenlik, mikroyapı, kontak performansı (2000-4000-6000 ve 8000 çevrim sayısında açma-kapama) ve X-ray incelemeleri yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalar sonucunda B_2O_3 oranının artışı ile katkısız referans numuneye göre iletkenliğin düştüğü, sertliğin arttığı, yoğunluk ve üç noktalı eğme mukavemetinin ise % 1 B_2O_3 katkılı numunelerde maksimum olduğu görülmüştür. Kontak performansı deneylerinde ise en fazla ağırlık kaybının % 7 B_2O_3 katkılı numunede ve en az ağırlık kaybının da %1 B_2O_3 katkılı numune olduğu gözlenmiştir. Kontak performans deneylerinden sonra kontak yüzeyleri incelenmiş ve en az tahrip olan yüzeyin %1 B_2O_3 katkılı numunede olduğu görülmüştür. Ayrıca kontak performansı incelemeleri öncesi ve sonrası numunelerde X-ray incelemeleri yapılmış ve kontak performansı deneyinden sonra tüm numunelerde CuO pikinin ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Kontak Malzemeleri, Toz Metalurjisi, Sıcak Presleme, Bakır, Bor Oksit

SUMMARY

Production of B₂O₃ Added Contact Materials and Investigation of Their Properties

In this study, copper based electrical contact materials doped boron oxide was produced by means of powder metallurgy and hot pressing methods and their microstructure, mechanical properties and electrical performance and conductivity of the produced samples investigated. For the production of powder samples was attended B₂O₃ powders in the ratio wt. % 1, 3, 5 and 7 to the Cu powders and they have been mixed in the turbule ball-type mixer. Then the resulting mixture was filled to graphite mold and sintered under argon atmosphere at 850 °C and a pressure of 115 MPa and thus specimens obtained. It was performed density, hardness, three-point bending, conductivity, microstructure, contact performance (2000-4000-6000 and 8000 in the number of on / off cycles) and X-ray examinations of these samples.

As a result, with increase of B₂O₃ rate, it was decreased the conductivity than pure Cu reference samples, but increased hardness, density and three-point bending strength and were found to be maximum of this properties at a 1% B₂O₃ addition samples. In contact performance experiments, was observed to the maximum weight loss in %7 B₂O₃-added sample and least weight loss in 1% B₂O₃-added samples. Contact surfaces were examined after contact performance test and observed at least damaged surface in samples %1 B₂O₃-added. Before and after contact performance test, X-ray examinations were performed and found that in all samples after ignition performance test occur the CuO peaks.

Key Words: Electrical Contact Materials, Powder Metallurgy, Hot Pressing, Copper, Boron Oxide

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Çeşitli tip ve ebatlardaki elektrik kontak malzemeler.....	3
Şekil 2.2. Elektrik kontaklarının kinematiklerine göre sınıflandırılması	6
Şekil 2.3. Kontaktörün içyapısı	9
Şekil 2.4. Sabit ve Hareketli kontakların şematik resmi	10
Şekil 2.5. Rölenin şematik içyapısı	11
Şekil 2.6. Basıncılı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi	14
Şekil 2.7. Toz Metalurjisi işlemlerinin genel akış şeması.....	16
Şekil 2.8. Kontakların açılma ve kapanması sırasında ark oluşumu	17
Şekil 2.9. Röle kontağında oluşan elektrik ark erozyonunun şematik gösterimi	18
Şekil 3.1. Sinterleme sırasında meydana gelen değişimler	23
Şekil 3.2. Üç sinterleme aşamasına bağlı yoğunlaşma eğrisinin şematik gösterimi	24
Şekil 3.3. Sinterlemenin birinci aşamasında oluşan boyunun küresel iki parçacıklı modeli.....	24
Şekil 3.4. Sinterleme esnasında malzeme taşınım yolları	25
Şekil 3.5. Sinterleme türleri.....	27
Şekil 4.1. Numune bileşimlerinin hazırlanmasında kullanılan hassas terazi	31
Şekil 4.2. Numunelerin üretiminde kullanılan 88-tipi mikser.....	32
Şekil 4.3. Sıcak pres kalıbı	33
Şekil 4.4. Sıcak pres kalıplarının hazırlanışı	34
Şekil 4.5. Numunelerin üretiminde kullanılan sıcak pres makinesi	35
Şekil 4.6. Sıcak pres makinesinin sinterleme kabini	36
Şekil 4.7. Sinterleme parametresi grafiği	37
Şekil 4.8. Sıcak presleme sonrası elde edilen numunelerin fotoğrafı	38
Şekil 4.9. Üretilen numunelerin boyutları	38
Şekil 4.10. Sertlik ölçme cihazı.....	39
Şekil 4.11. Üç noktalı eğme deney aparatı.....	40
Şekil 4.12. Eğme deneylerinin yapıldığı universal deney makinesi.....	41
Şekil 4.13. Aşınma deney düzeneği	42

Şekil 4.14. Kontak aşınma deney düzeneğinin şematik gösterimi	43
Şekil 4.15. Kontaktör uçlarına lehimlenmiş deney numunelerinin görünüşü	44
Şekil 4.16. Elmas testereli hassas kesme makinesi	45
Şekil 4.17. Parlatma cihazları	45
Şekil 4.18. Mikroyapı incelemelerinin yapıldığı JEUL taramalı elektron mikroskobu.....	46
Şekil 4.19. Numunelerin üretimi ve yapılan deneylerin akış diyagramı	47
Şekil 5.1. Yoğunluk ölçüm grafiği	48
Şekil 5.2. B ₂ O ₃ oranına bağlı olarak Sertlik değişimi	49
Şekil 5.3. Tüm numunelere ait gerilme-yüzde uzama grafiği	50
Şekil 5.4. Maksimum gerilme ve maksimum uzama değerleri	51
Şekil 5.5. B ₂ O ₃ oranına bağlı olarak öziletkenlikteki değişim.....	52
Şekil 5.6. B ₂ O ₃ oranına bağlı olarak % IACS değerleri	53
Şekil 5.7. Referans numunenin SEM görüntüsü	54
Şekil 5.8. I nolu numunenin SEM görüntüsü	55
Şekil 5.9. II nolu numunenin SEM görüntüsü.....	56
Şekil 5.10. III nolu numunenin SEM görüntüsü	57
Şekil 5.11. IV nolu numunenin SEM görüntüsü	58
Şekil 5.12. Çevrim sayısı ile yüzde ağırlık kaybı değişimi	60
Şekil 5.13. 8000 açma-kapama sonrası numunelerin 15 büyütmedeki genel yüzey görünüşleri	62
Şekil 5.14. Ref. Numuneden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı	63
Şekil 5.15. I nolu numuneden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı	64
Şekil 5.16. II nolu numuneden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı.....	65
Şekil 5.17. III nolu numuneden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı	66
Şekil 5.18. IV nolu numuneden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı	67
Şekil 5.19. Numunelerin kontak deneyi öncesi ve sonrası XRD analiz grafikleri.....	69
Şekil 5.20. Numunelerin kontak deneyi sonrası XRD analiz grafikleri.....	70

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Elektrik kontakları üzerindeki etkiler	6
Tablo 2.2. Bazı elektrik kontak malzemelerinin bileşimim ve özellikleri.....	8
Tablo 2.3. Çeşitli Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları	13
Tablo 2.4. Çeşitli metaller için kritik ark akımları.....	19
Tablo 3.1. Sinterleme esnasında malzeme taşınım yolları	26
Tablo 3.2. Sinterlenebilirliği ve mikroyapıyı etkileyen değişkenler.....	29
Tablo 4.1. Üretilen deney numunelerinin toz bileşimleri	31
Tablo 4.2. Sinterleme parametreleri	37
Tablo 5.1. Yoğunluk ölçüm değerleri	48
Tablo 5.2. Numunelerin % IACS değerleri	53
Tablo 5.3. Kontak Ömrü deneylerinde ölçülen yüzde ağırlık kayıpları	60

SEMBOLLER LİSTESİ

Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
B₂O₃	: Bor Oksit
CuO	: Bakıroksit
Fe	: Demir
gr	: gram
H	: Hidrojen
KW	: Kilovat
Mg	: Magnezyum
mg	: miligram
µm	: mikrometre
Mo	: Molibden
O	: Oksijen
W	: Tungsten
W	: Vatt
HB	: Brinell sertliği
I	: Akım (Amper)
S	: Alan
R	: Direnç (ohm)
σ	: Öziletkenlik (MS/m)
L	: Numune Kalınlığı (m)
A	: Tesir alanı (m ²)
PEG	: Polietilen Glikol
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Ref.	: Referans
Ω	: ohm
MS	: Mega Siemens
IACS	: Uluslar arası bakır iletkenlik standardı
MPa	: Mega Paskal
Hz	: Herz

1. GİRİŞ

Elektrik kontak malzemeleri, kayarak veya sabit temas sağlayarak elektrik devrelerini istenen zamanda açmak ve kapatmak için kullanılan metal esaslı parçalardır. Günümüzde, yaşamın ve iş hayatının vazgeçilmez bir unsuru olan elektriğin bulunduğu her yerde elektrik ile çalışan cihazları kontrol etmek amacıyla kontak malzemeleri kullanılmaktadır. Bu kontak malzemelerine evlerdeki aydınlatma tesisatının anahtarlarında ve her türlü elektrikli ev aletlerinde, endüstride özellikle otomasyonun vazgeçilmez bir parçası olan kontaktörlerde ve şalterlerde, otomobillerdeki elektrik aksamının kontrolü için kullanılan rölelerde ve yine endüstriyel amaçlı rölelerde v.b. yerlerde rastlanmaktadır. Bu örnekleri daha da arttırmak mümkündür. Kontrollü bir elektrik devresinde kontakların birbiriyle teması sonucu devre enerjilenir ve akım akmaya başlar.

Kontak malzemeleri açma-kapama ve kısa devre esnasında elektrik, termik, mekanik ve kimyasal yönden çok zorlanırlar. Kontaklar sürekli açılıp kapandığı için oluşan elektrik atlamaları (ark) zamanla kontakların oksitlenmesine ve iletkenlik özelliklerini kaybetmesine neden olur. Ark, kontakların çalışması esnasında akımın akmaya başlaması veya kesime geçmesi esnasında olur ve ark sütunundaki yüksek akım yoğunluğuna bağlı yüksek sıcaklık ile karakterize edilmektedir. Yüksek sıcaklık ve akım yoğunluğundan dolayı kontak malzemesi yüzeyi korozyona uğrar ve aşınır. Sonuçta kontak malzemesinde kararsız kontak direnci ve malzeme kaybı meydana gelir. Bu yüzden bir kontak malzemesinin çalışma süresince bütünlüğünü koruyabilmesi malzemenin yüksek elektriksel ve ısıl iletkenliğine, yüksek ergime sıcaklığına, yüksek korozyon ve yüksek ark aşınması direncine de bağlıdır [29].

Malzeme bilimi dalında yapılan bilimsel araştırmaların temel amacı malzemelerin özelliklerini ve performanslarını geliştirmektir. Malzemelerin mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmede; kimyasal modifikasyon, ısıl işlemler, mekanik ve termomekanik işlemler kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte ihtiyaçlarda farklılaşmıştır [1]. Bu nedenle günümüzde pek çok yöntem geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Özellikle de havacılık, otomotiv ve denizcilik sektöründe yüksek performanslı, hem hafif hem de dayanıklı, yüksek sıcaklıklarda kararlılık gibi özellikleri bünyesinde birleştirebilen malzemelere gereksinim vardır. Bu ihtiyaçları karşılayabilmek için pratik ve deneysel amaçlı birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaktadır. Kullanılan

metotların gelişmesiyle döküm gibi geleneksel yöntemlerin modifikasyonunun yanı sıra, toz metalurjisi (TM) gibi yeni yöntemlerin kullanımı da giderek artmıştır. Katı hal uygulamalarının başında gelen toz metalürjisinin diğer geleneksel ve ileri teknoloji metotlarına göre sağlamış olduğu avantajların en önemlisi, denge diyagramlarındaki şartların dışında hemen her tür malzemeye uygulanabilir olmasıdır. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş malzemelerin bir çoğunu diğer geleneksel metotlarla üretmek hemen hemen imkansız ya da çok güçtür [2].

Modern teknolojinin sınırlılıklarından birisi de bazı metal alaşımlarının elde edilmesindeki zorluktur. Mesela, düşük ergime sıcaklığına sahip bir malzeme ile yüksek ergime sıcaklığına sahip diğer bir malzemeyi geleneksel tekniklerle alaşımlamak zordur. Böyle iki metal sıvı durumda çözelti oluşturmaya rağmen daha düşük ergime noktasına sahip olduğunda metal soğuma ve katılaşma yönünde ayrılır. Bunun yanında klasik üretim teknikleri ile üretilebilen malzemelerden daha sert, dayanıklı ve hafif malzemelere talebin artmasıyla yeni malzemelerin tasarımı ve geliştirilmesi söz konusu olmuştur [3].

TM uygulamalarının en çok kullanıldığı alanlardan biri de elektrik kontak malzemelerinin üretimidir. Kontak malzemeleri döküm, infiltrasyon ve toz metalurjisi gibi çeşitli yöntemlerle üretilebilmektedir. Fakat bu malzemelerde, yüksek elektriksel ve ısı iletkenlik, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek korozyon ve yüksek ark aşınması direnci özelliklerinin hepsinin bir arada bulunmasının istenmesi üretim yöntemlerini kısıtlamaktadır. Örneğin; volframın çok iyi olan ısı ve mekanik dayanım özellikleri ile bakırın muazzam elektrik iletkenliği özellikleri bir araya getirilip iyi bir kontak malzemesi üretmek istenmektedir. Fakat bakır-volfram bileşimli kontak malzemelerinin üretiminde, bakır ile volframın birbiri içerisinde çözünürlüğünün olmaması nedeniyle, ancak infiltrasyon veya toz metalurjisi yöntemleri tercih edilebilmektedir.

Konuyla alakalı çalışmalardan biri Güler [19] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada araştırmacı, mekanik alaşımlamayla üretilen bakır esaslı kontak malzemelerinin elektrik performansı incelemiştir. Çeşitli oksitleri, farklı oranlarda, içeren bakır tozları 5 saat süreyle planeter bilyeli değirmende öğütölmek suretiyle mekanik olarak alaşımlandırmıştır. Mekanik alaşımlanan toz karışımlarını %1, % 2, % 4 ve % 6 oranlarında ZnO, Al₂O₃ ve Y₂O₃ ihtiva edecek biçimde hazırlamıştır. Alaşımlama işleminden sonra bu tozlar preslemiş ve vakum altında 800 °C’ de sinterlemiştir. Daha sonra, yoğunluğu arttırmak için bu numuneler 650 °C’ de % 75 oranında dövülmüştür. En iyi iletkenliği belirlemek için bu numuneler üzerinde elektrik iletkenliği deneyleri yapmıştır. Sonuçta, en iyi iletkenlik

değerini % 4 oksit takviyeli numunelerin sergilediğini tespit etmiş ve daha sonra bu numunelerin kontak performansını tespit etmek için 3000, 6000, ve 9000 çevrim sayısında açma – kapama deneyi uygulamıştır. Sonuç olarak hem en iyi iletkenliği hem de en iyi kontak performansını sırasıyla % 4 ZnO, % 4 Al₂O₃, % 4 Y₂O₃ takviyeli bakır kontaklardan elde etmiştir.

Bir başka çalışma da Altınsoy [42] tarafından yapılmıştır. Araştırmacı toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Cu-Al₂O₃ kompozitlerinin mikroyapı, mekanik ve elektriksel özelliklerine matris tane boyutu, takviye miktarı ve sinterleme sıcaklığının etkisinin incelemiştir. Bu doğrultuda iki farklı partikül boyutunda (10µm ve 40µm) Cu tozuna değişik oranlarda (ağ. %1, 3, 5 ve 7) Al₂O₃ partikülleri (0.3µm toz boyutunda) takviye edilmiş bakır tozları hazırlayarak, 200MPa basınç uygulayarak suretiyle preslenmiş, sonrasında kompozit kompaktları sırasıyla 875, 925 ve 975°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta 2 saat grafit tozuna gömülü halde sinterlemiştir. Sinterleme sonrası numuneleri yoğunluğun artırılması için 700MPa yük uygulanarak sıcak olarak dövülmüştür. Elde edilen kompozitleri bir dizi deneye tabi tutmuş ve sonuç olarak üretilen bütün kompozitlerde takviye fazının matris içerisinde tane sınırlarında homojen olarak dağıldığını, her üç sinterleme sıcaklığı ve tüm takviye miktarlarında, kompozitlerin relatif yoğunluğunun % 90' nın üzerinde olduğunu belirlemiştir. Ayrıca takviye miktarının artışıyla tüm sinterleme sıcaklıklarında kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri azalırken sertliklerinin arttığını tespit etmiştir.

Bıyık [32] ise yaptığı çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Ag-B₂O₃ esaslı kontak malzemelerinin özelliklerine B₂O₃ oranının etkisini incelemiştir. Numunelerin üretimi için gümüş ve B₂O₃ tozlarını homojen bir şekilde karıştırıp 1000MPa'da preslemiş ve 800°C'de sinterlemiştir. Üretilen malzemelerde B₂O₃ oranını hacimce %0, 5, 10 ve 15 olarak seçmiştir. Numunelerin, kontak performansını belirlemek amacıyla elektrik yükü altında, belirli çevrim sayılarında ağırlık kaybı deneyine tabi tutmuştur. Sonuç olarak hacimce %10 B₂O₃ katkılı numunede ağırlık kaybının en az olduğunu tespit etmiştir.

2. ELEKTRİK KONTAK MALZEMELERİ

2.1. Kontakların Tanımı ve Genel Özellikleri

Elektrik kontakları, kayarak veya sabit temas sağlayarak elektrik devrelerini istenen zamanda açmaya, kapatmaya ve devrenin akımını taşımaya yarayan metal esaslı parçalardır. Akımı taşıyan bu elemanlar genellikle katı cisimlerdir ve kontak malzemesi olarak adlandırılır. Kontrollü bir elektrik devresinde kontakların birbiriyle teması sonucu devre enerjilenir ve akım akmaya başlar.

Elektro-Mekanik ve elektrik enerjisi iletim sektörlerini kapsayan elektrik endüstrisinde, daha fazla enerjinin tüketim merkezlerine ulaştırılması ve bu enerjinin tüketim birimlerine dağıtılması gibi iki temel konu mevcuttur. Birinci durumda, daha fazla enerjiyi nakledebilecek yeni malzeme ve düzeneklerin geliştirilmesi önem taşırken, ikinci durumda elektrik devrelerini açma ve kapamaya yarayan çeşitli tip devre anahtarları (şalterler) ve bunların tasarımı söz konusudur [9]. Şalterin en kritik kısımlarından biri ise devreleri açıp kapayan parçaları yani kontak malzemeleridir. Şekil 2.1 'de çeşitli tip ve ebatlarda elektrik kontak malzemeleri görülmektedir.

Kontaklar devre metali olarak iyi elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır. Uzun açma kapama periyotlarından sonra bile kontaklar komut verildiğinde birkaç milisaniye tepki süresine sahip olmalıdır. Bazı kontaklar hizmet ömürleri boyunca yüz binlerce kez veya milyonlarca kez çalışmak zorundadırlar [19].



Şekil 2.1. Çeşitli tip ve ebatlardaki elektrik kontak malzemeleri

İyi bir kontak malzemesinden beklenen özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Kontak malzemesinin elektrik ve ısı iletkenliği yüksek olmalıdır,
2. Ark etkisi ile yanma ve buharlaşma olmamalıdır,
3. Kapanma esnasında ve kapalı çalışma süresince kontakta ergime ve kaynaklanma olmamalıdır,
4. Kontak malzemesinin sertlik derecesi ve dayanıklılığı uygun olmalıdır,
5. Kontak yüzeyinde oksit ve benzeri yabancı tabaka oluşmamalıdır [2].

Tüm bu şartları sağlayan mükemmel (ideal) bir kontak malzemesi veya metalik bileşimin bulunabilmesinin çok zor olduğu bildirilmektedir[1].

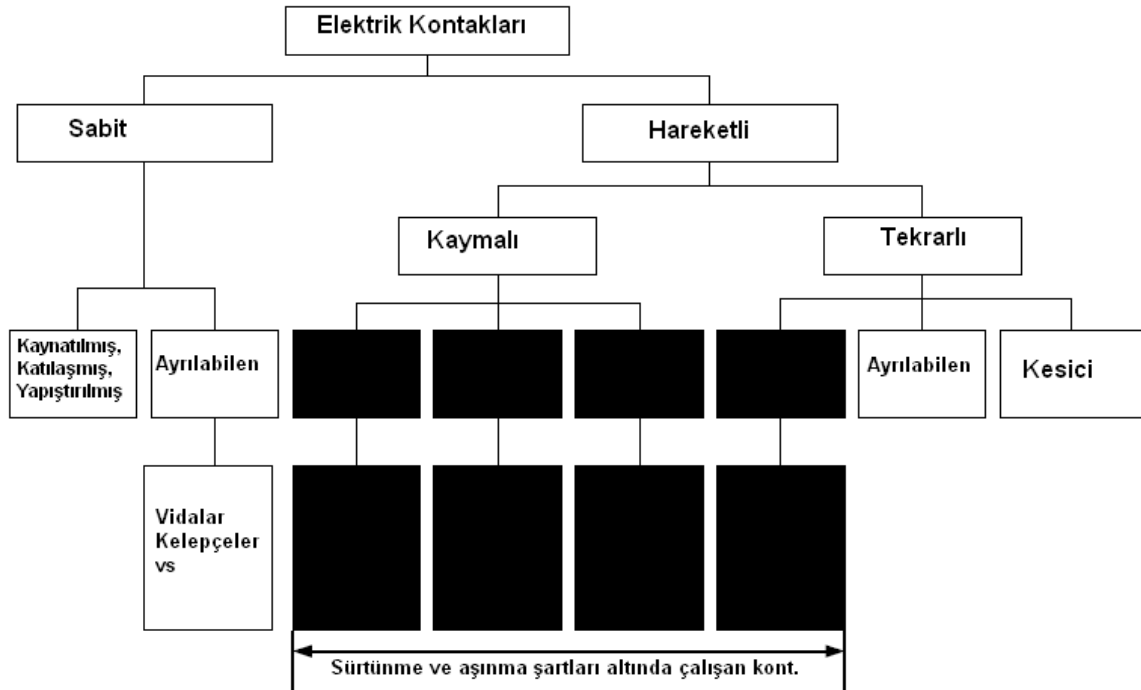
Bir elektrik bağlantısının ilk amacı temas arayüzeyi boyunca elektrik akımının kesintisiz bir şekilde geçişini sağlamaktır. Bu durum sadece iyi bir metal-metal teması ile sağlanabilir. Temas bölgesinde meydana gelen olaylar oldukça karmaşıktır [21].

Kontak malzemeleri açma-kapama ve kısa devre esnasında elektrik, termik, mekanik ve kimyasal yönden çok zorlanırlar. Kontaklar sürekli açılıp kapandığı için oluşan elektrik atlamaları (ark) zamanla kontakların oksitlenmesine ve iletkenlik özelliklerini kaybetmesine neden olur. Ark, kontakların çalışması esnasında akımın akmaya başlaması veya kesime geçmesi esnasında olur ve ark sütunundaki yüksek akım yoğunluğuna bağlı yüksek sıcaklık ile karakterize edilmektedir. Yüksek sıcaklık ve akım yoğunluğundan dolayı kontak malzemesi yüzeyi korozyona uğrar ve aşınır. Sonuçta kontak malzemesinde kararsız kontak direnci ve malzeme kaybı meydana gelir. Bu yüzden bir kontak malzemesinin çalışma süresince bütünlüğünü koruyabilmesi malzemenin yüksek elektriksel ve ısı iletkenliğine, yüksek ergime sıcaklığına, yüksek korozyon ve yüksek ark aşınması direncine de bağlıdır [1]. Kapanma esnasında karşılıklı kontak uçları birbirine mekanik olarak sert bir şekilde temas etmek zorundadır. Bu durumda da malzeme yine mekanik olarak zorlanmakta ve sürekli sert bir şekilde açılıp kapanma ile aşınma meydana gelmektedir. Tablo 2.1 'de çalışma esnasında meydana gelen olayların elektrik kontak malzemeleri üzerindeki etkileri görülmektedir.

Tablo 2.1. Elektrik kontakları üzerindeki etkiler [20]

Etkiler	Parametreler	Sonuç
Elektriksel	• Akım • Voltaj	Isınma, ergime, malzeme taşınımı, kimyasal reaksiyonlar
Termal	• Ark	Kontak malzemelerinin ergimesi, malzeme taşınımı
Mekanik	• Sürtünme • Basınç	Deformasyon, aşınma, soğuk kaynama
Çevre şartları	• Toz • Gaz	Aşınmada artış, kimyasal tabakalar ve korozyon oluşumu
Kimyasal	• Oksidasyon	Korozyon, inorganik ve organik tabakalar

Elektrik kontakları sabit ve hareketli olmak üzere iki temel kategoriye ayrılabilir. Şekil 2.2 'de kontaklar kinematiklerine ve dizaynlarına göre en genel şekilde şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.2. Elektrik kontaklarının kinematiklerine göre sınıflandırılması

Sabit kontaklarda, kontak elemanları elektrik devresine kalıcı bağlantı sağlamak için rijit veya elastik olarak bağlanırlar. Sabit kontaklar Şekil 2.2 'de de görüldüğü gibi “ayrılmayan” (kaynaklanmış, katılaştırılmış, yapıştırılmış v.s) ve “ayrılabilen” (vidalanmış, sarılmış v.s) olarak ikiye ayrılır. Sabit kontak malzemeleri, yüksek mekanik dayanım ve düşük geçiş direnci sayesinde kararlı bir elektrik kontağı sağlar. Sabit bağlantılar genellikle daha basit malzeme bileşimleri kullanılır. Çünkü çalışma esnasında, kontak özelliklerini olumsuz etkileyen ark meydana gelmemektedir [21].

Kaymalı kontaklarda, kontak elemanları ayrılmadan birbiri üzerinden kayar. Dolayısı ile akım geçiş noktası, kontak bölgesi ile beraber hareket eder. Bu kontaklarda sürtünme dolayısı ile aşınma kaçınılmaz olarak ortaya çıkar.

Hareketli kontaklarda ise kontak elemanlarından en az birisi hareket ederek sabit bir temas sağlar. Çalışma şartlarına göre bu kontaklar Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi “tekrarlı” ve “kaymalı” olarak ikiye ayrılır. Tekrarlı kontaklar elektrik akımını aralıklı olarak (istenilen zamanda açıp/kapama) kontrol edebilir. Bunlar, ayrılabilen (çeşitli fiş bağlantıları, akım kesiciler) ve kesiciler olmak üzere iki kategoride sınıflandırılabilirler. Siviçler, kontaktörler, röleler gibi periyodik olarak açılıp kapanabilen benzer malzemeler “kesiciler” olarak adlandırılır [21].

Kullanım alanlarına göre seçilecek kontak malzeme bileşenleri de farklılık göstermektedir. Kontak ebatları dikkate alınmadan sadece kullanılan akım aralıklarına göre sınıflandırma yapıldığında düşük akım gerektiren uygulamalarda gümüş ve alaşımları (Ag-Ni, Ag-Co, Ag-Cu) ile bazı berilyum, bakır, fosfor, bronz ve nikel içeren malzemeler kullanılmaktadır. Orta akım uygulamalarında (1-30 Amper) ise Ag -CdO, Ag-SnO₂, Ag -ZnO gibi oksit bileşen içeren kontaklar kullanılmaktadır [11]. CdO ve SnO₂ bileşenleri yerine Zn₂SnO₄ kompozisyonu da kullanılmaktadır. Yüksek akım uygulamaları (>30 Amper) için refrakter esaslı kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu tür kompozit malzemeler, yüksek ergime sıcaklığına sahip bir malzeme (W, WC, Ti, Mo, gibi) ile iletken bir metalin (Ag, Cu, Al gibi) çeşitli yöntemlerle birleştirilmesi ile imal edilmektedir. Bu şekilde üretilen malzemeler birbirleriyle tam alaşım yapamadığından üretilen kontak malzemesinin özellikleri, doğrudan bileşimdeki malzemelerin elementel özelliklerine bağlıdır. Refrakter metaller (W, Mo, Ti, Pt gibi) ve bunların karbürleri (WC, TiC) ile Cu, Ag, Au içeren alaşımlar bu gruba girer [17]. Bunun gibi birçok kompozit söz konusudur. Bunlar; volfram-gümüş, volframkarbür-gümüş, volframkarbür-bakır, volfram-grafit-gümüş ve molibden-gümüş bunlara birkaç örnektir. Bu şekilde gümüşün yüksek

iletkenliği ile volframın yüksek yoğunluğu ve yüksek ergime noktası birleştirilmiş olur. İletken metalin miktarı, refrakter metalin miktarına göre daha az da olabilir veya eşitte olabilir. Bu oran kontak malzemesinin kullanım yerine göre tespit edilir. Yaygın olarak kullanılan bir gümüş esaslı kompozit: gümüş-kadmiyum oksittir. Bu malzeme aynı gümüş miktarı için bir gümüş-kadmiyum alaşımına göre daha yüksek iletkenlik sağlar [19]. Tablo 2.2 ‘de bazı kontak malzeme bileşimlerinin özellikleri verilmiştir.

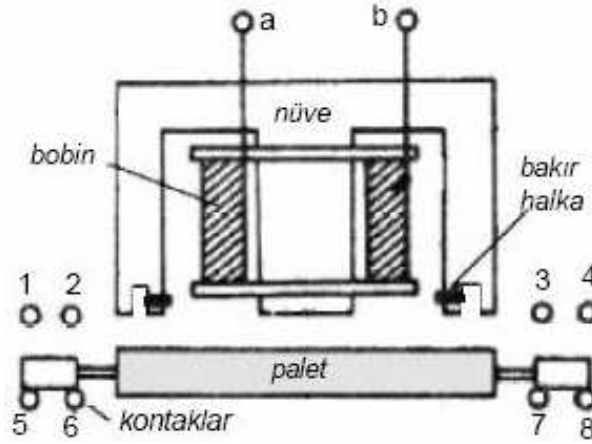
Tablo 2.2. Bazı elektrik kontak malzemelerinin bileřim ve özellikleri

Bileřim	Yoğunluk (gr/cm ³)	Sertlik	İletkenlik (% IACS)
50 Ag – 50 W	13.06-13.33	50-65 HRB	57-70
35 Ag – 65 W	14.32-14.62	75-85 HRB	50-58
25 Ag – 75 W	15.32-15.64	85-95 HRB	45-52
50 Ag – 50 Mo	9.94-10.14	70-80 HRB	45-54
25 Ag – 65 Mo	9.90-10.10	82-92 HRB	38-45
85 Ag – 15 Ni	9.60-9.90	48-78 HR15-T	79-84
98 Ag – 2 C	9.19-9.49	23-67 HR15-T	82-87
95 Ag – 5 C	8.30-8.50	20-63 HR15-T	54-65
90 Ag – 10 C	7.23-7.46	10-32 HR15-T	40-47
88Ag-10 Ni-2 C	9.04-9.33	22-60 HR15-T	58-68
77 Ag-20 Ni-3 C	8.61-8.88	47-70 HR15-T	50-57
95 Cu – 5 C	7.33-7.57	38-64 HR15-T	40-46
90 Ag – 10 CdO	9.60-10.10	45-76 HR15-T	70-86
85 Ag – 15 CdO	9.46-9.96	60-81 HR15-T	65-75
75 Cu – 25 W	9.72-10.03	20-60 HRB	55-65
50 Cu – 50 W	11.75-12.00	65-75 HRB	50-58
30 Cu – 70 W	13.76-14.04	85-95 HRB	40-48
20 Cu – 80 W	15.04-15.36	95-105 HRB	30-40
65 Ag – 35 WC	11.15-11.50	45-60 HRB	50-60

2.2. Kontaklar

2.2.1. Kontaktör

Elektrik devrelerini açıp kapamaya yarayan ve tahrik sistemiyle uzaktan kumanda edilebilen büyük güçlü elektromanyetik anahtarlara kontaktör denir. Kontaktörler, başta elektrik motorları olmak üzere; kompanzasyon, ısıtma gibi elektrik tesislerinin kablo ile uzaktan kumanda edilmelerine imkan sağlarlar. Termik röleler ile kullanıldığında ise cihazları ve tesisleri aşırı yük akımlarına karşı korurlar. Şekil 2.3 'de görüldüğü gibi elektromıknatıs, palet ve kontaklar olmak üzere üç kısımdan oluşur.



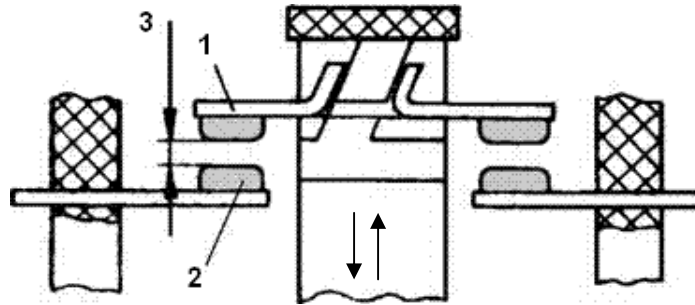
Şekil 2.3. Kontaktörün içyapısı

Elektromıknatıs, bir demir nüve ve üzerine sarılmış bobinden meydana gelir. Bobine gerilim uygulandığında geçen akım, manyetik alan oluşturarak mıknatısiyet meydana getirir. Alternatif akımla çalışan kontaktörün nüvesi silisli sacların paketlenmesiyle yapılır. Nüvenin ön yüzüne açılan oluklara bakır halkalar takılmıştır. Bakır halkalar; alternatif akımın yön ve değer değişimlerinden etkilenerek titreşim, yani gürültü yapmasını önlemek içindir. Her birinde gerilim indüklendiği için kısa devre olan halkalardan, indüksiyon gerilimi akım dolaştırarak, esas manyetik alandan 90° geride olan ve böylece demir nüvedeki toplam manyetik alanı hiç sınırlamayan ek bir manyetik alan oluşturur. Böylece bobinden alternatif akım geçtiğinde paletin sürekli çekik kalması sağlanmış olur.

Doğru akımla çalışan kontaktörün nüvesi, yumuşak demirden tek parça olarak yapılır. Bobin akımı kesildiğinde demir nüvede kalan artık mıknatısiyetten dolayı paletin nüveye apışık kalmasını önlemek için nüvenin palete bakan kısmına plastik pullar konur. Çalışma akımı ve kontak akımına bağlı olarak elektromıknatıslar, değişik kesit ve sipirde sarılırlar.

Palet, Kontaktör nüvesinin hareketli kısmıdır. Demir nüvenin mıknatıslanması ve yayların itmesi sonucu hareket eder. Palet üzerine kontaklar monte edilmiştir. Demir nüve mıknatıslandığında paleti çeker ve bazı kontaklar açılırken bazı kontaklar kapanır. Demir nüveye sarılı bobinin enerjisi kesildiğinde, yayların itmesi sonucunda palet eski konumuna döner.

Kontaklar; Gümüş, bakır-nikel, kadminyum, demir, karbon, tungsten, ve molibdenden yapılmış metallerdir. Kontaklar; biri sabit diğeri, hareketli olmak üzere iki elemandan meydana gelir (Şekil 2.4). Normalde açık ve normalde kapalı olmak üzere iki tip kontak vardır. Palet üzerine monte edilen hareketli kontakların bir kısmı kontaktör çalışmazken açık konumda, bir kısmı ise kapalı konumda olabilir.



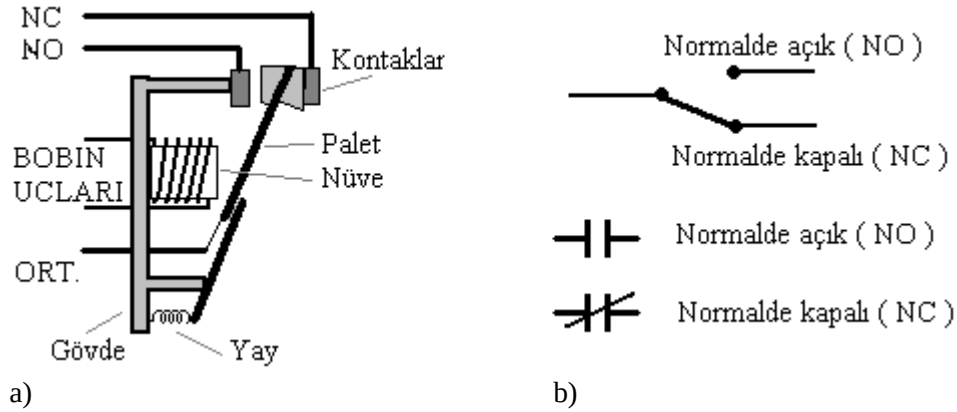
Şekil 2.4. Sabit ve Hareketli kontakların şematik resmi. 1-Hareketli, 2-Sabit kontak, 3-Kontak mesafesi

Kontaktördeki kontakların açılıp kapanması çekim kuvvetiyle ya da bir yay aracılığı ile demir nüveden uzak tutulan ve bobinin enerjilenip harekete geçen bir palet vasıtasıyla sağlanır.

2.2.2. Röleler

Küçük değerli bir akım ile yüksek güçlü bir alıcıyı çalıştırabilmek (anahtarlayabilmek) için kullanılan elemanlara röle denir. Tamamen otomatik olarak işlemeye başlayan üretim araçlarında yüzlerce tip ve modelde röle kullanılmaktadır. Tek kontaklıdan 5–10 kontaklına kadar geniş bir model yelpazesine sahip rölelerin çalışması her modelde de aynıdır.

Şekil 2.5 'de görüldüğü gibi bobin, demir nüve, palet, yay ve kontaklardan oluşan rölelerin mıknatısiyet oluşturan bobinleri 5–9–12–24–36–48 volt gibi gerilimlerde çalışacak biçimde üretilir.



Şekil 2.5. Rölenin şematik içyapısı (a), Röle kontaklarının gösterimi (b)

Röle içinde bulunan demir nüve üzerine geçirilmiş makaraya ince telden çok sipirli olarak sarılmış bobine akım uygulandığında, N-S manyetik alanı oluşur. Bu alan ise bobinin içindeki nüveyi elektromıknatıs hâline getirip, paletin kontaklarının konumunu değiştirmesini sağlar. Akım kesilince elektromıknatıslık ortadan kalkar; esnek gergi yayı, paleti geri çekerek kontakları ilk konumuna getirir.

Kontaklardan geçen akım nedeniyle birbirine temas eden yüzeyler zamanla oksitlenebilir. Kontaklardaki oksitlenmeyi en az düzeyde tutabilmek için platin ya da tungsten üzerine ince gümüş tabakasıyla kaplama yapılır. Düzgün çalışmayan bir elektronik devrede rölelerin kontaklarında oksitlenme oluşmuş ise bu istenmeyen durum su zımparasıyla giderilebilir. Düzelmeye olmazsa yeni röle kullanılır.

2.3. Elektrik Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları

Uzun bir kullanım ömrü istenen elektrik kontak malzemelerinden en iyi özelliklerin elde edilebilmesi ve en uygun verimin alınabilmesi için kullanım alanlarının iyi bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Kontak malzeme bileşimi kontakın kullanım yeri ile doğrudan ilişkilidir. Refrakter esaslı kontak malzemeleri yüksek gerilim ve yüksek akımın mevcut olduğu şartlarda emniyetli bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek akım şartlarında çalışan elektrik cihazları ise; kontaktörler, devre kesiciler, röleler ve anahtarlardır. Kontaktör, normal şartlar altında (aşırı yüklenme dışında) elektrik güç devrelerini sürekli açma ve kapama için tasarlanmış bir kontrol elemanıdır.

Kontaktörler en yüksek 3000 A ve tipik olarak 380 V şartlarında 1 milyon açma kapama yapacak şekilde dizayn edilmiştir. Devre kesiciler ise, bir çok yönden bir sigortaya benzeyen fakat çok yüksek akım aralıkları (50-20000 A) ve servis voltajlarında (3-750 kV) çalışan koruma cihazlarıdır. Bunlar; kontakların bulunduğu ortama (veya ark söndürme ortamlarına) göre gruplandırılırlar: yağlı, hava üfleli, kendinden hava üfleli, basınçlı gazlı, kükürt heksaflorürlü (SF₆), manyetik üfleli ve vakumlu devre kesiciler gibi isimler alır. Yağ, gaz veya vakum gibi koruyucu bir ortamın olduğu durumlarda Cu-W kontakları kullanılırken hava üfleli ile söndürülen kontaklarda yüksek oksidasyon direnci nedeniyle Ag-W veya Ag-WC kontakları kullanılmaktadır.

Güç devre kesicilerinde akım taşıyan kontaklar olarak 50Ag-50W bileşimindeki kontak malzemelerinin kullanımına son zamanlarda başlanmıştır. İlk olarak 85Ag-15Ni bileşimi kullanılmıştır. Ancak bu malzeme kesicinin açılması esnasında kontaklarda ark meydana geldiğinden güvenli değildir. Ag -W kompozisyonu bu şartlar altında güvenli olarak erozyona ve yapışmaya dirençlidir [19].

Röleler alçak gerilim tesislerinde kullanılan ve daha ziyade sürekli devreye girip çıkması bahis konusu olan tüketicileri kumanda etmeye yarayan bir kontrol cihazıdır. Rölelerin birçok çeşidi vardır. Genel manada üç ana gruba ayrılırlar; koruyucu röleler, motor kontrol röleleri, otomasyon ve elektrik bağlama röleleri. Röleler 2 A ile 1500 A aralığında çalışırlar.

Yüksek akım şartlarında çalışan bir diğer cihaz ise anahtarlardır. Düşük voltaj aparatı olarak bilinen anahtarlarda kontakların mekanik olarak açılıp-kapanması ile sistem çalışır. Sürekli olarak açık veya kapalı durumda, en yüksek 5000 A akımlarda ve 1500 V şartlarında emniyetli olarak çalışırlar.

Elektrik kontaklarının bileşenlerine göre kullanım alanları da farklılık göstermektedir. Büyük miktarda refrakter metal içeren kontak malzemeleri yüksek akım taşıyan devrelerde, yüksek miktarda iletken metal içeren kontaklar (Ag-Ni, Ag-Cu) ise ısınmanın olmadığı düşük voltaj ve düşük akım gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Kullanım yerine ve sekline göre kontak dizaynı ve kontak malzemesinin bileşiminin seçimi yapılmaktadır. Elektrik kontak malzemelerinin genel kullanım alanları Tablo 2.3 'de özetlenmiştir.

Tablo 2.3. Çeşitli kontak malzemelerinin kullanım alanları

Malzeme	Kullanım Alanları
Ag	Düşük akım röleleri, devre elemanları, otomobil jeneratör kontakları
Ag – W	Hava üflemeli devre kesici, kontaktörler, motor işletme anahtarı, yarı iletkenler, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler, voltaj düzenleyiciler, klima kontakları
Ag – WC	Hava üflemeli devre kesiciler, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler
Ag – Mo	Hava üflemeli devre kesiciler, kontaktörler, motor işletme anahtarı, yarı iletkenler, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler
Ag – C	Reostalar, kaygan kontaklar, röleler, devre kesiciler, kontaktörler, düşük ve yüksek akım röleleri, devre kesici ve temas etmeyen düğmeler için sürgü halkaları
Ag – Ni	Hava üflemeli devre kesici, kontaktörler, motor işletme anahtarı, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler, otomobil devreleri, uçak röleleri, buzdolabı aşırı yük düğmeleri, motor koruyucuları
Ag – Ni – C	Hava üflemeli devre kesiciler, şalterler, sürgü parçaları
Ag – Cu	Işık röleleri, elektrik fırın kontaktörleri, küçük motor koruyucuları
Ag – CdO	Motor işletme anahtarları, kontaktörler, düşük ve yüksek akım röleleri, şalterler, devre anahtarları
Cu – C	Motor işletme anahtarı, şalterler, sürgü parçaları, kontaktörler
Cu – W	Yağlı devre kesiciler, devre kesici ark uçları ve ark başlatıcıları
Cu – Cr	Vakum devre kesiciler, ark uçları ve başlatıcıları

Tablo 2.3 'de görüldüğü üzere tüm devre bağlantılarında akım ve gerilim şartlarına göre farklı kontaklar kullanılmaktadır. Düşük akım şartlarında herhangi bir ark erozyonu mevcut olmadığından saf metaller veya onların alaşımları yaygın olarak kullanılmakta iken

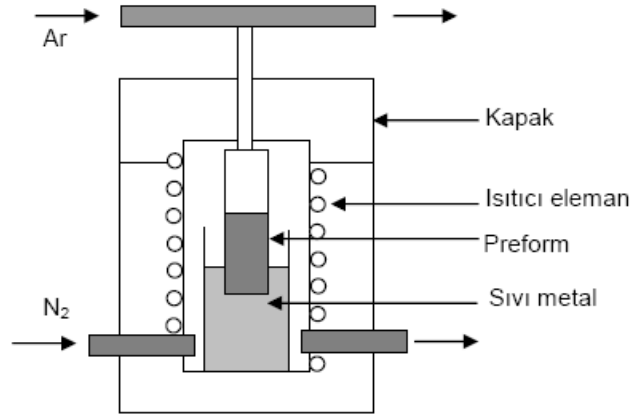
yüksek akım ve gerilim şartlarında refrakter metal içeren yüksek ergime sıcaklıklı kontaklar kullanılmaktadır. Bununla birlikte elektrik kontak malzemesinde kullanılan refrakter esaslı metalin oranına göre de kantağın kullanım yeri farklılık göstermektedir.

2.4. Elektrik Kontak Malzemelerinin Üretim Yöntemleri

Elektrik kontak malzemelerinin üretim yöntemleri üretilecek kontak malzeme bileşimine göre farklılık göstermektedir [22].

2.4.1. İnfiltrasyon Yöntemi

Yüksek ergime sıcaklıklarına sahip olan ve birbiri içerisinde çözünmeyen sistemler (W-Ag, W-Cu, Mo-Ag) bu yöntem ile üretilir. Tungsten veya Molibdenin toz iskeleti halinde belli bir kalıpta gözenekli bir yapısı olacak şekilde şekillendirilmesi, bunu takip eden sinterleme adımlarını içeren ve toz metalürjisi ile hazırlanan belirli şekildeki katı iskelete (W veya Mo) sıvı metal (Ag veya Cu) emdirilmesi işlemlerini kapsayan bir yöntemdir. Emdirme işlemi genellikle basınçla gerçekleştirilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Basınçlı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi.

Volfram-gümüş ve Volfram-bakır esaslı kontaklar için standart üretim, ya infiltrasyon ya da toz metalürjisi yöntemidir. İnfiltrasyon yöntemi; yüksek ergime sıcaklığına sahip olan refrakter esaslı metal ve karbürlerden kontak malzemelerinin yapımında kullanılmaktadır. İnfiltrasyon işleminde, mamul içerisindeki fazların nihai

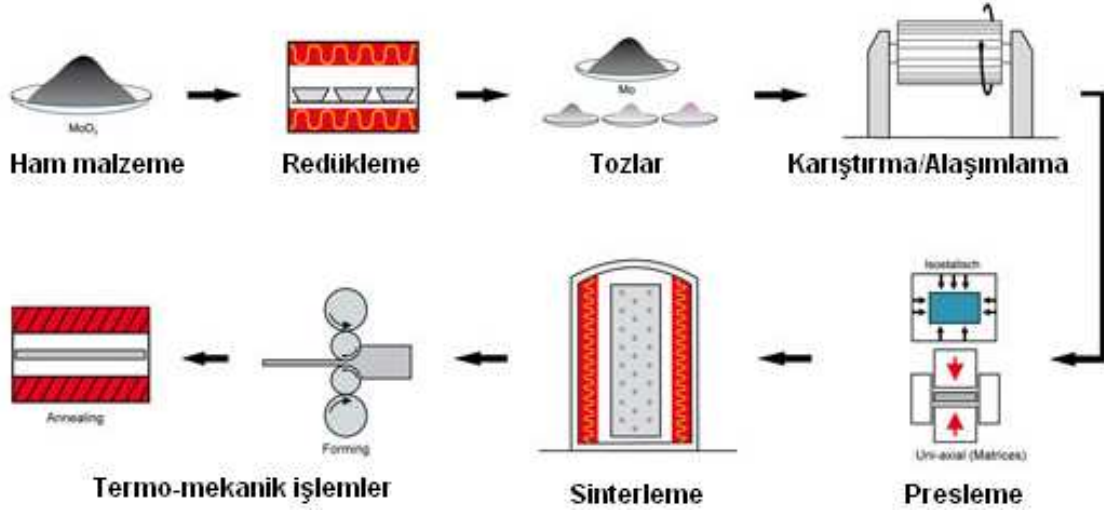
dağılımı sıvı gümüş veya bakırın emdirilmesinden önce bir volfram iskeletin imaliyle sağlanmaktadır. Bu yöntemle çok yüksek yoğunlukta mamul üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemde, mikro yapının fazla homojen olmaması ve kompozit yapıya fazla miktarda gümüş veya bakır emdirilmesi nedeniyle mikro yapıda gümüşçe zengin alanlar oluşmaktadır. Bu alanlar, kontakların açılıp kapanma işlemi esnasında akım geçişi ile ısınmakta ve oluşan ısı tesiriyle kontakların yumuşayarak birbirleri ile kaynaması (yapışması) gibi problemlere yol açmaktadır. Orta ve yüksek akım uygulamalarında bu bölgelerin olmaması gerekir. Bu nedenle yüksek homojenliğin gerekli olduğu kontak malzemelerin üretiminde toz metalürjisi yöntemi tercih edilmektedir [23].

2.4.2 Toz Metalürjisi Yöntemi

En basit sekliyle toz metalürjisi, ham kompaktlar üretmek için imal edilmiş bir kalıpta metal tozunun preslenmesinden ve sonra koruyucu atmosfere sahip bir fırında yüksek sıcaklıklarda kompaktların sinterlenmesinden (difüzyonel bağlanma) meydana gelir. Sinterleme esnasında kompaktlar gözenekliliği azalmış ve mukavemet kazanmış olurlar. Sinterlenmiş kontakların yoğunluğu yeniden preslemeyle artırılabilir. Öncelikli olarak kompaktın boyutsal kararlılığını geliştirmek için uygulanan yeniden presleme işlemine boyutlandırma adı verilir. Yeniden presleme sonrası, yeniden bir sinterleme işlemi yapılabilir. Bu yeniden sinterleme, yeniden preslemedeki plastik deformasyon nedeniyle oluşan gerilmeyi azalttığı gibi; kompaktların daha da yoğunlaşmasına imkân sağlar. Alaşım kontak malzemeleri, sinterleme esnasında difüze olan elementel veya alaşımlanmış metal toz karışımlarından oluşturulabilir. Genellikle ön alaşımlı tozlar kullanılır. Sıkıştırma bazen yapıyı meydana getiren bileşenlerden birinin sıvı olduğu (bakır-demir karışımlarında olduğu gibi) bir sıcaklıkta sinterlenmesiyle (sıvı faz sinterlemesi) artırılabilir. Şekil 2.7 ‘de toz Metalürjisi işlemlerinin genel akış şeması verilmiştir.

Sadece presleme ve sinterleme ile, %80’in üzerinde teorik yoğunluğa sahip ürünler demirde ve birçok diğer metal ve alaşımda üretilebilir. Yeniden sinterleme olsun ya da olmasın yeniden preslemeyle % 90 veya üzerinde teorik yoğunluğa sahip parçalar üretilebilir. Elde edilen yoğunluk, kompaktın boyutu ve şekliyle sınırlıdır. Demir, bakır, demir-bakır, demir-karbon, demir-bakır-karbon, pirinç, bronz, paslanmaz çelik, nikel gümüş, nikel ve alaşımları toz metalürjisi parçalar için kullanılan en yaygın malzemelerdir.

İlave olarak, metal ve metal olmayan malzeme karışımları da (refrakter oksitler gibi) çoğu uygulamalarda kullanılır [30].



Şekil 2.7. Toz Metalurjisi işlemlerinin genel akış şeması

Toz metalürjisi ile parça üretim maliyeti incelendiğinde; hurda kayıpları olmamasından, işleme ve şekil verme işlemlerinin yokluğundan kaynaklanan tasarruflar önemli ölçüdedir. Toz diğer metal ürün çeşitlerine nazaran birim ağırlık ya da hacim başına daha fazla maliyetli olmasına rağmen (metalın toza dönüştürülmesi nedeniyle), minimum atık dolayısıyla elde edilen tasarruflar tozdan yapılan parçaların maliyetinin diğerlerine nazaran daha düşük olmasına imkan sağlar. Toz metalürjisi metodunun özel öneme sahip avantajı, sıkıştırma, sinterleme ve sinter şartlarının hassas kontrolü ile nihai şekil ve boyutlarda ve başka işleme ihtiyaç duymadan malzemelerin üretilebilmesidir [22]. Tozdan parça üretimi için gerekli ekipman maliyeti, herhangi bir diğer proseste olduğu gibi, üretilen parça sayısına bölünmelidir. Bazı durumlarda, toz metalürjisiyle parça üretimi için gerekli ekipman maliyeti, diğer proseslere nazaran daha ucuzdur.

2.4.3. Yarı Katı Karıştırma Yöntemi

Bu yöntemde katı ile sıvı arasındaki sıcaklığa sahip yarı katı karıştırmak amacıyla yapılan takviye ilave tekniğidir. Alaşımın sıcaklığı sıvı sıcaklığının 30 – 50 °C üzerine çıkarılıp şiddetli şekilde karıştırılarak yarı - katı aralığına kadar soğumasına müsaade

edilir. Devam eden bu hareketlilik katılaşıp dendiritleri kırarak ince küresel parçacıklara dönüştürmekte ve yarı akışkan viskozitesindeki yükselmeye de engel olmaktadır. Karıştırma devam ederken takviye ilavesi gerçekleştirilmelidir [50].

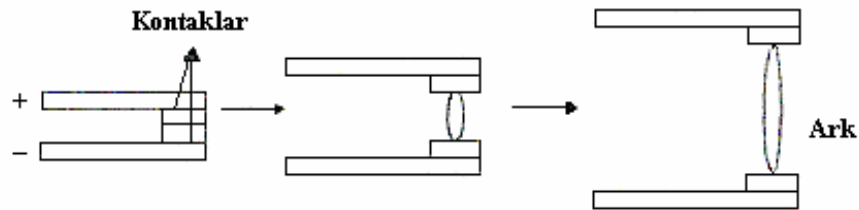
2.4.4. Döküm Yöntemi

Düşük ergime sıcaklıklarına sahip ve birbiri içerisinde çözünen sistemler (Ag, Cu, Ag-Ni), bir pota içerisinde birlikte ergitilerek kalıplara dökülmesi ve sonra istenilen yöntemle şekillendirilmesi (haddeleme, ekstrüzyon, tel çekme) adımlarından oluşan, döküm yöntemi ile üretilmektedir. Döküm yöntemi ile üretilen kontak malzemelerinde; düşük ergime sıcaklığı, birbiri içerisinde çözünme veya alaşım yapma, plastik şekillendirilebilme kabiliyeti gibi özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Döküm yöntemiyle üretilen Ag-Ni kontakları Nikel'in yüksek ergime sıcaklığı (1453°C) nedeniyle ekonomik olmadığından toz metalürjisi yöntemleri ile üretimi daha fazla yaygınlaşmıştır [23].

2.5. Elektrik Devresinde Açma Kapama Esnasında Meydana Gelen Olaylar

2.5.1. Ark Oluşumu

Elektriksel ark akım şiddeti 1A'den büyük olan ve kendi kendini besleyen bir gaz boşalmasıdır. Elektriksel arkın en büyük tanıtıcı işareti katotta yanan bir lekenin oluşumudur. Arkın şiddeti, diğer faktörlerin yanı sıra yüklem türü ve yüksekliğine, güç faktörüne ve şalt bağlantılarının ayrılma anına bağlıdır. Şekil 2.8 'de kontakların çalışması esnasında oluşan arkın şematik resmi görülmektedir.



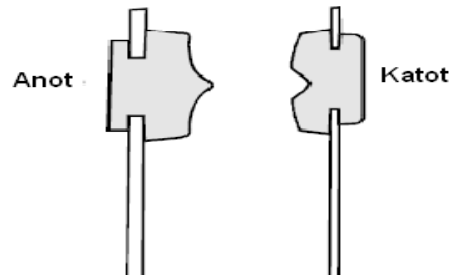
Şekil 2.8. Kontakların açılma ve kapanması sırasında ark oluşumu

Bir arkın içinde 10000 °C' den 15000 °C' ye kadar ulaşan sıcaklıklar ortaya çıkabilir. Bu durumda kontak malzemesinde buharlaşma olabilir. Ark, şalt bağlantılarının ömrünü doğrudan doğruya etkilediğinden, arkı kısa tutmak veya mümkün olduğunca hızlı bir şekilde söndürmek (deiyonizasyon) gibi tedbirlerin alınması zorunludur [25].

Kontaklar için akım yoğunluğu Denklem 2.1. 'de olduğu gibi ifade edilir. Burada J =akım yoğunluğu, I =akım ve A =temas alanını ifade eder. Bu denklemden anlaşılacağı üzere bir kontağın açılmasında temasın mevcut olduğu son anda temas yüzeyinin çok küçük olması, akım yoğunluğunu arttırarak, ark oluşumunu tetikler.

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.1)$$

Kontaklar açıldığı zaman temas noktasında yükselen sıcaklık burada bir ısı merkezi oluşturur, bu da elektron emisyonuna yol açar, kontağı ısıtır ve artan ısı ile kontakta ki metal parçacıklar erir ve kontaklar arasında köprü oluşturur. Ark ile oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle köprü metallerinin bazıları buharlaşır ve bazıları da artan sıcaklık nedeniyle kontakta sıçrayarak ayrılır. Bir kontakta ayrılan metallerden bazıları diğer kontağa yapışır ve kontak ağırlık kaybeder. Bu duruma ark erozyonu denir ve Şekil 2.9.'da şematik olarak gösterilmiştir [9].



Şekil 2.9. Röle kontağında oluşan elektrik ark erozyonunun şematik gösterimi

Bakır veya gümüş esaslı kontaklara refrakter karakterli metaller infiltrasyon metodu ile ilave edilerek kompozit malzeme elde edilir. Böylece tek bir malzemede elektrik iletkenliği ile aşınmaya ve ark erozyonuna direnç birleştirilebilir [26]. Çok ince toz boyutu sebebiyle ve atomik seviyede bir homojenliğe sahip olan kontak malzemeleri geniş gümüş segregasyonlarından, arındırılmış olacağından ark esnasında oluşan ısı volfram tanecikleri tarafından absorbe edilir ve gümüşün yüksek ısı iletkenliği sayesinde ortaya çıkan bu ısı

kontak yüzeyi boyunca dağıtılarak kontakın aşırı ısınması önlenir. Dolayısıyla volfram metalinin oksitlenerek kontak ömrünün azalması da önlenir [27]. Sabit kontak ebatları için verilen, uygulanan gerilime göre kritik ark akımlarının değişimi Tablo 2.4 ‘de verilmiştir.

Tablo 2.4. Çeşitli metaller için kritik ark akımları (Amper) [23]

Malzeme	25 Volt	50 Volt	110 Volt	220 Volt
Grafit	-	5	0,7	0,1
Bakır	-	1,3	0,9	0,5
Molibden	18	3	2	1,0
Nikel	-	1,2	1,0	0,7
Kurşun	7,5	3	0,85	0,7
Gümüş	1,7	1	0,6	0,25
Volfram	12,5	4	1,8	1,4
Pirinç	-	0,7	0,4	0,3

Elektrik kontaklarının seçiminde sadece malzeme karakteristikleri seçici değildir. Kontak malzemelerin kullanım şartları da kontak seçiminde etkilidir. Bu etkiye Holm etkisi denir ve Denklem 2.2. ‘de gösterilmiştir [28]. Malzeme sertliğinin (H), sadece mekanik aşınmayı değil aynı zamanda ark ile malzeme taşınımını da (ark erozyonu) etkilediği eşitlikten anlaşılmaktadır.

$$G = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{I_0 U_0 V_A^2 E}{V \sqrt{H}} \quad (2.2)$$

Denklemden, G taşınan metal miktarını (gr), I_0 ark akımını (A), U_0 karakteristik ark voltajını (V), E elektromotor kuvvetini (V), V kontak kapama hızını (cm/s), V_A atom hacmini, Brinel sertliğini temsil ederken K_1 ve K_2 ise sabitlerdir.

Denklem 2.2 ‘de görüldüğü gibi malzeme karakteristikleri yanında ark oluşumu için gerekli kritik ark voltajı ve ark akımı (10-20 V ve 0,2-2 A doğru akım şartları) gibi elektriksel karakteristikler de ark erozyonunda etkilidir. Bu değerlerin altında ark oluşmadan devre açılıp kapanabilir. Kontak yüzey alanı büyütülerek bu kritik akım yoğunlukları azaltılabilir. Bu durumda kontak dizaynında değişiklikler yapılması gerekir

ve ilave maliyet getirir. Bu nedenle kontak ebatlarından ziyade kontak bileşimlerinin değişimiyle daha yüksek ark akımlarına dayanan kontaklar geliştirilebilir [23].

2.5.2. Kaynak Oluşumu

Kontak yüzeylerindeki bölgesel ergimelerin doğal bir sonucu olarak kontaklarda kaynak oluşumu gözlenir. Kullanım esnasında kontakların birbirine kaynak olması önemli bir kontak problemini meydana getirir. Çünkü kalıcı kaynak olayı ile meydana gelen sürekli bir elektrik devresi sisteme önemli zararlar verebilir. Bölgesel ergimeler nedeniyle meydana gelen ergimiş metaller, kontaklar kapalı iken katılaşır. Normal durumda kontakları açan mekanik kuvvetler oluşan kaynağı kıramıyor ise kontaklar birbirine kaynak olmuş şekilde kalır. Bölgesel ergimeler iki türlü meydana gelir:

1. Düşük voltaj uygulanması sırasında oluşan direnç sonucu açığa çıkan ısı nedeniyle bölgesel erimeler olabilir.
2. Kontakların kapanması sırasında oluşan ark nedeniyle bölgesel erimeler olabilir [7].

Kontak çiftini açıp – kapamak için kontak çiftlerine her zaman mekanik yük uygulanır. Uygulanan bu yük sayesinde kontak yüzeyleri arasında temas sağlanır. Bu temas bölgeleri vasıtasıyla akım taşınır ve yüksek yoğunluklu akım bölgeleri oluşturur. Isı bu alanlarda oluşur ve eğer yeteri kadar yükselirse, iki kontak noktası beraber kaynayabilir.

Diğer bir tür kaynama ise kontakların kapanmasıyla ortaya çıkar. Kapanma sırasında hareket eden kontağın devreyi açması sırasında üretilen ark her iki kontağın küçük bölümlerini eritir. Kontakın kapanması sırasında eriyen metalin katılaşması kontak çiftini kaynatır. Bazen kaynak gerilimi kontaktörün veya rölenin açma kuvvetini geçer. Şayet sistemde herhangi bir koruma önlemi alınmamışsa sonuç bütün elektrik sisteminin ölümcül bozulması olur, çünkü kontaklar açma emrini yerine getiremezler ve bu acil durum önlenemez hal alır [9].

2.5.3. Köprü Oluşumu

Kontak çiftleri açıldığı zaman, kontak alanı, kontak basıncındaki azalmadan dolayı yavaş yavaş azalır. Sürekli açma faaliyeti kontak alanlarının azalmasına sebep olur. Kontak metallerinin sürekli açılması eriyen metallerin akım taşıyan köprü biçimine gelmesine

neden olur. Erimiş köprünün sıcaklığı kontak noktaları ayrıldıkça yükselmeye devam eder. Metali eritecek ve devreyi kesecek duruma gelinceye kadar yükselebilir. Kontak çiftlerinin açılması durumundaki köprü durumu hafifçe kontak yüzeylerine zarar verir ve köprü malzemesini eritir. Bu genelde bir kontak yüzeyinde çukurlaşma, diğerinde tepeleşme şeklinde olur. Düzgün olmayan sürekli metal transferi kontaklardan birini bitirir. Daha sonra sürekli köprü biçiminden oluşan yüzey sertliği kontak çiftlerini kilitler ve mekanik ayrılmalarını etkiler [28].

2.5.4. Elektrik Kontak Malzemeleri İçin Gerekli Özellikler

Malzeme seçiminde; çalışma ömür ve maliyet gibi önemli kalite bileşenlerini tehlikeye atmadan yeterli özellikleri sağlayacak bir kombinasyona erişmek gereklidir. En önemli özellikler aşağıdaki listede belirtilmiştir.

- Elektriksel iletkenlik: Kontak çiftleri arasındaki elektrik iletkenliği sınırlı bir alana bağlı olduğundan, yüksek elektriksel iletkenlik bu alanlardaki yüksek akım yoğunluğu tarafından oluşturulan ısı miktarının azalması anlamına gelir.
- Isısal Özellikler: Yüksek ergime ve kaynama noktası, yüksek ark ısısından kaynaklanan ergime kaybı azaltır. Yüksek ısı iletkenliği, ark ısısının hızlı dağılmasını sağlar ve ark zamanlarını azaltır.
- Kimyasal özellikler: Kontak malzemesi erozyona dirençli olmalıdır. Böylece yalıtkan filmler (oksitler ya da diğer bileşikler) kontaklar zor şartlarda çalıştığı zaman kolayca meydana gelmezler.
- Mekanik Özellikler: Kontak çiftine uygulanan ana kuvvet, kapama sırasında sabit kontak ile hareket eden kontaklar arasında bağıl hareket meydana getirir. Bazı cihazlarda; örneğin, bilinen röle tiplerinde, kayma hareketi, oluşan oksit filmlerini kaldırmak için tasarlanmıştır. Ancak kayma yüzeylerindeki sürtünme, sürekli açılma ve kapanma yüzünden kontakların aşınmasına neden olur. Genelde sert metaller aşınmaya daha dirençlidir. Ancak sert metaller sıklıkla yüksek kontak direncine ve düşük termal iletkenliğe sahiptir. Bu özelliklerin ikisi de kontak kaynamasına büyük katkıda bulunurlar. Ancak sert malzemeler ayrıca elektriksel kontak uygulamalarında bir avantaj olabilecek yüksek gerilime sahiptir [9].

3. SİNERLEME

Ön şekil verilmiş tozların belirli bir sıcaklıkta ve sürede birbirlerine bağlanması ve rijit bir kütleye dönüştürülmesi işlemine sinterleme denir. Başka bir ifadeyle sinterleme, toz halindeki malzemenin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılarak tozların birbirlerine değdikleri noktalardan başlayarak kaynaşmasıdır. Ön şekil verilmiş ham tozlardaki bağlanma, sabit bir basınç altında tozların belli bir kalıp içerisinde sıkıştırılması sonucunda oluşan mekanik bir tutunmadır. Bu bağlanma biçimi ilerleyen sinterleme sonrasındaki bağlanma biçimine göre çok daha zayıftır. Yeterli derecede dayanıma sahip preslenmiş ve ön sinterlenmiş numunelerin istenilen yoğunluğa ve mukavemete ulaşabilmeleri için sinterlenmeleri gerekir. Yoğunluktaki gerçek artış ve mikroyapısal gelişim bu aşamada oluşur ve ürünün sonuç özellikleri üzerinde bu aşamanın çok büyük etkisi vardır. [15]. Moleküler çekim kuvvetleriyle partikül kabuğunda oluşan yüzey geriliminin, sıcaklıkla azaltılıp birbirine kaynaşması, bu yönüyle eriterek kaynaşmadan çok farklılık gösterir.

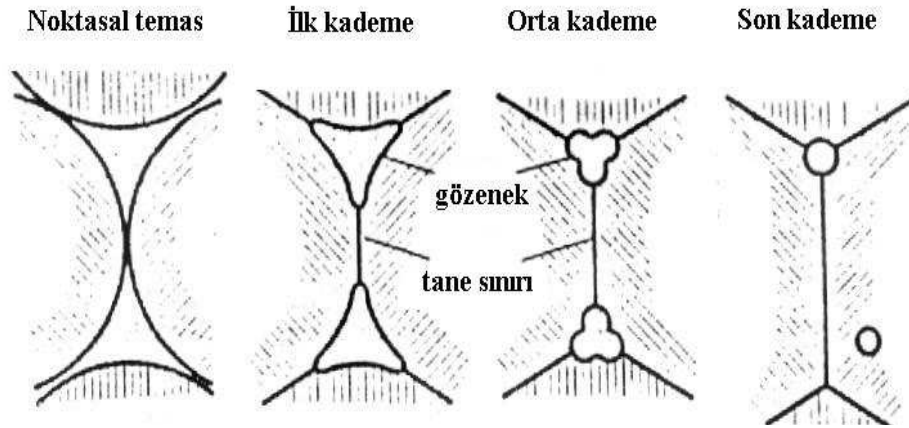
Sinterleme işleminde, diğer işlemlerin aksine çeşitli işlem basamakları ve değişkenler dikkate alınmalıdır. Örneğin, üretilmesi düşünülen ürünün şekil ve özelliklerine göre, şekillendirme basamağında basit kalıpta presleme, izostatik presleme, enjeksiyon kalıplama v.s teknikler kullanılabilir. Sinterleme basamağında da mikroyapı ve özellikleri etkileyen çeşitli değişkenler vardır.

Sinterleme ile seri üretim yapmak ve değişkenlerin kontrolü ile mikro yapıyı değiştirmek hedeflenir. Mikroyapısal kontrolden kasıt tane büyüklüğünün, sinterlenmiş yoğunluğun ve diğer fazları kapsayan gözeneklerin dağılım ve boyutunun kontrolü anlamına gelmektedir [16].

3.1 Sinterleme Mekanizmaları

Sinterleme, preslenerek şekillendirilmiş malzemelere istenilen mukavemet ve özellikleri kazandırmak için yüksek sıcaklıkta ve indirgeyici atmosferde yapılan işlemdir. Bu işlem sırasında toz taneleri birbirleri ile yüksek sıcaklıkta bağ yaparak parça mukavemet kazanır, taneler büyür, taneler arası gözenekler azalır, parçada boyutsal küçülmeler meydana gelir ve parçanın bulk yoğunluğu artar. Sinterleme sırasında meydana

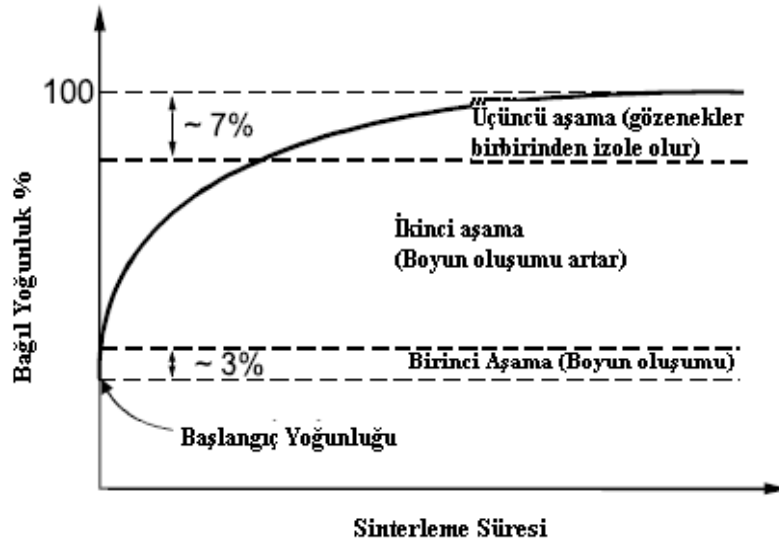
gelen değişimler, Şekil 3.1 'de gösterilmektedir. Sinterleme prosesi, 3 kademedede gerçekleşmektedir. İlk kademedede, partiküllerin temas noktalarında boyun oluşumu gerçekleşir. Boyun oluşumundan sonra yapıdaki gözenekler arasında etkileşim olur. Bu da ara kademenin gerçekleşmesine olanak sağlar. Ara kademedede sinterleme hızı sürekli bir şekilde azalmaktadır. Sinterleme sırasındaki tane büyümesi gözeneklerin bir araya gelip küreselleşmesi sırasında meydana gelir. Son kademedede ise, küresel gözeneklerin tane sınırlarına difüzyonu söz konusudur [17]. Sıvı faz sinterlemesi esnasında çok karmaşık olaylar meydana geldiğinden, sinterleme mekanizmalarının katı hal sinterlemesi ile anlaşılması daha kolaydır.



Şekil 3.1. Sinterleme sırasında meydana gelen değişimler

3.1.2 Katı Hal Sinterlemesi

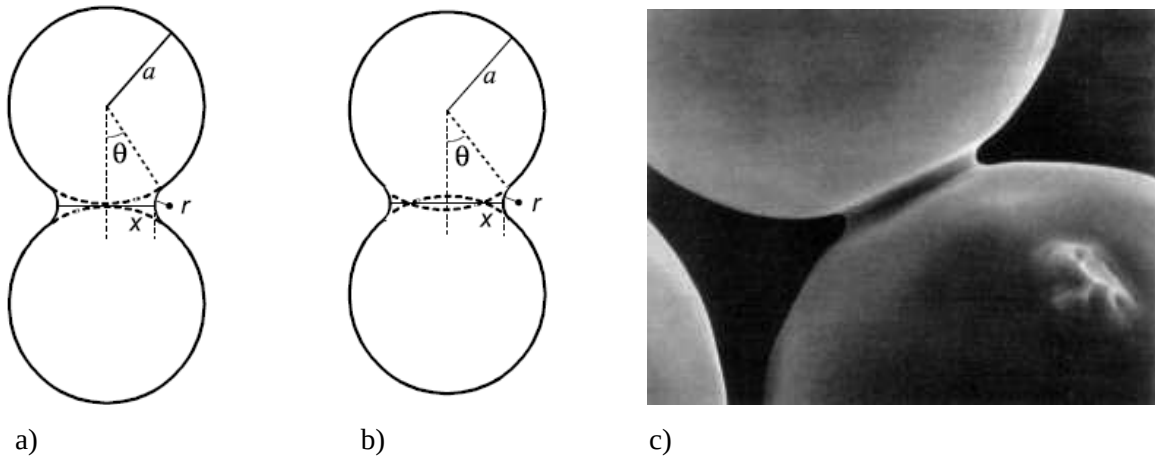
Katı hal sinterlemesi genellikle birinci, ikinci ve üçüncü olmak üzere üç aşamada incelenir. Bu aşamalara bağlı olarak yoğunluğun değişimi şematik olarak Şekil 3.2 'de verilmiştir [16]. Birinci aşama iki partikül arasında boyun oluşumu ile karakterize edilir ve bu durumda toz parçacıklarının merkezleri birbirine çok küçük bir miktarda yaklaşarak malzemede yaklaşık %2-3 yoğunluk artışı olur. İkinci aşamada yoğunluk artışı %93'ün üzerindedir. Bu aşamada gözeneklerin bir biri ile bağlantısı kesilir ve her bir gözenek küresel şekil alır. Malzeme teorik yoğunluğuna yaklaşılır. Üçüncü aşamada ise kapalı gözenek oranı hızla azalır ve gözeneklerdeki gaz difüze olup yapıdan uzaklaşır. Böylece teorik yoğunluğa ulaşılır.



Şekil 3.2. Üç sinterleme aşamasına bağlı yoğunlaşma eğrisinin şematik gösterimi

3.1.2.1 Boyun Büyümesi ve Şekillenmesi

Şekil 3.3 (a) 'da büzülme göstermeyen ve (b) 'de büzülme gösteren boyun oluşumu görülmektedir. Şekil 3.3 (a) 'da parçacıklar arasındaki mesafe değişmeden sinterleme zamanına bağlı olarak boyunun boyutu artar. Şekil 3.3 (b) 'de ise yine boyunun boyutu sinterleme zamanına bağlı olarak artar fakat parçacıklar arasında malzeme taşınımı sonucu büzülme meydana gelir.

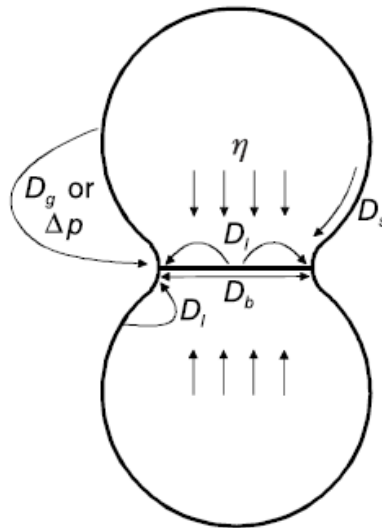


Şekil 3.3. Sinterlemenin birinci aşamasında oluşan boyunun küresel iki parçacıklı modeli. (a) Büzülmesiz, (b) Büzülmeli, (c) Boyun oluşumunun mikro görüntüsü

3.1.2.2 Kütle Transferi

Sinterleme sırasında meydana gelen boyutsal değişimler (çekilme veya şişme), gözeneklerin şekil ve boyut değişimi, tane büyümesi gibi olaylar yapı içinde sıcaklıkla aktive edilen atomsal taşınım mekanizmasıyla gerçekleşir. Atomal taşınımın en önemli mekanizma difüzyon taşınımıdır. Hacim ve yüzey difüzyonu olmak üzere iki tür difüzyon mekanizması vardır. Sinterlemeyi kontrol eden yüzey difüzyonu tane yüzeyinden kütle akışı meydana getirir. Yaygın sinterleme özelliklerinin yüzey difüzyonu ile geliştirilmesine rağmen boyutsal değişim olmaz ve yoğunluk sabit kalır. Sinterlemeyi kontrol eden yüzey taşınımı sırasında yüzey difüzyonu ve buharlaşma-yoğunlaşma en önemli iki yardımcıdır. Yüzey difüzyonu neticesinde hacimsel büyüme meydana gelmezken, hacim difüzyonu boyutsal büyümeye neden olur. Hacim difüzyonu mekanizması; hacim difüzyonu, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve viskoz akışı kapsamaktadır. Plastik akışın önemsiz olduğu düşünülmektedir. Viskoz akış ise bir taşınım mekanizması olmasına rağmen kristalin yapıli malzemelerde pek görülmez. Genellikle hacim difüzyonu sinterlemenin sonlarına doğru daha aktifleşmektedir [18].

Sinterlemenin başlangıç aşamasında atomal taşınım değişik şekillerde meydana gelir. Muhtemel taşınım yolları Şekil 3.4 'de görülmektedir. Bu taşınım yollarının hangileri olduğu da Tablo 3.1'de özetlenmiştir. Burada, iki küresel partikül modellenerek, kesit üzerinde boyun oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Sinterleme esnasında malzeme taşınım yolları [16]

Tablo 3.1. Sinterleme esnasında malzeme taşınım yolları [16]

Malzeme taşınım mekanizması	Malzeme Kaynağı	Hareket noktası	Parametre
1. Kafes difüzyonu	Tane sınırı	Boyun	Kafes difüzyonu, D_l
2. Tane sınırı difüzyonu	Tane sınırı	Boyun	Tane sınırı difüzyonu, D_b
3. Vizkoz akış	Tane hacmi	Boyun	Akıcılık, η
4. Yüzey difüzyonu	Tane yüzeyi	Boyun	Yüzey difüzyonu, D_s
5. Gaz fazı taşınımı 5.1 Buharlaşma/ yoğunlaşma 5.2 Gaz difüzyonu	Tane yüzeyi Tane yüzeyi	Boyun Boyun	Buhar basıncı farkı, Δp Gaz difüzitesi, D_g

Boyun bölgesinin büyümesi ve bunun sonucu tanecikler arası temasın artması bölgeye malzeme transferi ile olur. Boyun bölgesine malzeme transferi, yüzeyden buharlaşan gazın boyun bölgesinde yoğunlaşması, hacim ve yüzey difüzyonu, plastik akma ile meydana gelir. Kristal yapıli katılarda dislokasyonların hareketi ile (dislokasyon tırmanması) meydana gelen plastik akmanın taşınımına olan etkisi yüksek değildir.

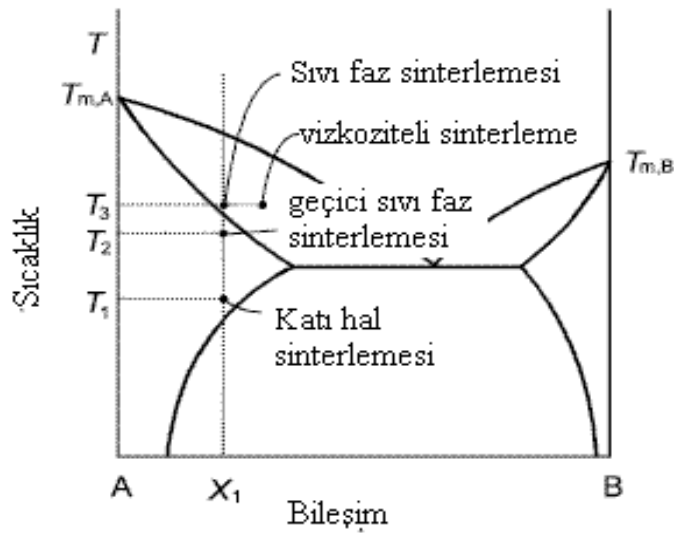
3.2. Sinterleme Türleri

Sinterleme işlemi en kaba hatlarıyla "Katı hal sinterlemesi" ve "Sıvı faz sinterlemesi" şeklinde sınıflandırılabilir. Bu sinterleme mekanizmalarının hapsinde metal taşınım mekanizmaları farklılık gösterir. Tek fazlı metal tozlarından oluşan kompaktlar sinterlendiğinde olası metal taşınım mekanizmaları tanımlanabilir. Fakat temelde iki farklı süreçten oluşan sıvı faz sinterlemesinde bu metal taşınım mekanizmalarını tanımlamak daha zordur. Sıvı faz sinterlemesinde iki farklı süreçten birinde, kompaktlar sinterleme sıcaklığındayken bütün işlem süresince sıvı faz vardır [18].

Tek bileşik sistemin sinterleme sıcaklığı ergime noktasının veya katılaşma sıcaklığının Kelvin cinsinden değerinin 2/3-4/5'i kadardır. Çok bileşikli toz karışımlarda ise sinterleme sıcaklığı genellikle en düşük ergime noktasına sahip bileşiğin ergime noktasının hemen altında veya civarında seçilir [18]. Demir grubu metal alaşımları 1000-

1300 °C, sert alaşımlar 1400-1600 °C arasında, refrakter metaller (molibden, tantal, volfram) 2000 °C ile 2900 °C arasında sinterlenirler. Gözenekli bronzlar ve bronz alaşımları 600° - 800 °C arasında sinterlenirler.

Sıvı faz ve katı faz sinterlemesine ek olarak geçici sıvı faz sinterlemesi ve viskoz akışlı sıvı faz sinterlemesi de vardır. Şekil 3.5 'de görüldüğü gibi viskoz akışlı sıvı faz sinterlemesi sıvı oranı önemli derecede yüksek olduğu zaman meydana gelir. Böylece kompaktların tam yoğunlaşması sağlanmış olur. Geçici sıvı faz sinterlemesi ise sıvı ve katı faz sinterlemenin bir bileşimi şeklindedir. Bu teknikte sinterleme esnasında kompaktta ilkin bir sıvı faz oluşur fakat sinterleme devam ederken bir müddet sonra sıvı faz yok olur ve sinterleme katı halde tamamlanır. Örneğin Şekil 3.5 'de geçici sıvı faz sinterleme noktası tespit edilebilir. Buna göre A-B toz kompaktını X_1 kompozisyonunda ötektik sıcaklığın üzerinde fakat katı çizgisinin altında (Örneğin: T_2 sıcaklığında) sinterlersek geçici sıvı faz sinterlemesi yapmış oluruz. Çünkü sinterleme sıcaklığının ötektik noktanın üzerinde olması nedeniyle A ve B tozları arasında reaksiyon boyunca bir müddet sıvı faz oluşur. Ancak bu sıvı faz sinterleme devam ettikçe kaybolur ve sadece katı faz kalır. Çünkü sinterleme sıcaklığı katı çizgisinin altında seçilmiştir [16].



Şekil 3.5. Sinterleme türleri [16]

Sinterlemeyi gerçekleştiren itici güç, sistemin iç enerjisindeki azalmadır. Bu azalmayı sağlayan etkenler; partikül temas alanlarının büyümesinden dolayı yüzey alanının azalması, gözenek hacmindeki azalma veya gözeneklerin küreselleşmesi, çok bileşenli

sistemlerde katı fazın sıvı faz içerisindeki çözünmesi ile oluşan konsantrasyon farklılığının giderilmesi gibi etkenlerdir. Sinterlenme tiplerinden biri olan katı hal sinterlemesinde; metal partiküllerinin aralarına metalurjik bağ oluşturmaları, değişik yollarla atomsal taşınım, kompaktın yoğunluk kazanması gibi temel safhalardan söz edilebilir. Partiküller arasında sıkı bir metalurjik bağın oluşması, başlangıç toz özellikleri ve presleme basıncına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Esas mukavemet artırıcı safha ise atomsal taşınım mekanizmalarıyla partiküller içi bölgelerden boyun bölgesine taşınan metal transferi ile gerçekleşir. Son aşama olarak ise yüksek seviyede taşınım ve mevcut gözeneklerin kısmen kaybolması veya küreselleşmesiyle gerçekleşmektedir [15].

Sıvı faz sinterlemesinde ise sinterleme işleminde oluşan sıvı fazın varlığına bağlı iki farklı süreç halinde tanımlanır. Bunlardan ilki, sıvı fazın ısıtma aşamasında oluştuktan sonra iç yayınma ile katı ergiye geçerek yok olduğu geçici sıvı faz sinterlemesi, ikincisi ise sıvı fazın sinterleme sıcaklığında sürekli olarak var olduğu sürekli sıvı faz sinterlemesidir. Geçici sıvı faz sinterlemesinde sinterleme sıcaklığında oluşan sıvı faz iç yayınmayla katı ergiye geçerek yok olur ve sonuçta homojen bir katı ergiyik ve iki veya daha fazla katı fazdan oluşan heterojen bir alaşım oluşur. Bu tip sinterleme pratiklerine örnek olarak %90Cu-%10 Sn bileşimine sahip kendinden yağlamalı yataklar, değişik miktarlardaki Fe-Cu sistemleri verilebilir. Diğer bir sinterleme mekanizması olan sürekli sıvı faz sinterlemesinde ise sinterleme sıcaklığında oluşan sıvı faz tüm sinterleme süresi boyunca mevcudiyetini korur. Özellikle ergime sıcaklığı yüksek olan tungsten gibi refrakter metallerin saf halde sinterlenmelerinin zorluğu nedeniyle, ilk çalışmalar 1950'lerde gerçekleştirilmiştir. Tungstenin yanı sıra demir esaslı parçaların sinterlenmesi de bu sinterleme mekanizmasının kullanılması mümkündür. Sisteme katılan düşük miktardaki, düşük ergime sıcaklığına sahip metaller sinterleme esnasında sıvı faza geçerler. Oluşan sıvı faz içerisinde çözünen ufak katı parçacıklar daha büyük katı parçacıklar üzerinde çökerek hızlı şekilde yoğunlaşma gerçekleşir. Buradaki sıvı faz bir nevi taşıyıcılık görevi üstlenir [15].

3.3 Sinterleme Değişkenleri

Sinterlenebilirliği ve sinterlenmiş ürünün mikroyapısını etkileyen ana değişkenler; malzeme değişkenleri ve işlem değişkenleri olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir (Tablo 3.2). Tozun kimyasal kompozisyonu, toz boyutu, toz şekli, boyut dağılımı v.s malzeme

değişkenleri ile ilgilidir. Bu değişkenler tozun sinterlenebilirliğini etkiler. Özellikle iki veya daha fazla tozun kullanıldığı sistemlerde tozun homojen dağılımı çok önemlidir. Homojenliği sağlamak için bazı durumlarda sadece mekanik karıştırma yeterli gelmemekte ve sol-jel yöntemi gibi kimyasal işlemlerde uygulanmaktadır. Sıcaklık, zaman, basınç, ısıtma ve soğutma oranı gibi sinterleme şartları ile ilgili olan değişkenler termodinamik değişkenlerdir.

Tablo 3.2. Sinterlenebilirliği ve mikroyapıyı etkileyen değişkenler [16]

Malzeme ile ilgili değişkenler	Toz: Şekil, boyut, boyut dağılımı, karıştırılabilirlik v.s Kimyasal: Kompozisyon, safiyet, çözünübilirlik, homojenlik, v.s
Sinterleme Şartları ile ilgili değişkenler	Sıcaklık, zaman, basınç, atmosfer, ısıtma ve soğutma oranı, v.s.

4. DENEYSEL İŞLEMLER

Bakır (Cu) yüksek iletkenliği sayesinde elektrik kontak malzemesi olarak kullanılmaya uygundur. Fakat mekanik özelliklerinin; özellikle de sertliğinin düşük olması nedeniyle kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Bu durum elektrik kontak endüstrisinde kullanılacak Cu için uygulama alanına göre katı eriyik veya oksit mukavemetlendirmesi işlemlerini zorunlu kılmaktadır [9].

Diğer yandan oldukça ucuz olan ve ülkemizde de bol miktarda bulunan Bor Oksit (B_2O_3) 'in oksit çözme yeteneği olduğu bilinmektedir. Bu yeteneği sayesinde özellikle sert metal lehimleme endüstrisinde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Örneğin; doğal taş kesici takımların elmaslı soketleri testere gövdesine lehimlenmeden önce yüzeylere sıvı haldeki B_2O_3 tatbik edilmektedir. Bu sebeple B_2O_3 'ün elektrik kontak malzemesi yüzeyindeki ark oluşumu sebebiyle meydana gelen oksitleri çözmesi ve kontak özelliklerini olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir.

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Üretimi

Bu çalışmada toz metalurjisi ve sıcak presleme yöntemi ile Cu- B_2O_3 bileşiminde kontak malzemeleri üretilmiş ve B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak mikroyapı, mekanik, iletkenlik ve kontak ömrü özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Öncelikle katkısız olarak saf bakır tozlarından referans malzemesi üretilmiş ve daha sonra bu referans malzemeye belirli ağırlık oranlarında B_2O_3 tozları katılarak deney numuneleri üretilmiştir.

4.1.2 Kullanılan Tozlar ve Özellikleri

Kontak malzemelerinin üretiminde kullanılan tozlar piyasadan hazır olarak temin edilmiştir. Bunlardan Cu tozları Alman Merck firmasından temin edilmiş olup tane boyutu $40\mu m$ dir. Eti Maden İşletmeleri'nden temin edilen ve tane iriliği çok fazla olan B_2O_3 tozları havanda dövülerek daha küçük taneli toz haline getirilmiş ve daha sonra $250\mu m$ 'lik elekten elenerek, elek altı tozlar kontak malzemesi üretiminde kullanılmıştır.

4.1.3. Toz Karışımlarının Hazırlanması

Toz karışımları Şekil 4.1'deki Scaltec marka 0,0001 gr hassasiyetteki terazide tartılarak Tablo 4.1'de verilen bileşimde hazırlanmışlardır.



Şekil 4.1. Numune bileşimlerinin hazırlanmasında kullanılan hassas terazi

Tablo 4.1. Üretilen deney numunelerinin toz bileşimleri

Numune Numarası	Numune Adı	% Ağırlıkça Toz Miktarı		Karıştırma Süresi (dak)	Siterleme Sıcaklığı (°C)	Karıştırma hızı (dev/dak)
		Cu	B ₂ O ₃			
Ref	NR	100	-	50	850	20
I	N1	99	1			
II	N2	97	3			
III	N3	95	5			
IV	N4	93	7			

Daha sonra belirli ağırlık oranlarında hazırlanan bu tozları karıştırma işlemi için Şekil 4.2'de görülen 88-tipi, kapalı toz hazneli, iki kg toz kapasiteli, üç boyutlu dönebilen bir mikser kullanılmıştır [41].



a)



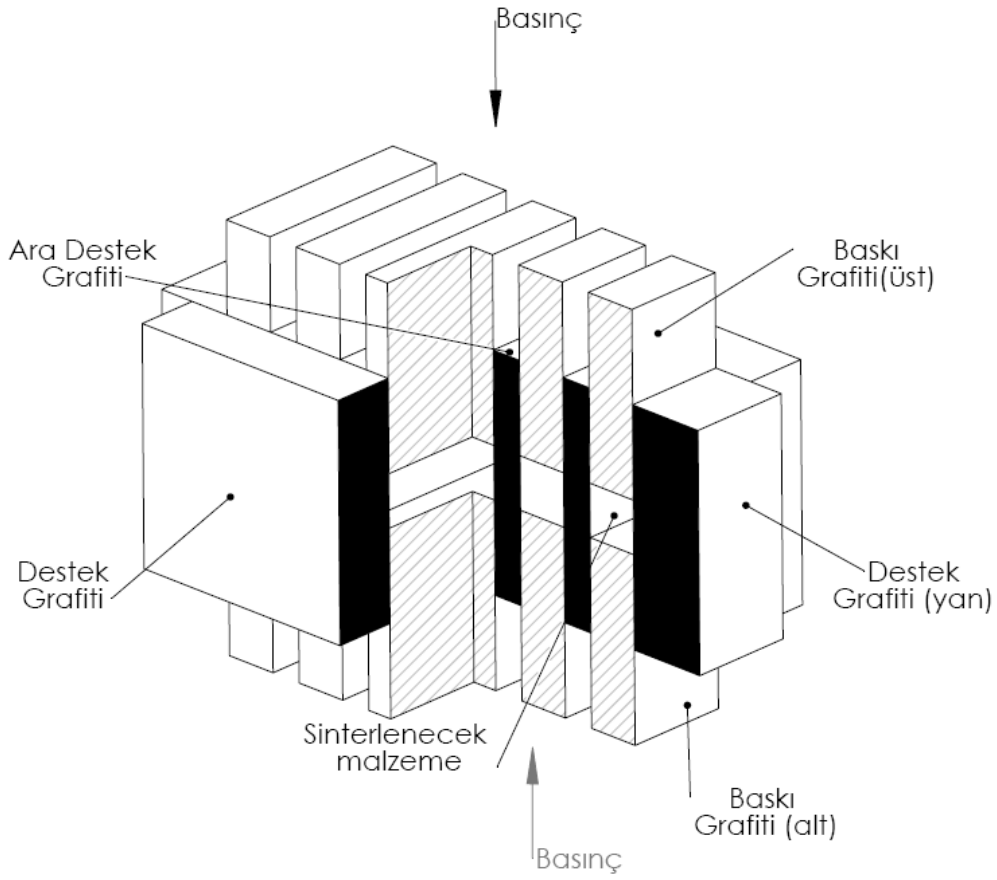
b)

Şekil 4.2. Numunelerin üretiminde kullanılan 88-tipi mikser, (a) önden görünüş, (b) yandan görünüş

Numunelerin üretiminde kullanılan 88-tipi mikserin toz haznesi özellikle kapalı tipte olup toz içine konulduktan sonra dış ortam ile tozların ilişkisini kesmek amacıyla kapağı sıkıca kapatılmaktadır. Mikser çalıştırıldıktan sonra tozun iyice karışabilmesi için toz haznesi 360° 'lik turlarla her yöne dönebilmekte ve böylece tozların birbiriyle iyice karışması sağlanmaktadır. Karıştırma işlemi için tozlar belirtilen ağırlık oranlarında mikser haznesine şarj edilmiş ve hava almayacak şekilde kapağı kapatılmıştır. Böylece mikser çalıştırılmış ve yaklaşık 20 dakika boyunca, 20 dev/dak hızda tozlar karıştırılmıştır. Daha sonra mikser durdurularak toz haznesinin kapağı açılmış ve hazneye toz ağırlığının yaklaşık %1 'i kadar polietilen glikol ile birlikte 5 mm çapında krom kaplı bilyeler ilave edilmiş ve mikser tekrar çalıştırılarak 30 dakika daha karıştırma işlemi devam etmiştir. Polietilen glikol ilave edilmesinin nedeni granülleşmeyi sağlamak ve daha homojen bir karışım elde etmektir. Bilyeler ise karışma esnasında tozların topaklaşmasını önlemek için katılmıştır. Karıştırma işleminden önce tüm mikser haznesi ve çelik bilyeler alkol ile yıkanmıştır. Karıştırma işlemi bittikten sonra hazırlanan karışım oksitlenmeyi önlemek amacıyla hava almayan kilitli plastik torbalara bırakılarak korunmaya alınmıştır.

4.1.4. Tozların Kalıplanması

Karıştırma işleminden sonra tozlar grafit plakalar yardımı ile kalıplanmıştır. Bunun için grafit plakalar çelik çekirdek yardımıyla Şekil 4.3 deki gibi dizilerek sıcak presleme kalıpları elde edilmiştir. Bu kalıp baskı grafiti, ara destek grafiti, yan destek grafiti parçalarından meydana gelmiştir.

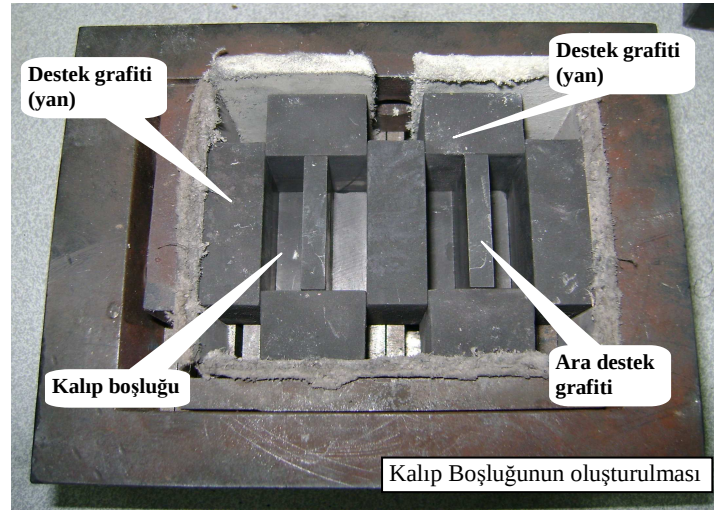


Şekil 4.3. Sıcak pres kalıbı [41]

Grafit kalıp kullanılmasının en önemli sebebi grafitin yüksek sıcaklıklarda dahi mukavemetini koruyabilmesidir. Çalışmada sinterleme işlemini basınç altında yapacağımız için grafit kalıp kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Şekil 4.4 a, b ve c’de sıcak presleme için grafit kalıpların hazırlanış basamakları görülmektedir. Tek kalıpta dört numune elde edilecek şekilde kalıp tasarımı yapılmış ve böylece her seriden dört numune elde edilecek şekilde kalıplama işlemi gerçekleştirilmiştir.



a)



b)



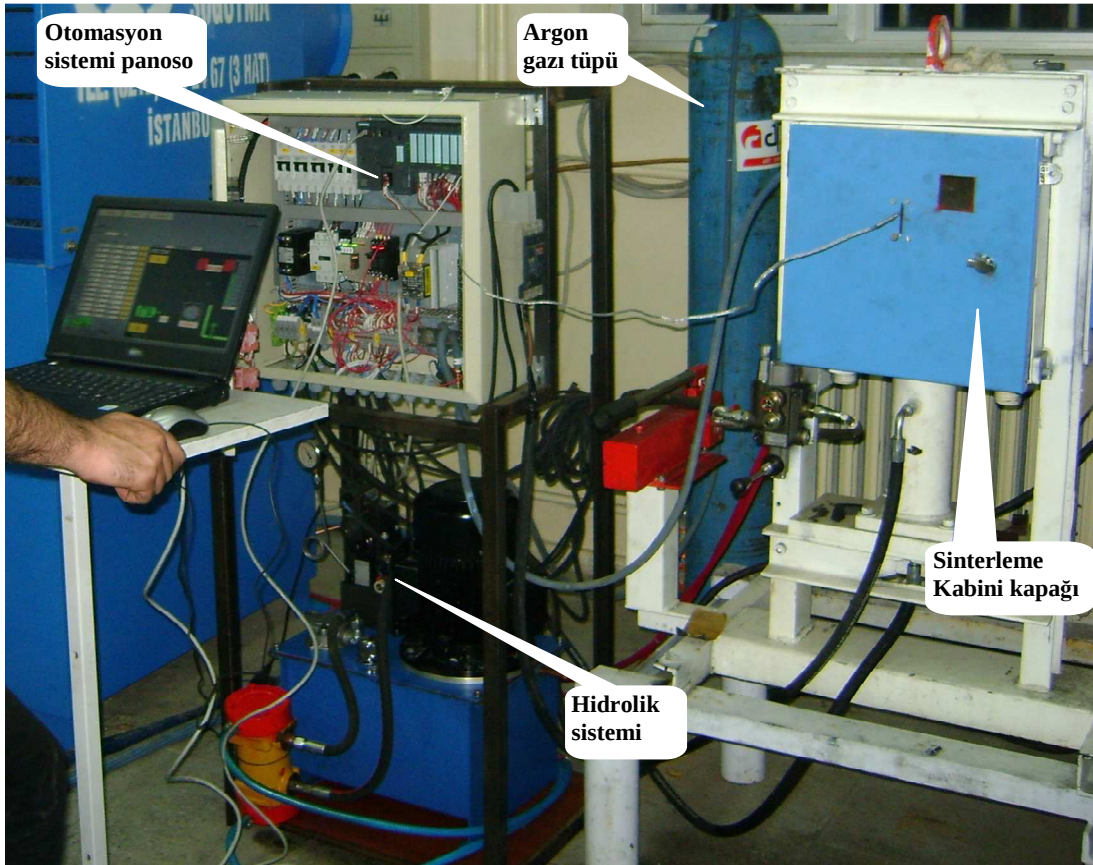
c)

Şekil 4.4. Sıcak pres kalıplarının hazırlanışı

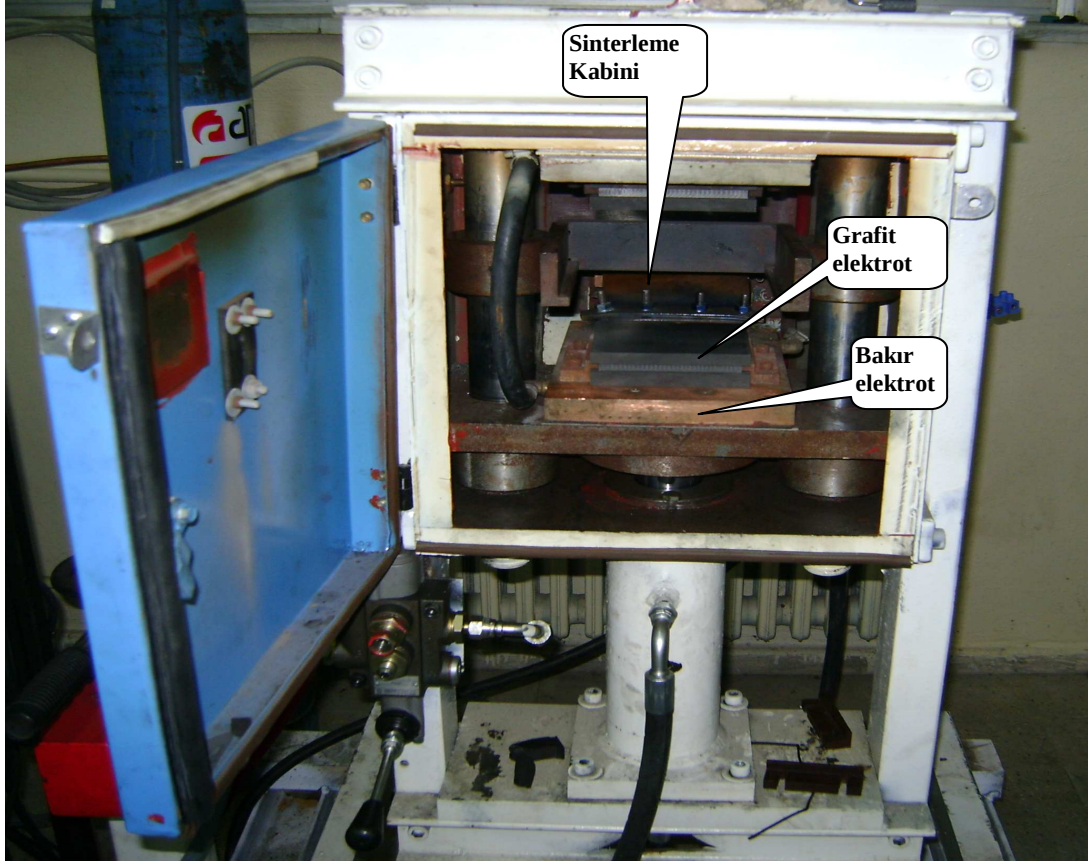
Kalıplar hazırlanırken çelik çekirdek ile yan destek grafitleri arasına amyant plaka konularak kalıbın yalıtılması sağlanmış ve kalıp boşlukları ile üst ve alt baskı grafitlerinin yüzeyleri grafit yağlayıcı ile yağlanmıştır. Grafit yağlayıcı; grafit tozları ve alkolden oluşan bir karışımdır ve fırça yardımıyla tüm kalıp yüzeylerine sürülmüştür. 10 X 6 X 40 mm ölçülerinde numuneler üretmek ve her numunenin aynı hacimde olabilmesi için tozlar referans, I, II, III ve IV no'lu numuneler için sırasıyla 25.08, 24.47, 23.32, 22.28 ve 21.33 gram olacak şekilde tartılarak kalıp odacıklarına dökülmüştür.

4.1.5. Sıcak Presleme

Bu çalışmada mikroyapı, süre ve mekanik özellikler bakımından toz metalurjisi üretim yöntemlerinde önemli bir yeri olan sıcak pres ile sinterleme işlemi yapılmıştır. Numunelerin üretiminde Şekil 4.5 'de komple sistemin fotoğrafı ve Şekil 4.6 'da sinterleme kabini görülen, 25 KW gücünde, argon atmosferi altında çalışabilen, tamamen bilgisayar kontrollü bir otomasyon sistemine sahip olan sıcak pres makinesi kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Numunelerin üretiminde kullanılan sıcak pres makinesi



Şekil 4.6. Sıcak pres makinesinin sinterleme kabini

Makinenin üniteleri, bakır elektrod, grafit elektrod, sıcak pres kalıbı, hidrolik silindir, tutucu tabla, otomasyon sistemi, hidrolik ünitesi ve trafodan ibarettir. Numunelerin üretiminde kullanılan sıcak pres laboratuvar tipinde olup, piyasada satılmakta olan endüstriyel tip sıcak preslerin tüm özelliklerine sahiptir. Ayrıca makinenin bilgisayar kontrol ünitesine sahip olması sayesinde sıcaklık, basınç ve zaman gibi sinterleme açısından çok önemli olan parametreler bilgisayar ortamında hassas bir şekilde ayarlana bilmekte ve bu parametreler çalışma süresi boyunca sabit tutulabilmekte veya değiştirilebilmektedir. Bu makine bölümümüzde doktorasını tamamlayan ve şuan Tunceli üniversitesi öğretim üyesi olan Yrd.Doç.Dr. Ertuğrul ÇELİK tarafından imal edilmiştir.

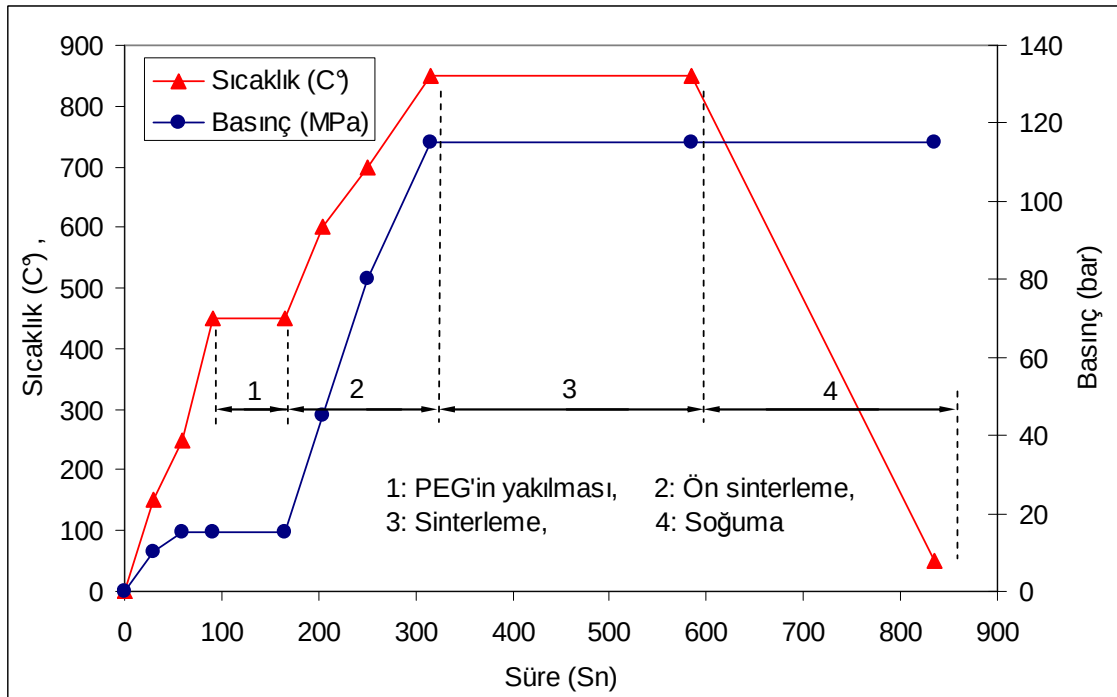
Hazırlanan kalıplar sıcak pres kabinine yerleştirildikten sonra kabin kapağı kapatıldı ve sıcaklığı okuyabilmek için kabin kapağına ve kalıbın ortasına açılmış olan deliklerden termokopul yerleştirildi. Oksitlenmeyi önlemek amacıyla kullanılan argon tüpünün vanası açıldıktan sonra Tablo 4.2’de değerleri verilmiş ve Şekil 4.7 de grafiklendirilmiş olan parametreler pres makinesinin bilgisayarından program yazılımına kaydedildi. Tablodan da görülebileceği gibi 1. ve 2. kademedeki sıcaklık ve basınç düşük

tutularak grafit kalıpların sinterleme kabiniindeki tutucu ve elektrodla tam oturması sağlanmıştır. 3. ve 4. kademede ise basınç yine düşük tutularak 450°C’de yapıdaki polietilenglikolün yanarak numuneleri terk etmesi amaçlanmıştır. Sinterleme sıcaklığı olan 850°C’ye de kademeli olarak geçilmiş ve son kademede basınç düşürülmeden 50°C soğuma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemlerin sonunda elde edilen numunelerin fotoğrafı Şekil 4.8 ‘de ve milimetre cinsinden boyutları da Şekil 4.9 ‘da verilmiştir.

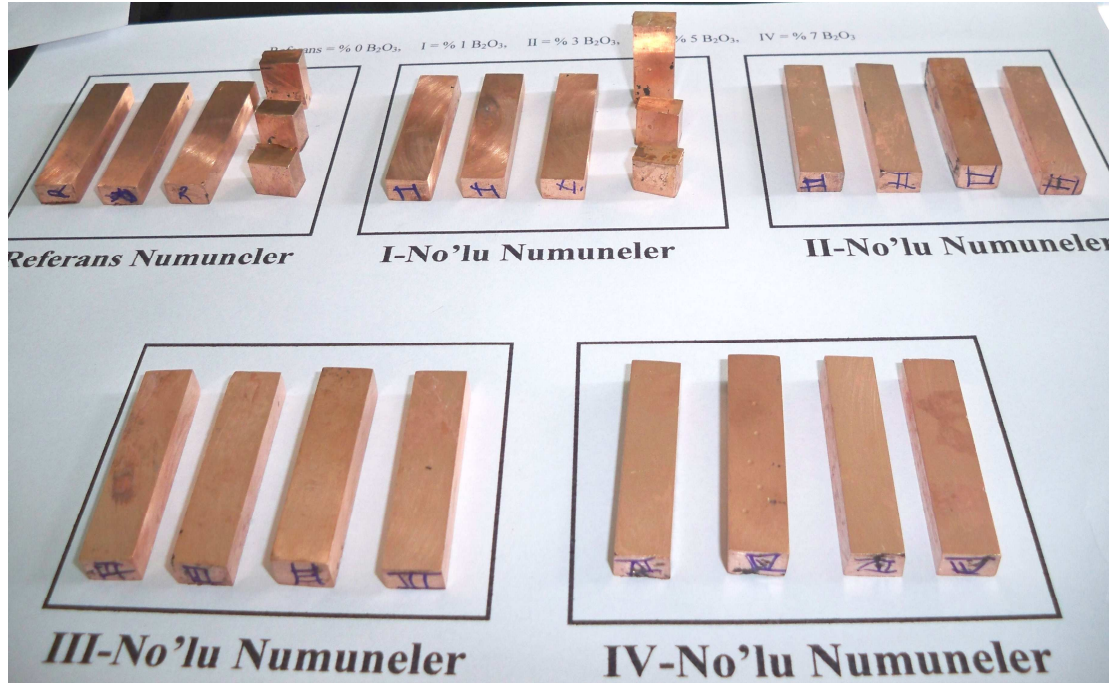
Tablo 4.2. Sinterleme parametreleri

Parametre Kademe	Sıcaklık (C°)	Basınç (bar)	Süre (sn)	Amaç
1. Kademe	150	10	30	Kalıptaki boşlukların alınması
2. Kademe	250	15	30	
3. Kademe	450	15	30	PEG ‘in yakılması
4. Kademe	450	15	75	
5. Kademe	600	45	40	Sinterlemeye geçiş
6. Kademe	700	80	45	
7. Kademe	850	115	65	Sinterleme
8. Kademe	850	115	270	
9. Kademe	50	115	250	Soğuma

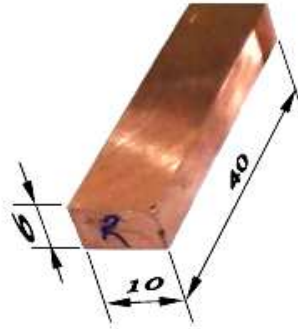
Top: 835



Şekil 4.7. Sinterleme parametresi grafiği



Şekil 4.8. Sıcak presleme sonrası elde edilen numunelerin fotoğrafı



Şekil 4.9. Üretilen numunelerin boyutları

4.1.6. Yoğunluk Ölçme İşlemi

Numunelerin yoğunluğunun anlaşılması amacıyla yoğunluklar SCALTEC SBC 22 hassas terazi ve metal bir sepet yardımı ile Archimed prensibine göre ASTM B311-92 standardında belirtildiği gibi ölçülmüştür.

Bu yöntemle göre öncelikle numunelerin havada kuru ağırlıkları ölçülmüş daha sonra numuneler darası alınan sıcaklığı termometre ile ölçülen saf su dolu ölçüm kabına

batırılmıştır. Numuneler suyun içerisinde tekrar tartıldıktan sonra yoğunluk aşağıda verilmiş olan 4.1 numaralı denkleme göre hesaplanmıştır.

$$D = \frac{A \times E}{A - B} \quad (4.1)$$

Bu denklemde;

D: Numunenin özkütlesi,

A: Numunenin havadaki ağırlığı,

B: Numunenin su içerisindeki ağırlığı,

E: Suyun yoğunluğudur.

4.1.7. Sertlik Ölçüm İşlemi

Sıcak presleme yöntemiyle elde edilen numunelerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 4.10 a ve b 'de görülen BAHA marka sertlik ölçme cihazında 62,5 kg yük ve 2.5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği Brinell cinsinden ölçülmüştür.



a)



b)

Şekil 4.10. Sertlik ölçme cihazı, (a) ön, (b) yan görünüşü

Sertliğin tam olarak belirlenmesi için numunelerin orta, uç, ara ve arka bölgelerinden sertlik değerleri ölçülmüş ve her bir numuneden toplam 6-7 adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak numunelerin ortalama sertlik değerleri bulunmuştur.

4.1.8. Üç Noktalı Eğme Deneyi

Numunelerin eğilme mukavemeti üç noktalı eğme deneyi ile ölçülmüştür. Bu deney Şekil 4.11’de gösterilen ASTM B528-83a standardına göre hazırlanmış aparat yardımıyla Şekil 4.12’de görülen SCHIMATZU marka universal deney makinesinde TRAPEZIUMX yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her numune serisinden üç adet deney yapılarak ortalamaları alınmıştır. Kırılma tokluğu ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\sigma = (3 \times P \times L) / (2 \times t^2 \times W) \quad (4.2)$$

Bu denklemde:

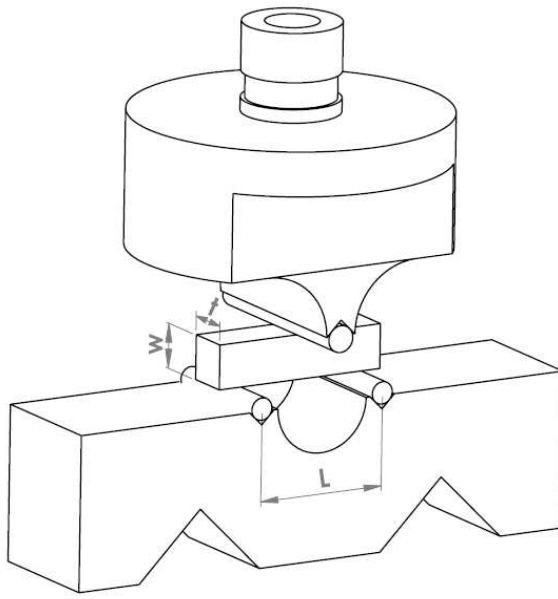
σ : Eğilme mukavemeti (N/mm²),

L: Destek noktaları arasındaki mesafe (mm),

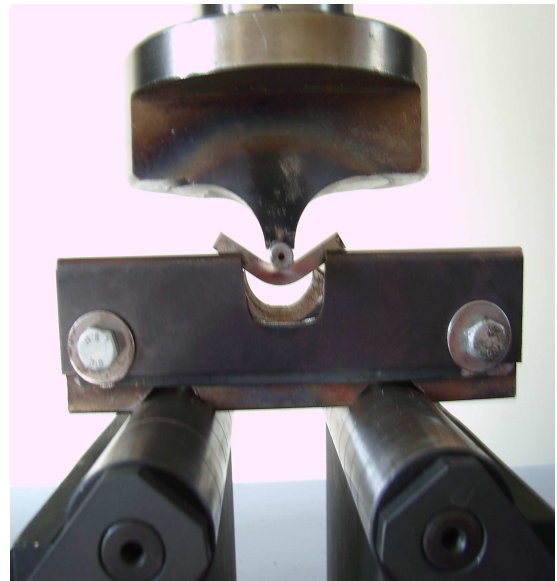
t: Numune kalınlığıdır (mm).

P: Kırılmadan önceki yük (N),

W: Numune yüksekliği (mm),



a)



b)

Şekil 4.11. Üç noktalı eğme deney aparatı, (a) şematik, (b) deney esnasındaki görünümü



Şekil 4.12. Eğme deneylerinin yapıldığı üniversal deney makinesi

4.1.9. İletkenlik Ölçümü Deneyi

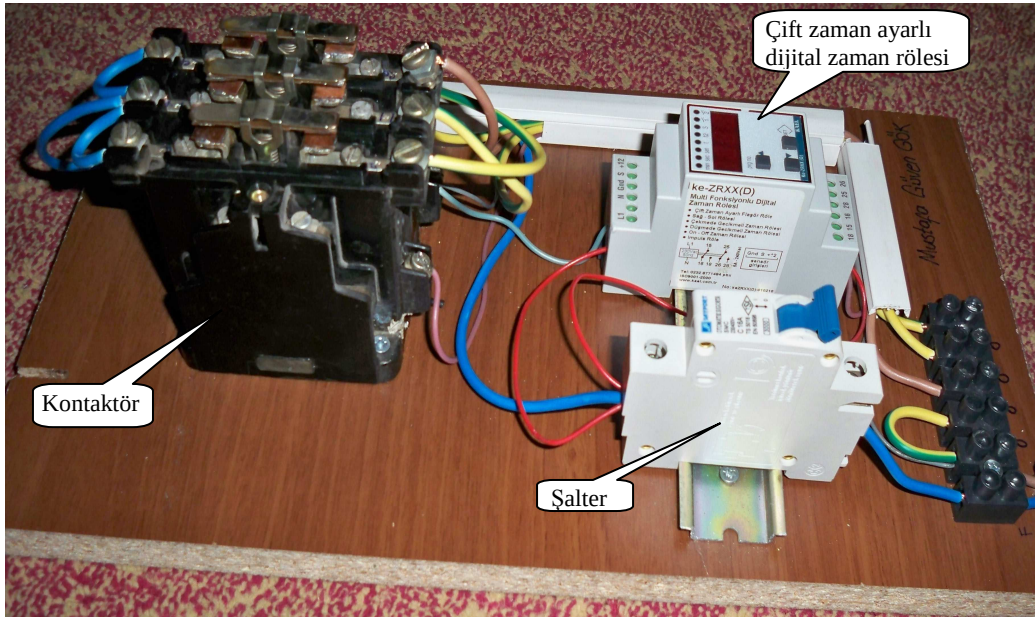
B₂O₃ katkı oranının, üretilen kontak malzemelerinin iletkenliğini nasıl etkilediğini anlayabilmek amacıyla numunelerin oda sıcaklığındaki öziletkenlik değerleri ölçülmüştür. Bunun için “Keithley 4200-SCS Semiconductor Characterization” marka iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak numunelerin oda sıcaklığındaki dirençleri bulunmuş ve aşağıdaki 4.3 numaralı denklem yardımıyla da öziletkenlik elde edilmiştir.

$$\sigma = \frac{1}{R} \times \frac{L}{A} \quad (4.3)$$

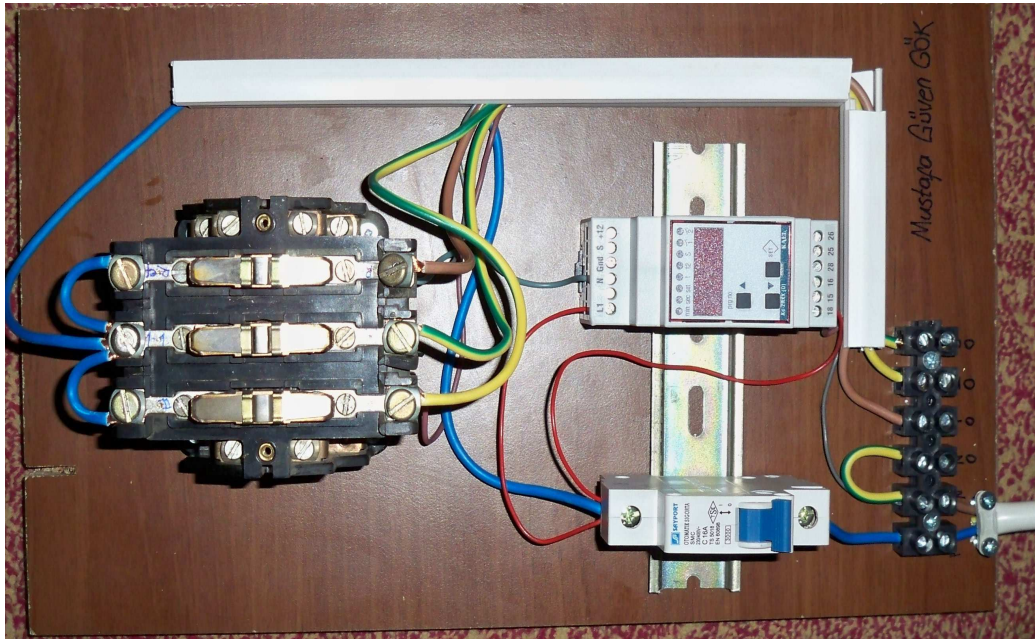
Bu denklemde, σ : Öziletkenliği ($\frac{1}{\Omega} \times \frac{m}{mm^2}$), R: Direnci (ohm), L: Numune kalınlığını (m) ve A: tesir kesit alanını (mm²) temsil etmektedir.

4.1.10. Elektrik Yüğü Altında Aşınma (Kontak Ömrü) Deneyi

Üretilen kontak malzemelerinde bir elektrik yükü altındayken belirli bir açma/kapama (çevrim) sayısı sonucunda meydana gelen ağırlık kayıplarını ve B_2O_3 oranına bağlı olarak ağırlık kaybında meydana gelen değişimi anlayabilmek amacıyla kontak ömrü deneyi yapılmıştır. Bunun için Şekil 4.13 a ve b’de verilen aşınma deney düzeneği hazırlanmıştır.



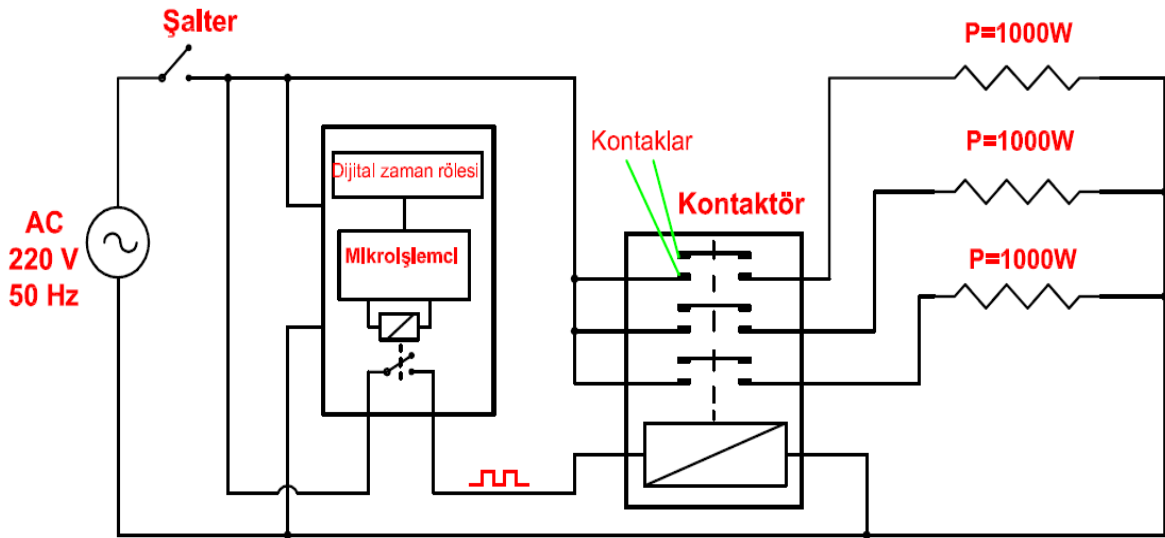
a)



b)

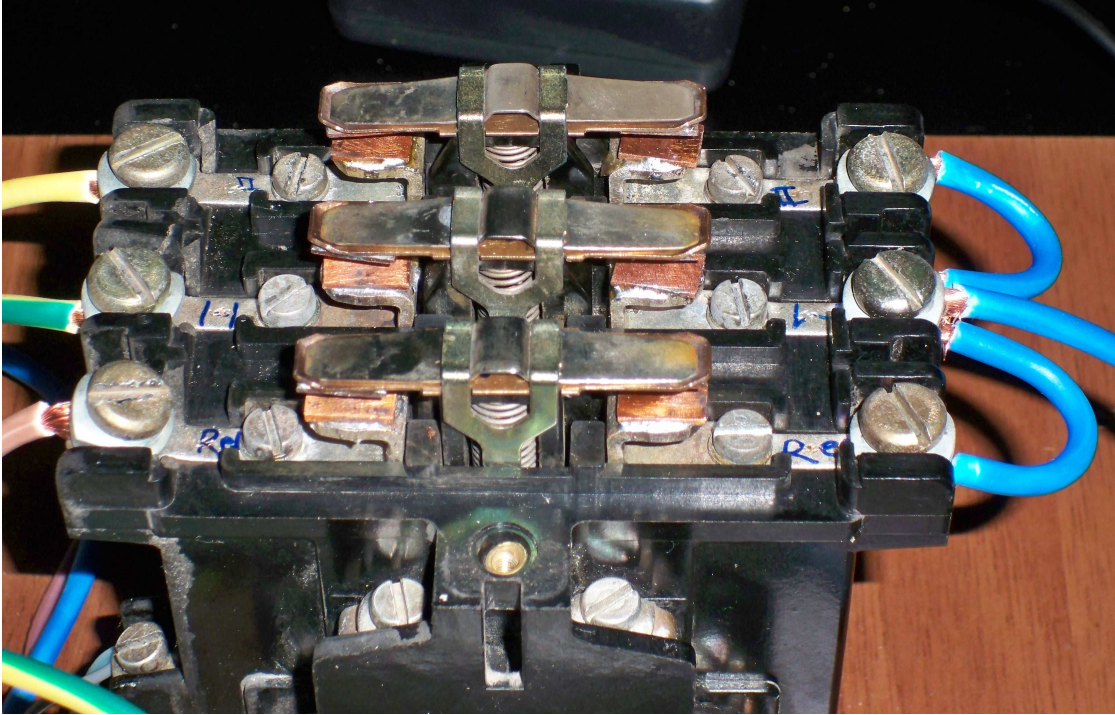
Şekil 4.13. Aşınma deney düzeneği, (a) yan görünüşü, (b) üst görünüşü.

Şekilden de anlaşılacağı üzere deney düzeneği üç ana ünitelerden oluşmaktadır. Bunlar numunelerin üzerine lehimlendiği kontaktör, komple devreye verilen elektriğin kesilip açılmasını sağlayan ve aynı zamanda sigorta görevi de gören şalter ve çift zaman ayarlı programlanabilen dijital bir zaman rölesinden ibarettir. Ayrıca bu deney düzeneğinin şematik bir gösterimi Şekil 4.14 'de verilmiştir. Şematik gösterimden de anlaşılacağı üzere deney düzeneğine 220 V ve 50 Hz 'lik şebeke gerilimi uygulanmaktadır. Bu şebeke geriliminin fazı direkt şaltere gelmektedir. Şalterin kapanması (kısa devre olması) ile beraber dijital zaman rölesi çalışmaya başlamaktadır. Bu esnada dijital zaman rölesinin röle kontağında da 220 V gerilim vardır ve dijital zaman rölesi programlandığı süre ile geri sayıp röle kontağını kapattığında kontaktörün bobinlerine elektrik giderek deney malzemelerinin bağlı olduğu kontakların kapanmasına sebep olacaktır. Kontaktör kontaklarının kapanması ile kontak uçlarından 1000W'lık güçle akım çekilecektir. Dijital zaman rölesinin önceden programlandığı ölçüde röle kontağını saniyede bir kez çekip - bırakması sonucunda; kontaktör de aynı şekilde saniyede bir kez saniye açılıp - kapanacaktır. Dolayısı ile istenilen çevrim sayısı kadar kontaklar çalışacak ve bu çalışma esnasında meydana gelen ark (elektrik atlamaları) sayesinde üretilen deney numuneleri aşınarak belirli bir ağırlık kaybı olacaktır. Böylece üretilen deney numunelerinin gerçek çalışma ortamlarındaki ömürleri deneysel olarak belirlenebilecektir. Ayrıca B_2O_3 ilavesinin mekanik ömre etkisi hakkında da bilgi sahibi olunacaktır.



Şekil 4.14. Kontak aşınma deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Bu deney için üretilen tüm malzemelerden hassas elmaslı testerede 2 mm kalınlığında parçalar kesilerek aşınma deney numuneleri elde edilmiştir. Her seriden dörder adet numune kesilmiştir. Kesilen numuneler deney düzeneğindeki kontaktörün kontak uçlarına, sabit ve hareketli kontaklar aynı seriden olacak şekilde, lehimlenmiş ve 220V gerilim, 50 Hz frekans değerindeki 1000W 'lık elektrik yükü altında 2000 – 4000 – 6000 ve 8000 çevrim sonrası meydana gelen ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Bunun için Scaltec marka 0,0001 gram hassasiyetindeki terazi kullanılmıştır. Ayrıca aşınan yüzeylerden SEM fotoğrafları da alınmıştır. Böylece üretilen kontak malzemelerinin gerçek çalışma şartları altındaki performansları hakkında bazı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.15 'de kontak deney düzeneğine lehimlenmiş olan numuneler görülmektedir.



Şekil 4.15. Kontaktör uçlarına lehimlenmiş deney numunelerinin görünüşü

4.1.11. Mikroyapı İncelemeleri İçin Numune Hazırlanması ve Mikroyapı Çalışmaları

Sıcak presleme ile üretilen malzemelerden Şekil 4.16 de görülen 0,001 mm hassasiyette kesme yapabilen otomatik makine yardımıyla 10X10X6 mm ölçülerinde numuneler alınmış ve bu numuneler Şekil 4.17 a ve b 'de görülen sulu döner zımparalama cihazlarıyla parlatılmıştır. Parlatma işlemi kalından inceye doğru sırasıyla 400-600-800-1000 ve 1200 meş' lik

zımparalarla beş kademede yapılmıştır. Daha sonra 1µm 'lik elmas pasta ve elmas yağlayıcı yardımı ile çuha üzerinde parlatma işlemi yapılmıştır. Çuha ile parlatma kademesinde bol miktarda alkol kullanılmış ve ayrıca tüm parlatma işlemlerinden sonra da numuneler alkolle yıkanmıştır. Daha sonra dağlama işlemine geçilmiştir. Bunun için literatür araştırmalarından faydalanarak çeşitli dağlayıcılar hazırlanarak denenmiş fakat mikroyapı açısından en uygun sonuç; “50 ml saf su + 50 ml amonyak (NH_3) + 3 damla perhidrol (H_2O_2)” bileşiminde hazırlanan çözeltide 5-10 saniyelik dağlama süresinde elde edilmiştir.



Şekil 4.16. Elmas testereli hassas kesme makinesi



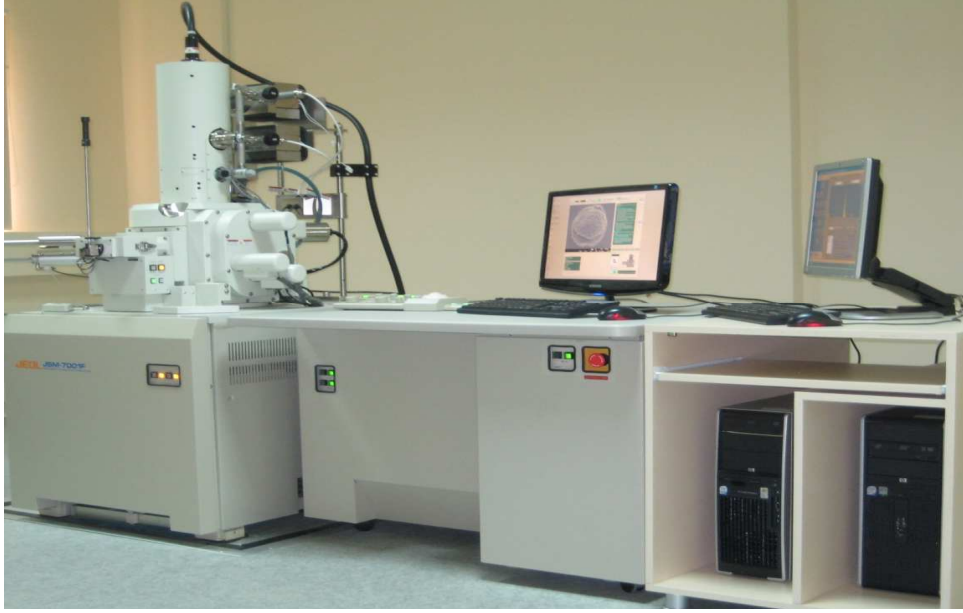
a)



b)

Şekil 4.17. Parlatma cihazları, (a) kaba parlatmaların yapıldığı, (b) ince parlatmaların yapıldığı cihaz

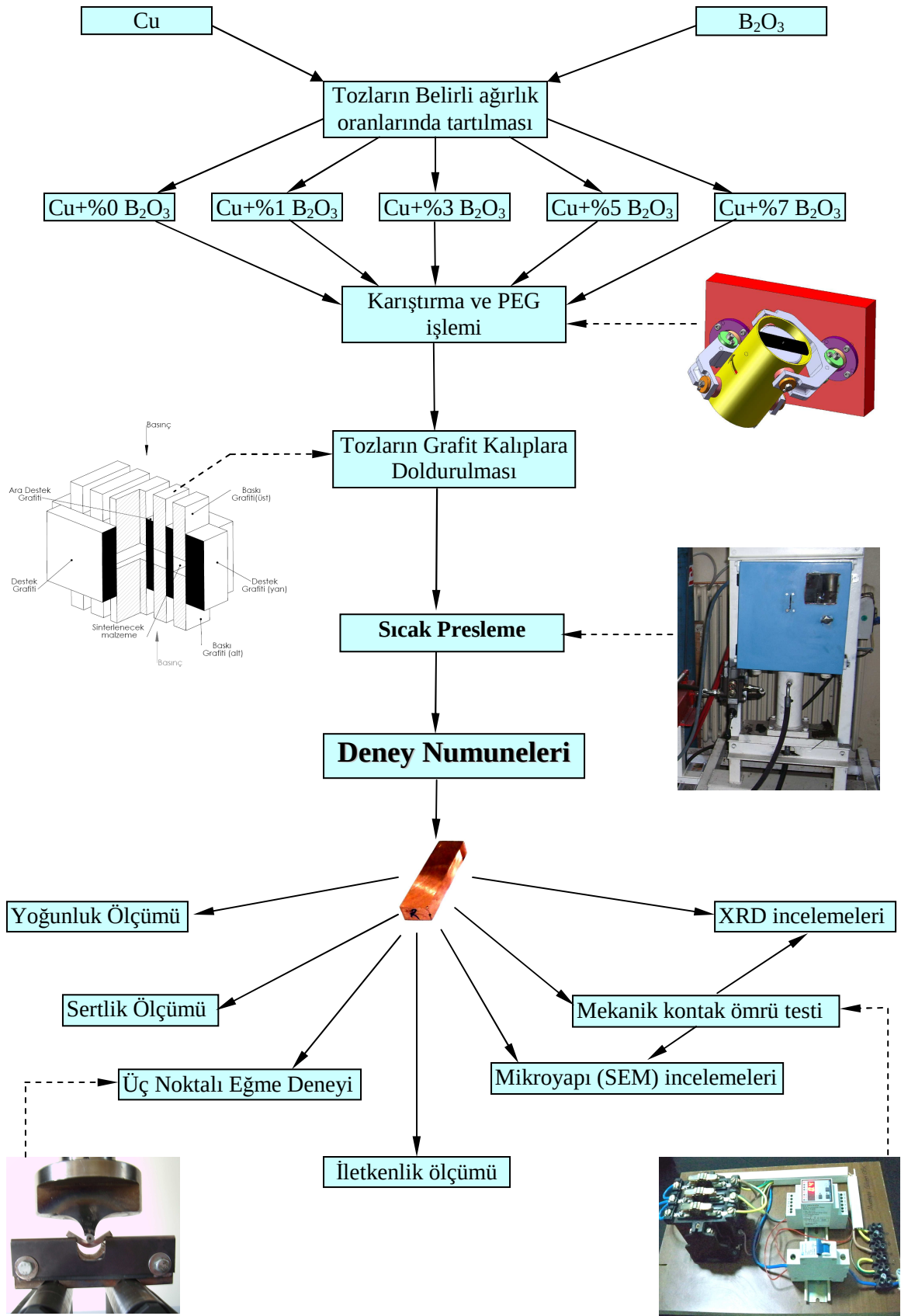
Hazırlanan numunelerin mikroyapılarının nasıl olduğu, B_2O_3 katkısına bağlı olarak mikroyapıda ne gibi değişmelerin meydana geldiği ve sinterleme işlemlerinin yapılmasında ne ölçüde başarılı olunduğunu anlayabilmek amacıyla, Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi fizik Bölümünde bulunan ve Şekil 4.18’de fotoğrafı görülen JEUL JSM 7001F model taramalı elektron mikroskobu ile çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 4.18. Mikroyapı incelemelerinin yapıldığı JEUL marka taramalı elektron mikroskobu

4.1.12. X-Işını Kırınımı İncelemeleri

Farklı bileşimde üretilen numunelerin sıcak preste sinterlenmeleri sonucunda numunelerde meydana gelebilecek yapıları belirlemek amacıyla Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme mühendisliğinde bulunan Bruker D8 Advance Bilgisayar Kontrollü X-Işınları Difraktometresi kullanılarak X-ışını kırınımı çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca elektrik yükü altında aşınma deneyine tabi tutulan numunelerde de çalışma süresi sonunda meydana gelebilecek faz ve bileşiklerin tayini için X-ışını incelemeleri yapılmıştır. Şekil 4.19 ‘da numunelerin üretiminin ve yapılan deneylerin şematik akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.19. Numunelerin üretimi ve yapılan deneylerin akış diyagramı

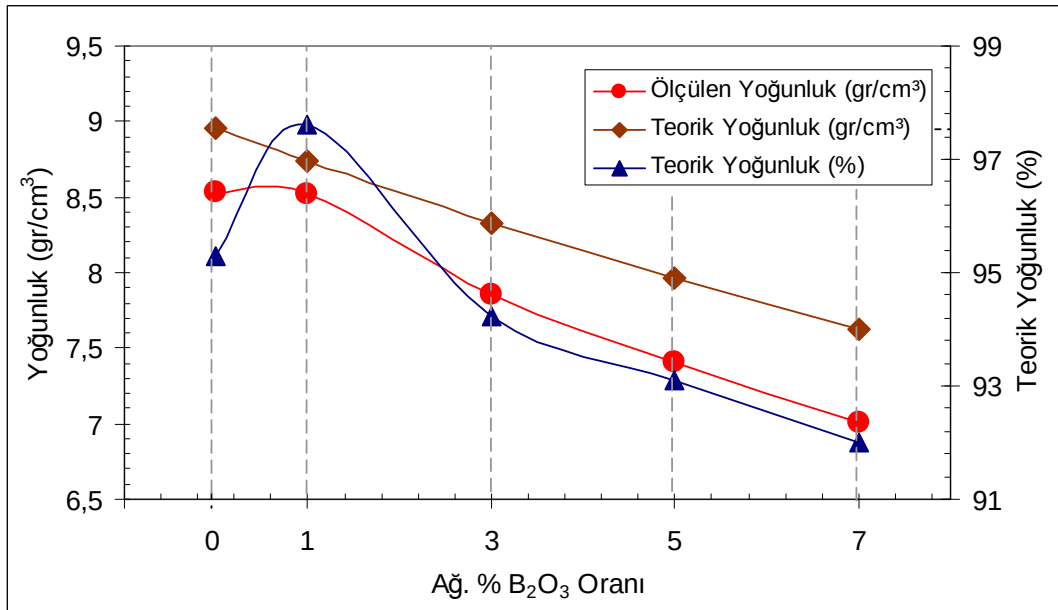
5. SONUÇLAR

5.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Sıkıştırılabilirlik ve teorik yoğunluğa ne derece ulaşılabildiği hususunda bir fikir edinebilmek amacıyla tüm numunelerin yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Archimed prensibi ile elde edilen yoğunluk verileri ile hesaplama yoluyla bulunan teorik yoğunluk değerleri Tablo 5.1 'de verilmiş ve ayrıca sonuçların daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla da Şekil 5.1 'deki gibi grafiklendirilmiştir.

Tablo 5.1. Yoğunluk ölçüm değerleri

Yoğunluklar Numune Adı	Teorik Yoğunluk (gr/cm ³)	Ölçülen Yoğunluk (gr/cm ³)	% Teorik Yoğunluk
NR	8,96	8,53	95,2
N1	8,74	8,52	97,4
N2	8,33	7,85	94,2
N3	7,95	7,41	93,1
N4	7,62	7,01	92

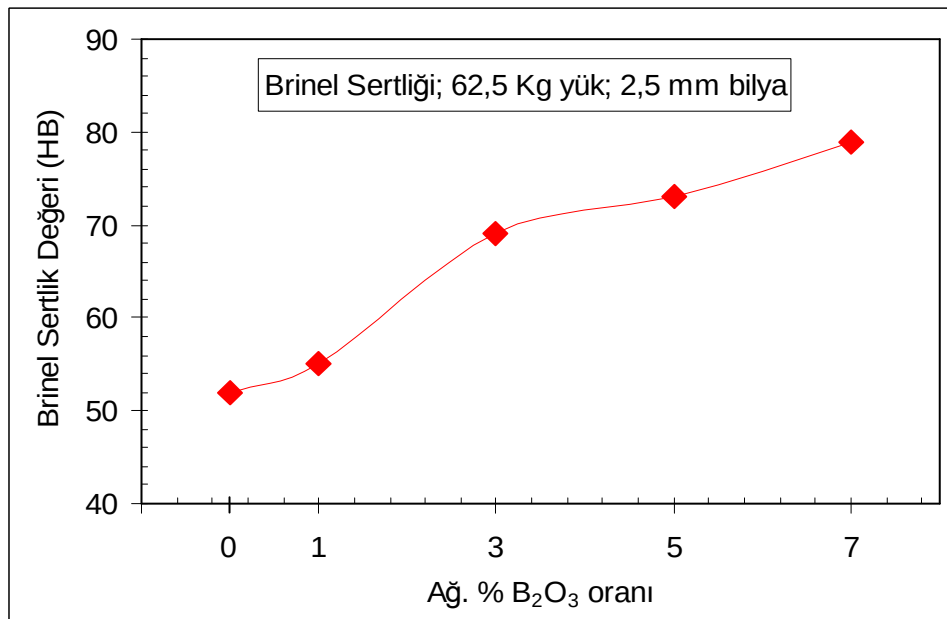


Şekil 5.1. Yoğunluk ölçüm grafiği

Sonuçlardan teorik yoğunluğa çok yaklaşıldığı anlaşılmaktadır. Bu durum da sıcak preste sinterleme işleminin başarılı olduğuna dair önemli bir kanıttır. % 3 B_2O_3 oranına kadar teorik yoğunluk yüzdesinde referans numuneye göre çok fazla bir değişme görülmemiştir. Hatta % 1 B_2O_3 katkısı ile teorik yoğunluk yüzdesinin arttığı ve % 97,5 gibi oldukça yakın bir değere çıktığı gözlenmiştir. Ancak % 5 B_2O_3 katkısından sonra yüzde teorik yoğunluk değeri düşüş göstermiş ve bu değer % 7 B_2O_3 katkılı N4 numunesinde %92 'ye kadar düştüğü anlaşılmıştır. Yüzde teorik yoğunluk değerleri numunelerin bünyelerindeki boşluklarla (porozite) alakalıdır. Dolayısı ile numunelerin porozite değerlerinin normal bir seviyede olduğu, en az poroziteli numunenin % 1 B_2O_3 katkılı N1 numunesinde olduğu ve porozite miktarı en fazla olan numunenin ise % 7 B_2O_3 katkılı N4 numunesinde olduğu sonucuna varılmıştır. Çok fazla porozite elektrik iletkenliğini olumsuz yönde etkileyeceğinden dolayı istenmeyen bir durumdur. Dolayısı ile porozite değeri yüksek çıkan ağırlıkça % 5 ve 7 B_2O_3 katkılı numunelerin iletkenliğinin düşük çıkması beklenmektedir.

5.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Şekil 5.2 de tüm numunelerin 62,5 kg yük ve 2,5 mm çaplı çelik bilya kullanılarak ölçülen brinell sertlikleri verilmiştir.

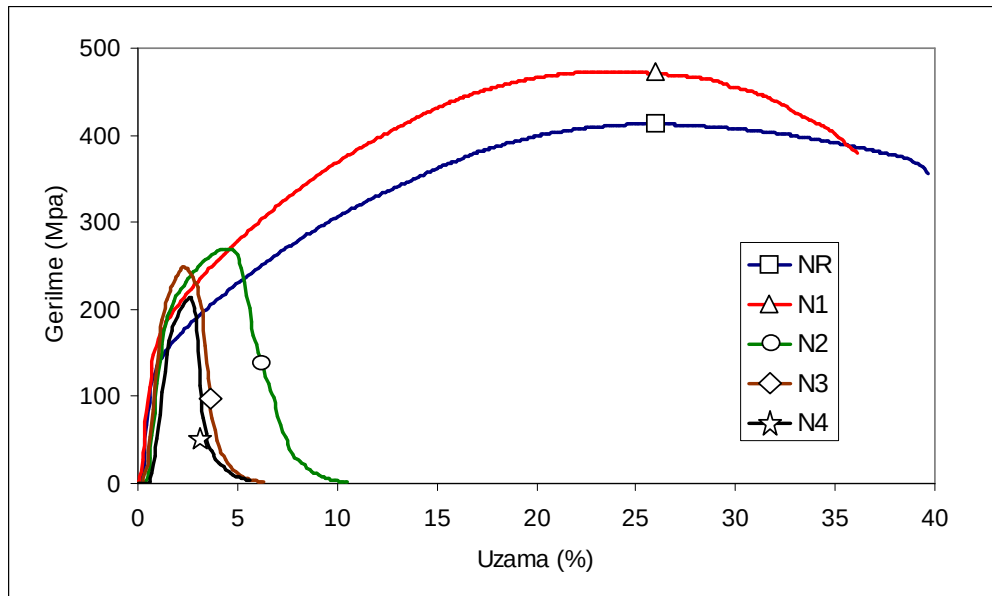


Şekil 5.2. B_2O_3 oranına bağlı olarak Sertlik değişimi

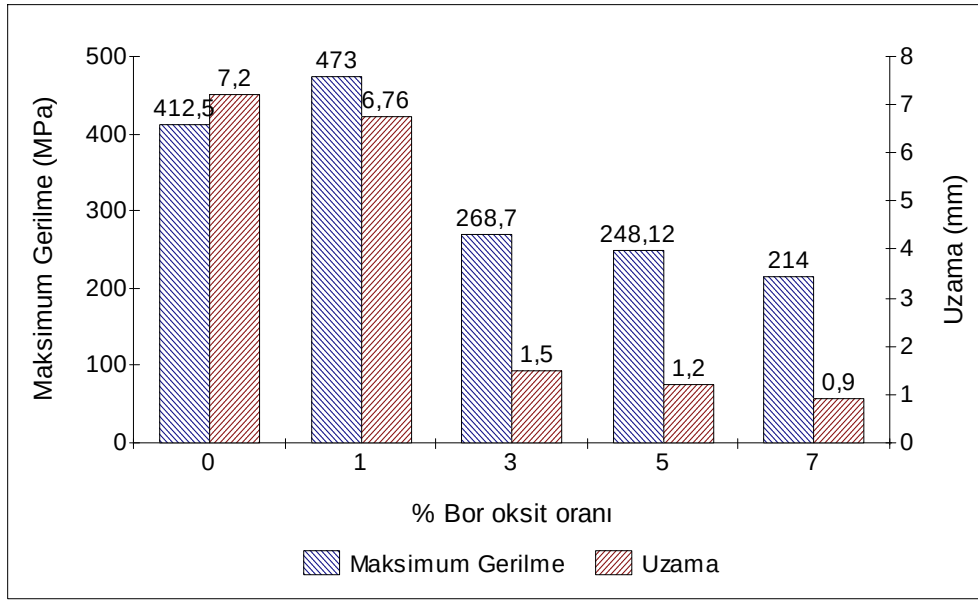
Şekil 5.2’den de hemen anlaşılacağı üzere B_2O_3 oranının artışıyla sertlik değeri de artmıştır. Bu sonuç olumlu yönde ve beklendiği gibi çıkmıştır ve Güler [9]’in ve Altınsoy [42]’un çalışmalarıyla uyumludur. Çünkü bakıra B_2O_3 katmamızın en önemli amaçlarından birisi de bakırın sertliğinde artış sağlamaktır. B_2O_3 katılmamış olan referans numunenin sertliği 52 HB olarak ölçülmüştür. Bu sonuç literatür ile uyum göstermektedir [40]. Saf bakır tozuna ağırlıkça %1 B_2O_3 tozlarının eklenmesi ile sertlik 55 HB ‘ye yükselmiştir. Sertliğin % 3 B_2O_3 katkısı ile 69 HB, % 5 B_2O_3 katkısı ile 73 HB ve % 7 B_2O_3 katkısı ile de 79 HB değerlerine ulaştığı gözlenmiştir. En dikkat çekici nokta ise % 3 B_2O_3 katkısı ile sertliğin aniden artarak 69 HB ‘ye yükselmiş olmasıdır. Yani sertliklerdeki artış oranı dikkate alındığında % 3 B_2O_3 katkılı numunenin en yüksek artış oranına sahip olduğu görülmektedir.

5.3. Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları

Eğme deneyi sonuçlarından elde edilen veriler gerilme - yüzde uzama grafiklerine dönüştürülmüş ve B_2O_3 ilavesinin etkisini anlamak amacıyla da tüm numunelere ait eğriler aynı grafik üzerinde Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Ayrıca eğme deneyleri sonucunda elde edilen maksimum gerilme ve maksimum uzama değerleri Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Tüm numunelere ait gerilme-yüzde uzama grafiği

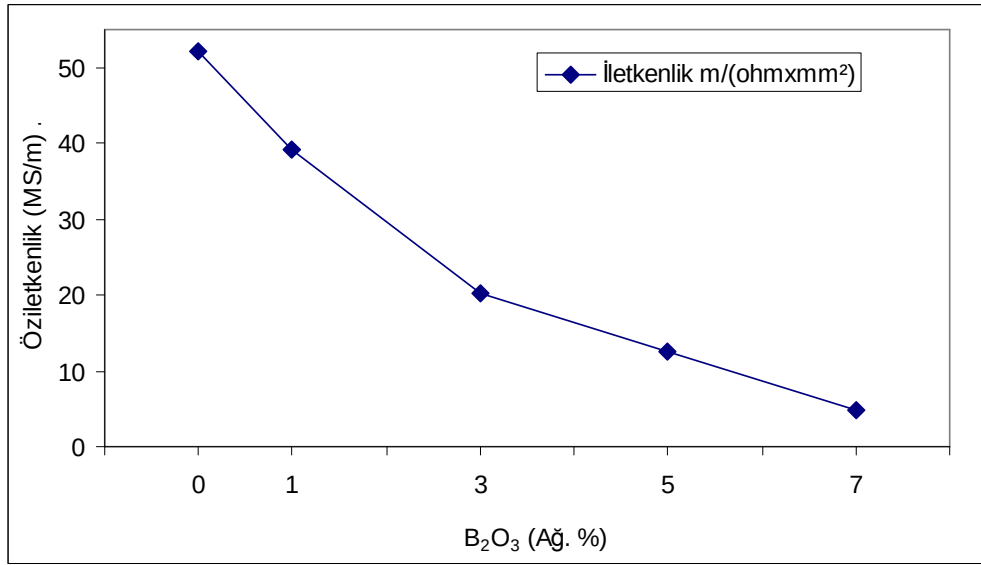


Şekil 5.4. Maksimum gerilme ve maksimum uzama değerleri

Referans numunenin maksimum gerilme değeri 412 MPa ve maksimum yüzde uzaması ise yaklaşık % 25 olarak ölçülmüştür. Grafikten de hemen anlaşılacağı üzere %1 B₂O₃ katkısı ile maksimum gerilmenin yaklaşık 473 MPa değerine çıktığı ve maksimum yüzde uzamada çok fazla bir değişme meydana gelmeyerek yaklaşık % 24 olduğu görülmüştür. Dolayısı ile buradan %1 B₂O₃ katkısının eğilme mukavemetini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Eğilme grafiği incelendiğinde %3 B₂O₃ katkısından itibaren eğilme mukavemetinde ve uzama miktarında aşırı derecede bir düşüş olduğu görülmektedir. Maksimum gerilme değeri % 3, 5 ve 7 B₂O₃ katkılı numuneler için sırasıyla 271, 248 ve 214 MPa olarak ölçülmüştür. Yine yüzde maksimum uzama değerleri de sırasıyla % 5.7, 3.4 ve 3.1 olduğu görülmüştür. Dolayısı ile %3 B₂O₃ oranından sonra malzemelerde sünek kırılmadan gevrek kırılmaya geçtiği sonucuna varılmıştır. Eğilme mukavemetindeki bu değişim yoğunluk ölçüm sonuçlarıyla uyumlu çıkmıştır. Çünkü literatürde porozite miktarının artışı ile mekanik özellikte bir azalma meydana geleceği bildirilmektedir [33]. Buradan hareketle en yüksek mukavemete sahip olan %1 B₂O₃ katkılı numunenin % teorik yoğunluğunun da en yüksek çıktığı ve en düşük mukavemete sahip % 7 B₂O₃ katkılı numunenin teorik yoğunluğunun en düşük değerde çıktığı anlaşılmaktadır.

5.4. İletkenlik Ölçümü Sonuçları

Çalışmada tüm numunelerin oda sıcaklığındaki elektrik dirençleri ölçülmüş ve böylece B_2O_3 oranının öziletkenlik üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Öziletkenlikler 4.3 numaralı denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Şekil 5.5 'deki grafikte B_2O_3 oranına bağlı olarak öziletkenlikte meydana gelen değişim verilmiştir.

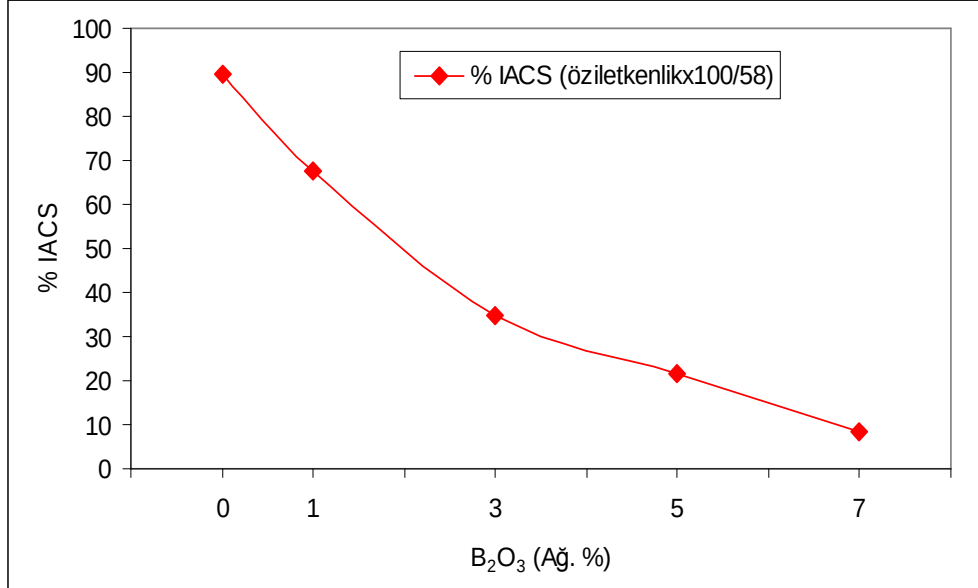


Şekil 5.5. B_2O_3 oranına bağlı olarak öziletkenlikteki değişim

B_2O_3 oranının artışıyla referans malzemeye göre iletkenlikte bir düşüşün meydana geldiği gözlenmiştir. Saf bakır içerisine yalıtkan B_2O_3 ilavesiyle yapı içerisinde elektron hareketlerine bariyer teşkil edecek bir durum oluşmaktadır. Elektron hareketleri B_2O_3 partiküllerinin yapı içerisinde kısa mesafeli dağılımı nedeniyle azalmakta ve iletkenlik düşmektedir. Bu durum Altınsoy [42]'un çalışması ile de uyushmaktadır. Referans numunenin iletkenlik değeri 52 MS/m iken; N1 numunesinin iletkenliği 39,1 MS/m ve N2 – N3 ve N4 numunelerinin ise sırasıyla 20,2 – 12,5 ve 4,9 MS/m olarak bulunmuştur.

Şekil 5.6 ve Tablo 5.2'de numunelerin % IACS (International Annealed Copper Standart) değerleri verilmiştir. % IACS değeri, tam yoğun tavlanmış saf bakırın öziletkenliğinin % 100 kabul edilmesi ile yapılan iletkenlik ölçüm standardı olup % 100 IACS = 58 MegaSiemens/metre' dir [9 ve 36]. Dolayısı ile numunelerin % IACS değerleri aşağıdaki 4.1 numaralı bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\%IACS = \frac{\text{Öziletkenlik}(\frac{m}{\Omega \times mm^2}) \times 100}{58} \quad (4.1)$$



Şekil 5.6. B₂O₃ oranına bağlı olarak % IACS değerleri

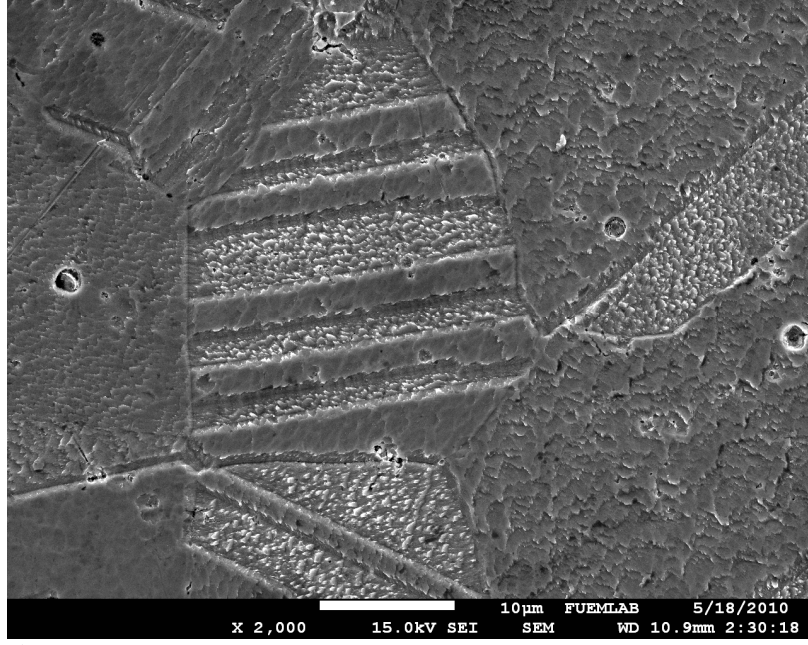
Tablo 5.2. Deney numunelerin ölçülen % IACS değerleri

B ₂ O ₃ Oranı (Ağ.%)	% IACS değeri
0	89,7
1	67,4
3	34,9
5	21,5
7	8,4

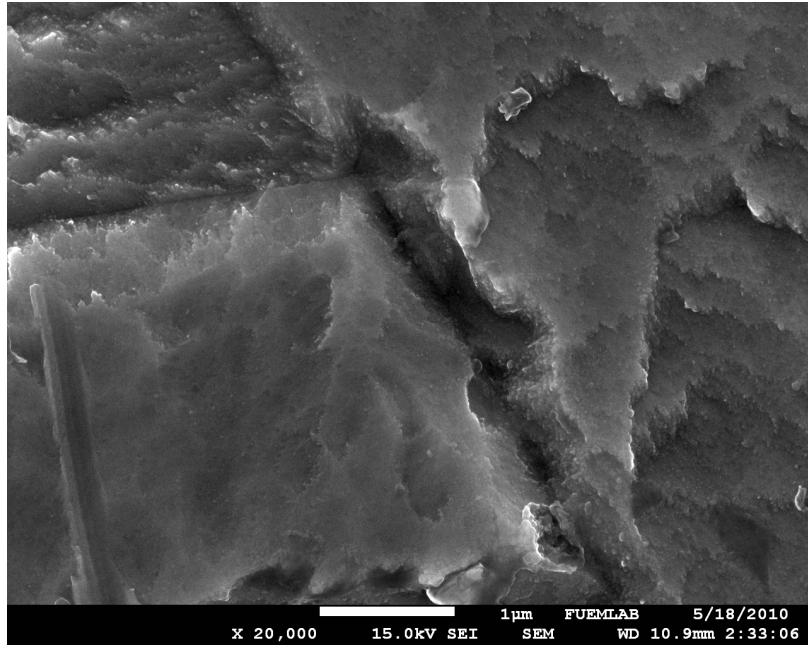
Şekil 5.6'dan da anlaşılacağı üzere en yüksek IACS değeri saf bakıra aittir ve B₂O₃ oranının artışı ile düşmektedir. Bu değerin % 7 katkılı numunede oldukça düşük çıktığı görülmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için bakır esaslı alaşımlardan istenilen en düşük iletkenlik değerinin % 50 IACS olduğu bilinmektedir [37]. Bu sonuçlardan hareketle iletkenlik açısından % 5 ve özellikle % 7 B₂O₃ katkılı numunelerin yüksek elektrik yükleri altında çalışan kontak malzemelerinde kullanılmasının pek uygun olmayacağı anlaşılmaktadır.

5.5. Mikroyapı İncelemeleri

B_2O_3 katkısının mikroyapı özelliklerine etkileri nasıl etkilendiğini anlayabilmek amacıyla parlatılmış ve dağlanmış numunelerden çeşitli büyütmelerde alınan mikroyapı fotoğrafları R1, N1, N2, N3 ve N4 numuneleri için sırasıyla Şekil 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 ve 5.11’de verilmiştir.

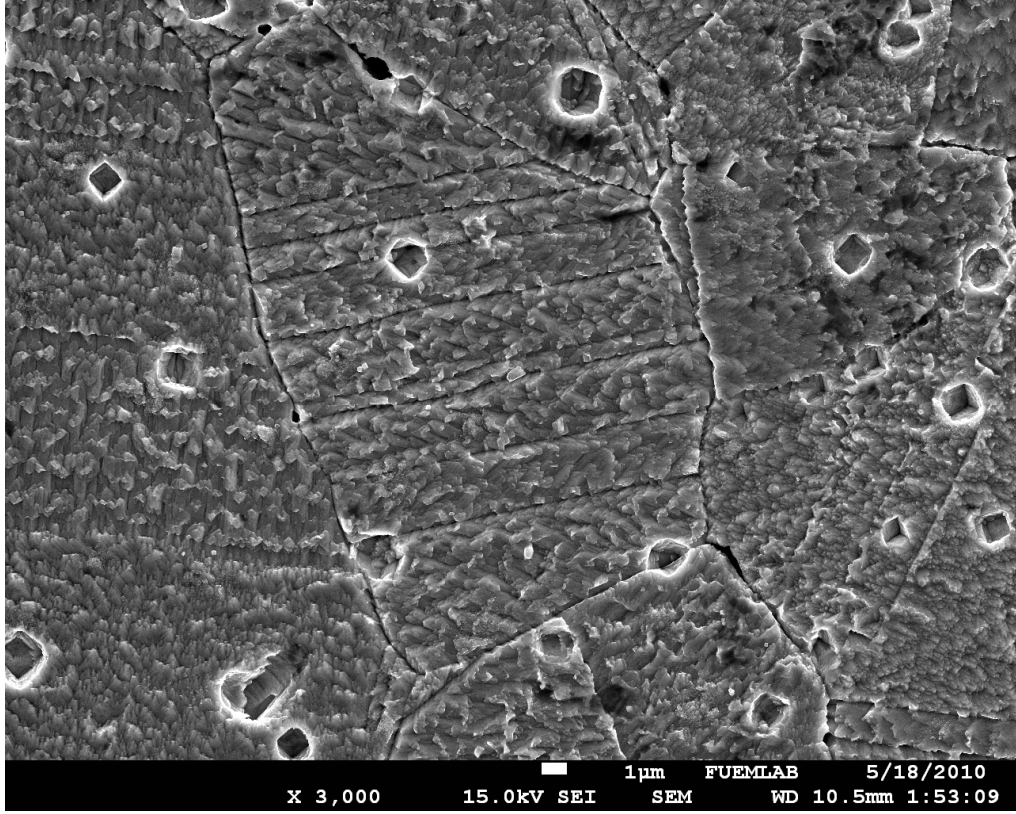


a)

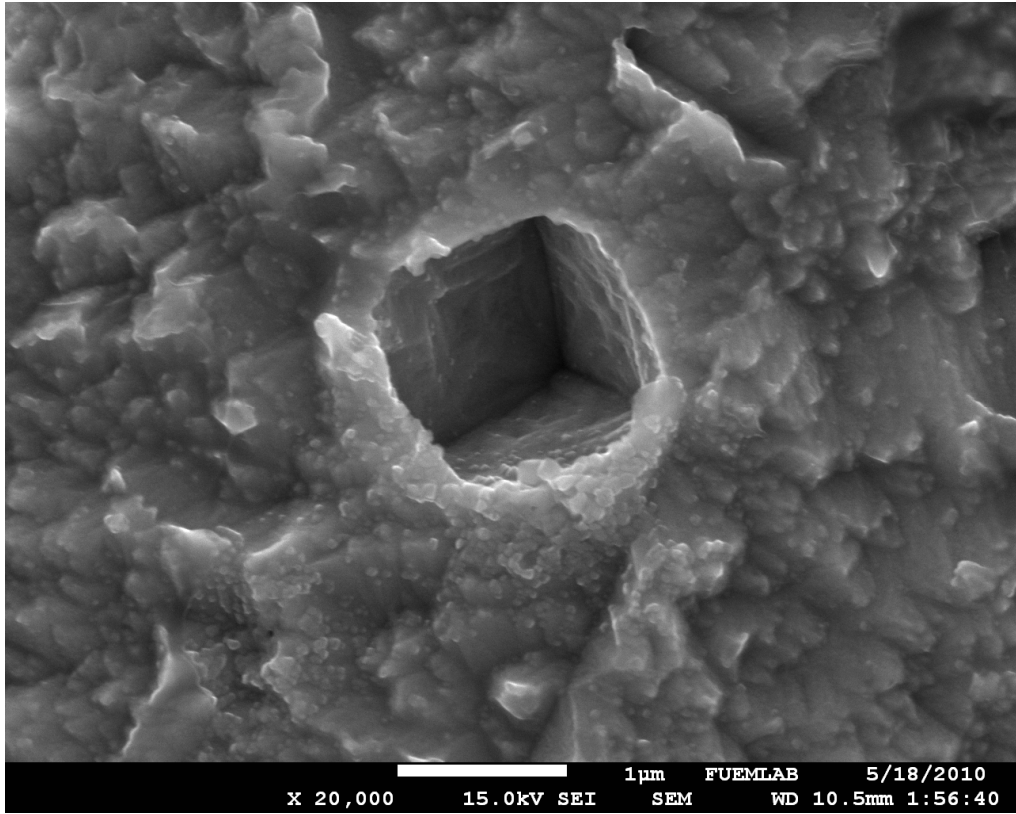


b)

Şekil 5.7. Referans numunenin SEM görüntüsü, 2000X (a); 20000X (b)

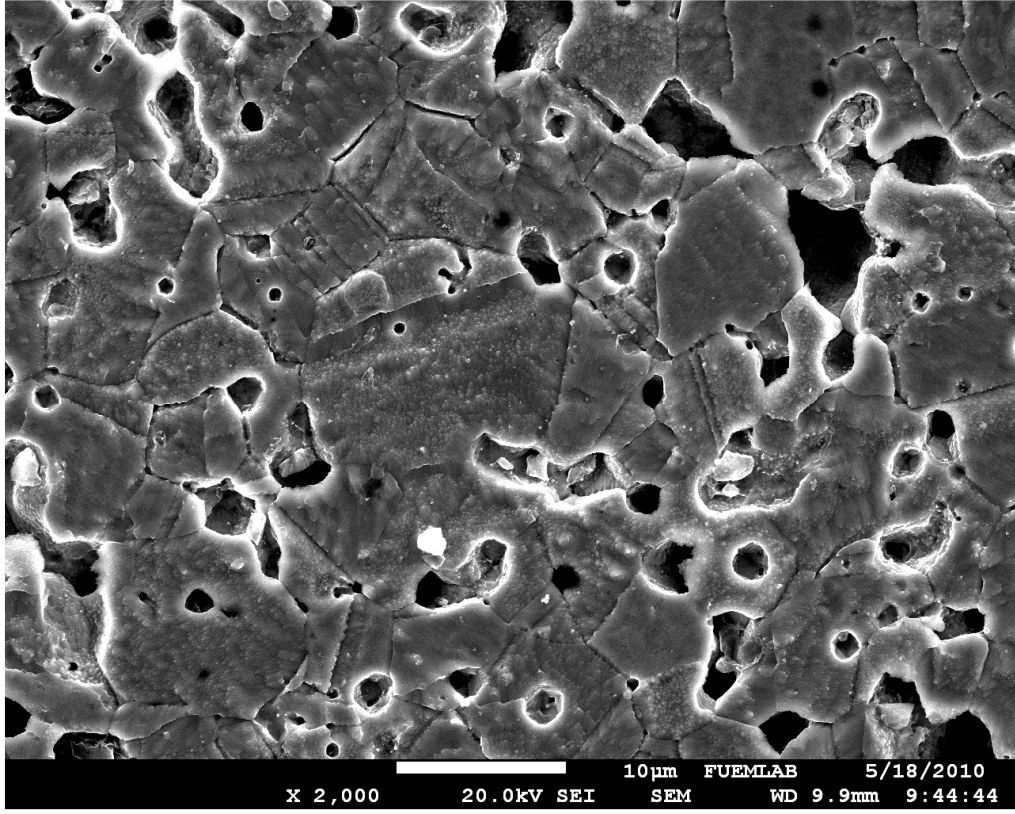


a)

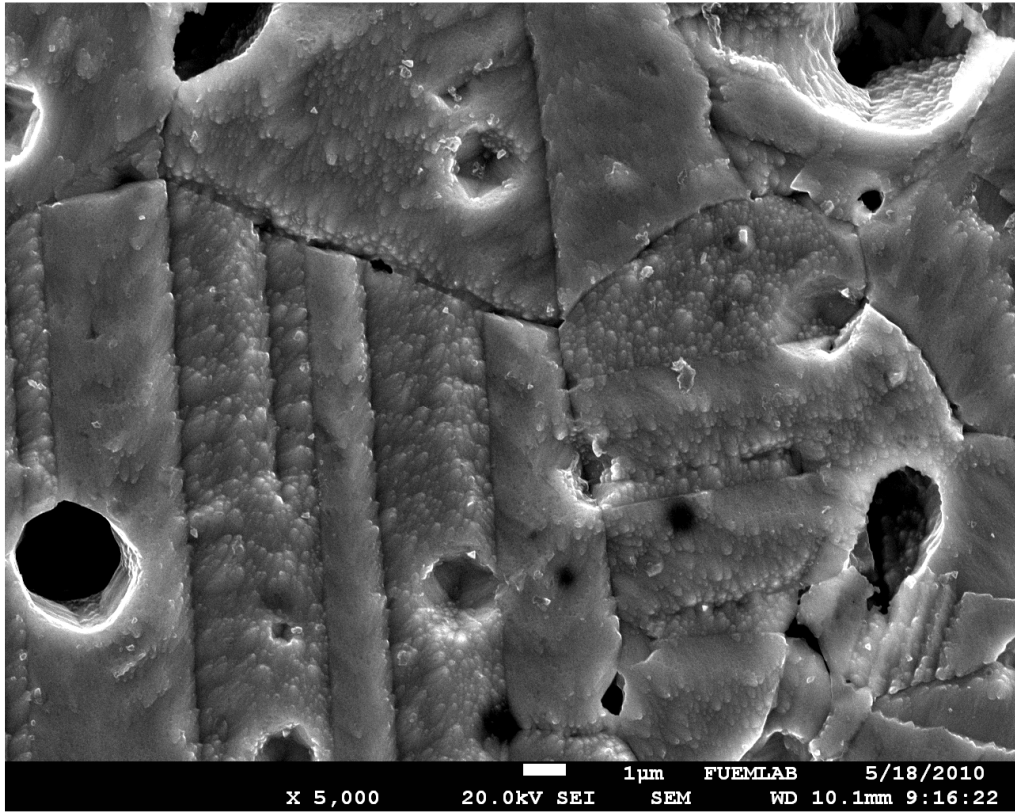


b)

Şekil 5.8. I nolu numunenin SEM görüntüsü, 3000X (a); 20000X (b)

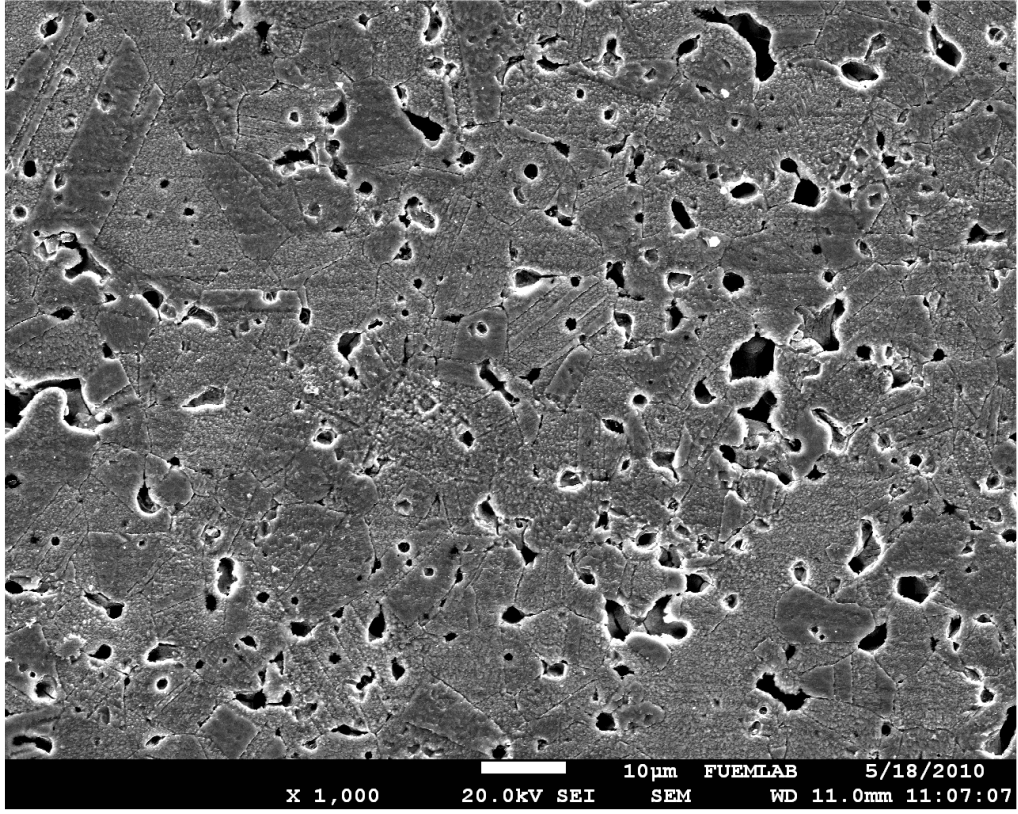


a)

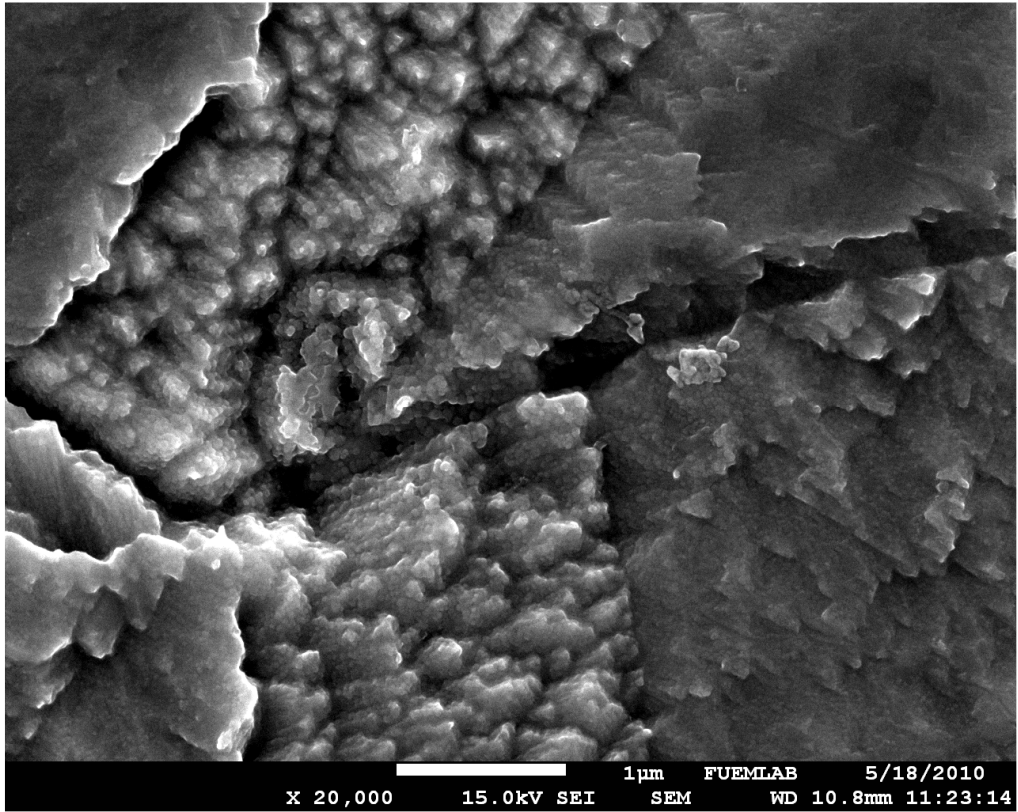


b)

Şekil 5.9. II nolu numunenin SEM görüntüsü, 2000X (a); 5000X (b)

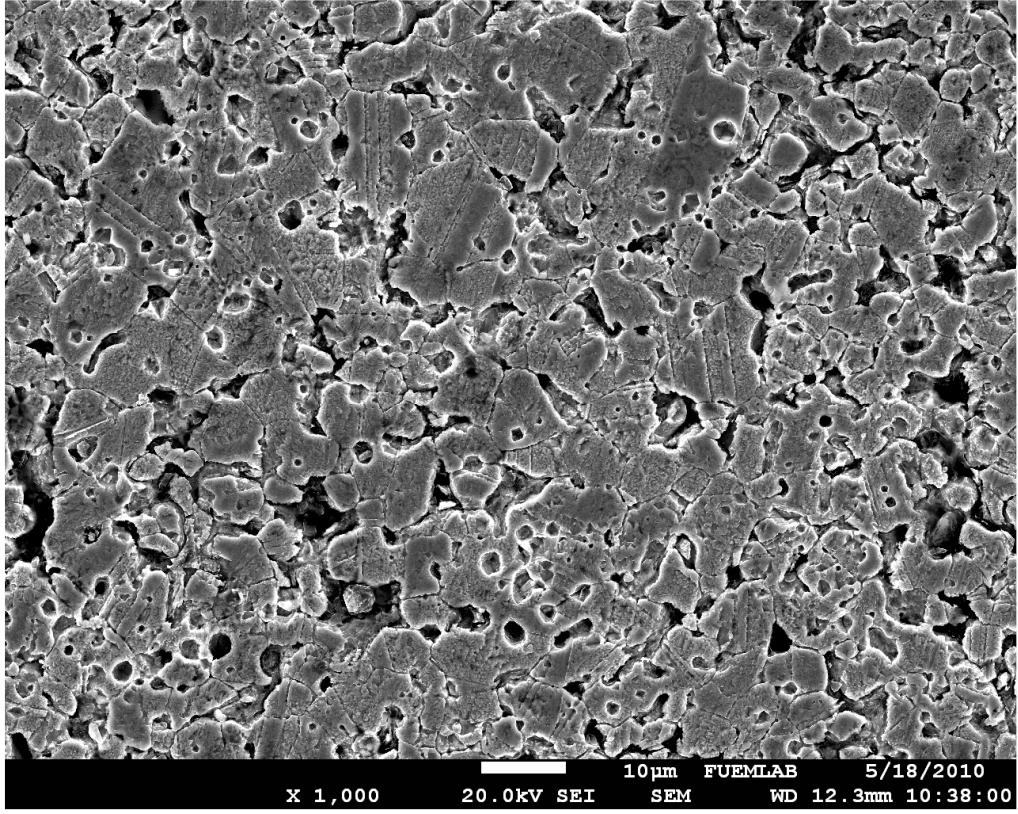


a)

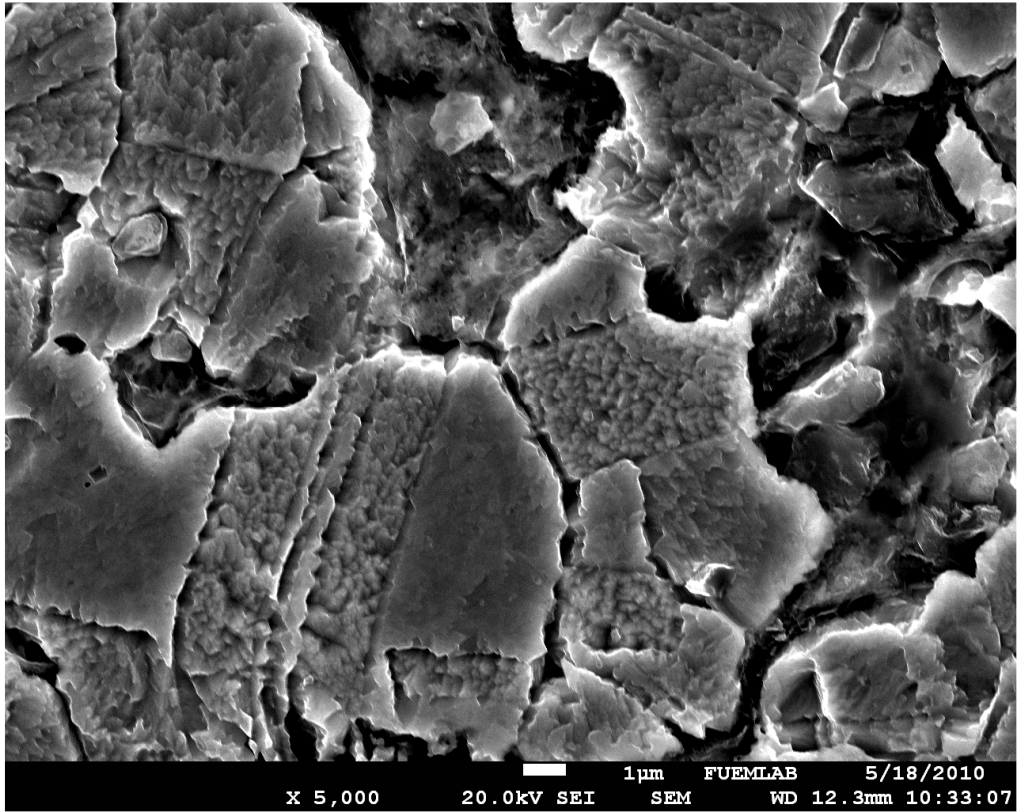


b)

Şekil 5.10. III nolu numunenin SEM görüntüsü, 1000X (a); 20000X (b)



a)



b)

Şekil 5.11. IV nolu numunenin SEM görüntüsü, 1000X (a); 5000X (b)

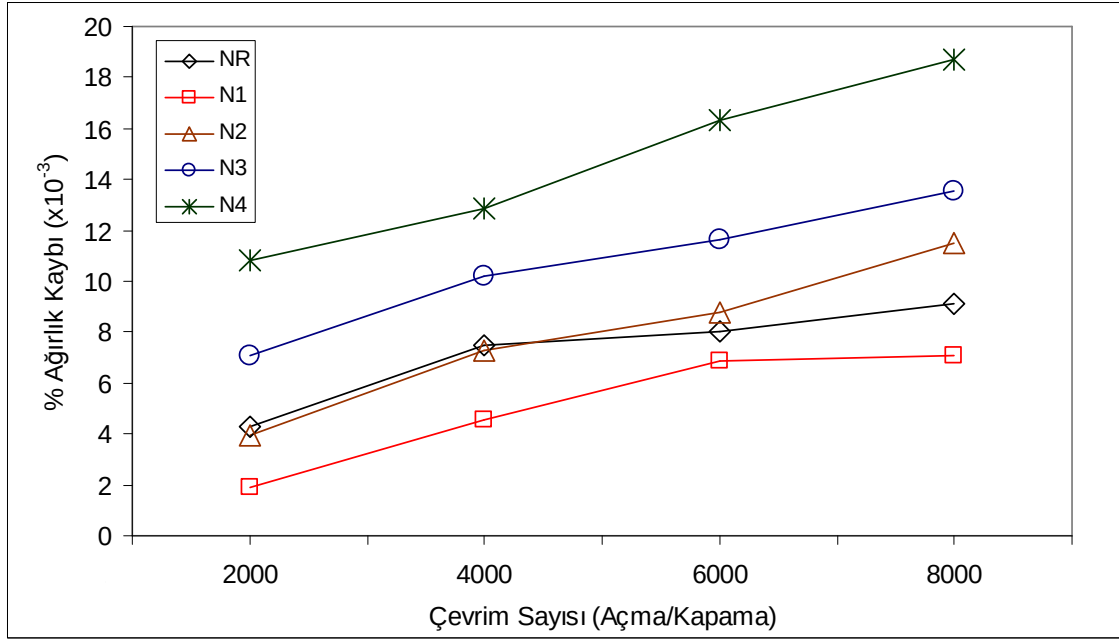
Tüm numunelerin mikroyapı görüntülerinde preslenme esnasında matrisin plastik deformasyonu sonucu ikizlenme bölgelerinin oluştuğu söylenebilir. Bu durum Özay [43] 'ın çalışması ile uyumludur. İkiz oluşumunun; yani plastik deformasyonun, Matthiessen kuralına göre iletkenliği olumsuz yönde etkilediği bildirilmektedir [45 ve 46]. Dolayısı ile bu ikizlenmeleri giderici bir tavlama yapılmasının iletkenliği arttıracak tahmin edilmektedir. Tavlama ile referans numunenin iletkenliğinin % 89 IACS'den % 95 IACS seviyelerine kadar çıkması beklenmektedir. Şekil 5.7'deki referans numunenin mikroyapı görüntülerinden sinterleme işleminin oldukça başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.8'deki N1 numunesinin fotoğraflarından yapıdaki mikro gözenekler ve bu gözenekler arasında sinterlenme esnasında oluşan boyunlar görülmektedir. B_2O_3 'ün muhtemelen bu mikro gözeneklerde ve tane sınırlarında toplandığı ve Cu ile herhangi bir bileşik oluşturmadığı düşünülmektedir. Şekil 5.9, 5.10 ve 5.11'deki sırasıyla verilmiş olan N2, N3 ve N4 numunelerinin fotoğraflarına bakıldığında ise B_2O_3 oranının artışına bağlı olarak tanelerin küçüldüğü ve ikizlenme etkisiyle mikro gözeneklerin arttığını söylemek mümkündür. Yani artan B_2O_3 miktarı sinterleme esnasında tane irileşmesine engel olduğu söylenebilir. Özellikle N4 numunesinin fotoğrafından açıkça görülebileceği gibi mikro gözeneklerin tane sınırlarında yoğunlaşması mukavemetteki ve iletkenlikteki düşüşün sebebidir.

5.6. Kontak Ömrü (Aşınma) Deney Sonuçları

Kontak malzemelerinin servis ömrünü belirleyebilmek amacıyla kontak ömrü deneyleri yapılmıştır. Elektrik kontaklarında çalışma (açma/kapama) esnasında sütun şeklinde ark meydana gelmektedir. Bu ark sütunu çok yüksek sıcaklıklarda oluşmaktadır ve kontak yüzeyinin çok küçük bir noktasına isabet etmektedir. Dolayısı ile sürekli çalışma sonucunda kontak yüzeyinde bölgesel ergimeler meydana gelmektedir. Tüm bu sıcaklık yükselmesi ve ergime olayları bir araya geldiğinde kontak yüzeylerinde oksit tabakları oluşarak kontakların özelliğini kaybedip sağlıklı çalışmasını güçleştirmektedir.

B_2O_3 'ün en önemli özelliklerinden birisinin de oksit çözme yeteneği olduğu unutulmamalıdır. Bu özelliği sayesinde özellikle sert lehimleme endüstrisinde geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu sebeple B_2O_3 'ün ark oluşumu sebebiyle meydana gelen oksitleri çözmesi ve kontak özelliklerini olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir.

Tablo 5.3’de 1000W ‘lık elektrik yükü altında belirli bir çevrim sayısı sonucu malzemelerde meydana gelen yüzde ağırlık kayıpları verilmiştir. Şekil 5.12’de ise elde edilen bu veriler grafiğe dönüştürülmüştür.



Şekil 5.12. Çevrim sayısı ile yüzde ağırlık kaybı değişimi

Tablo 5.3. Kontak Ömrü deneylerinde ölçülen yüzde ağırlık kayıpları

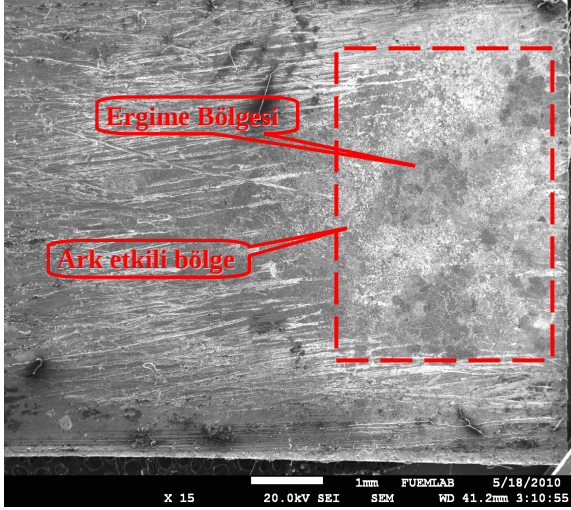
Kontak Malzemesi	%0 B ₂ O ₃	%1 B ₂ O ₃	%3 B ₂ O ₃	%5 B ₂ O ₃	%7 B ₂ O ₃
Çevrim Sayısı	% Ağırlık Kaybı				
2000	0,0043	0,0019	0,004	0,0071	0,0108
4000	0,0075	0,0046	0,0073	0,0101	0,0128
6000	0,008	0,0069	0,0088	0,0116	0,0163
8000	0,0091	0,0071	0,011	0,0135	0,0187

Kontak ömrü deneylerinde tüm numuneler ilk ağırlıkları tartıldıktan sonra deney düzeneğine monte edilerek 1000W elektrik yükü altında 2000 çevrim yapması sağlanmış ve bu çevrim sonunda düzeneden alınarak tekrar ağırlıkları ölçülmüştür. Bu işlem 8000 çevrim sayısına kadar devam etmiştir. Böylece kontak numunelerinin meydana gelen ağırlık kayıpları ölçülebilmıştır. Şekil 5.12 ‘deki grafikten de hemen anlaşılacağı gibi

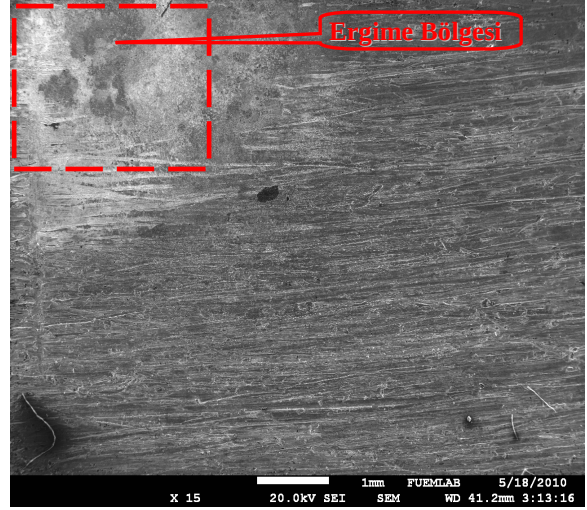
ağırlıkça %1 B₂O₃ katkısı ile ağırlık kaybı minimum düzeyde olmuştur. Genel olarak tüm deney malzemelerinde çevrim sayısının artışı ile % ağırlık kaybı oranlarının arttığı görülmektedir. Bu durum, Güler [9]'in ve Bıyık [32]'in çalışmaları ile uyum göstermektedir. Çevrim sayısının artışı ile ağırlık kaybındaki artış kontak yüzeyindeki bakır oksit bileşiklerinin artmasından kaynaklanmaktadır. Bakır oksit miktarının artması kontak direncini artırarak kontaklar arasında ark oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Ana matrise göre daha fazla sertliğe sahip olan bakır oksit, kontağın kapanması sırasında mekanik etkiyle kırılmakta ve kırılan bu parçacıkların, artan kontak sayısı ile boyutları daha da küçülmektedir. Bu esnada kontağın devreyi anahtarlamasından dolayı meydana gelen ark sebebiyle bu küçük boyutlu tozlar, yüzeyden kontak alanı dışına itilmektedir. Bu sayede kontaklardaki kayıplar geri beslemeli bir mekanizmayla artmaktadır [9]. En fazla ağırlık kaybının görüldüğü kontak malzemesi %7 B₂O₃ katkılı olanıdır. Dolayısı ile kontak ömrü açısından en uygun bileşimlerin % 3 ve özellikle % 1 katkı oranlarında elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bu durum da literatür ile uyumaktadır.

Elektrik yükü altında, 8000 açma-kapama sonrasında, numunelerin genel yüzey görünüşlerindeki değişimleri anlayabilmek amacıyla Şekil 5.13 a, b, c, d ve e 'de sırasıyla %0, 1, 3, 5 ve 7 B₂O₃ katkılı numunelerin 15 büyütmedeki taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları verilmiştir.

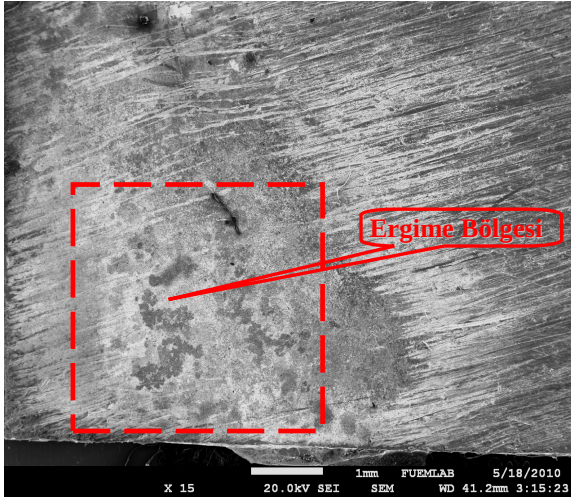
Fotoğraflardan numune yüzeylerinde üç bölgenin varlığı görülmektedir. Bunlar; arkten etkilenmeyen bölge, ark etkili bölge ve ark etkili bölgenin içinde kalan ergime bölgeleridir. Fotoğraflarda ark etkili bölgeler deney esnasında meydana gelen arkten etkilenerek bozulmaya uğramış bölgelerdir ve bu bölgeler fotoğraf üzerinde kesik çizgili dikdörtgen içerisine alınmıştır. Her numunede ark etkili bölgenin farklı büyüklükte olduğu görülmektedir. Fotoğraflardan hemen anlaşılacağı üzere Şekil 5.13 b'de görülen %1 B₂O₃ katkılı numunede, ark etkili bölgenin oldukça küçük bir alana isabet ettiği dolayısı ile arkten en az etkilenen numune olduğu görülmektedir. Bu durum ağırlık kaybı ölçümleri ile de uyumaktadır. Çünkü çevrim sayısına bağlı olarak en az ağırlık kaybı %1 B₂O₃ katkılı numunede meydana gelmiştir. %3 B₂O₃ katkısında ark etkili bölgenin genişliği %0 B₂O₃ katkılı referans numuneninki ile hemen hemen aynı iken; %5 B₂O₃ katkısında bölge bir miktar genişlemiş ve %7 B₂O₃ katkısında ise bölge oldukça geniş bir alana yayılmıştır.



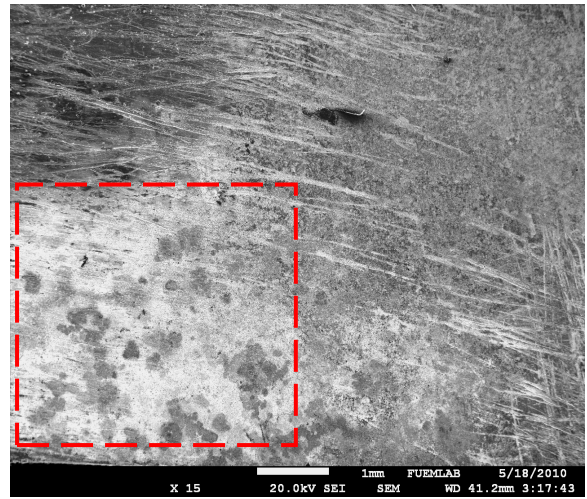
a)



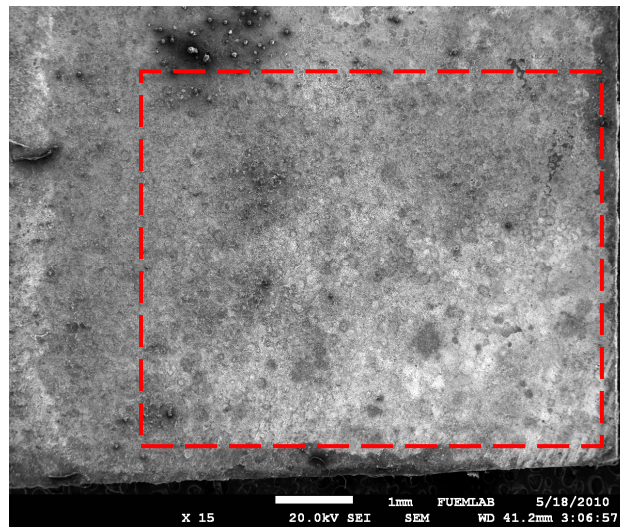
b)



c)



d)



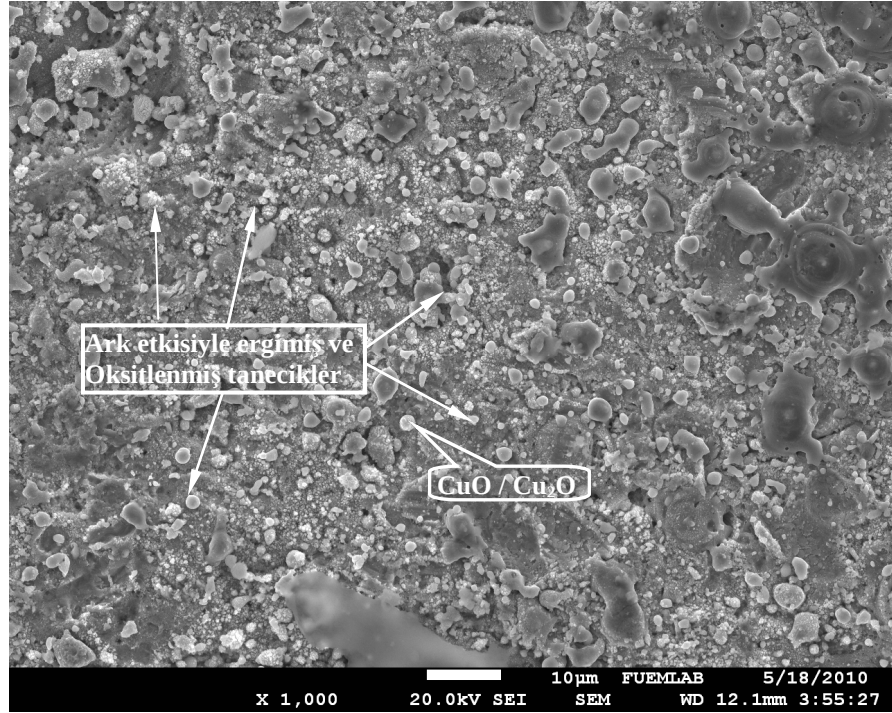
e)

Şekil 5.13. 8000 açma-kapama sonrası numunelerin 15 büyütmedeki genel yüzey görünüşleri;
(a) %0 B_2O_3 , (b) %1 B_2O_3 , (c) %3 B_2O_3 , (d) %5 B_2O_3 , (e) %7 B_2O_3 katkılı numuneler

Şekil 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 ve 5.18 'de sırasıyla %0, 1, 3, 5 ve 7 B_2O_3 katkıli numunelerden elektrik yükü altında 8000 açma-kapama sonrası (a) 500X ve (b) 1000X büyütmede alınan SEM görüntüleri verilmiştir.

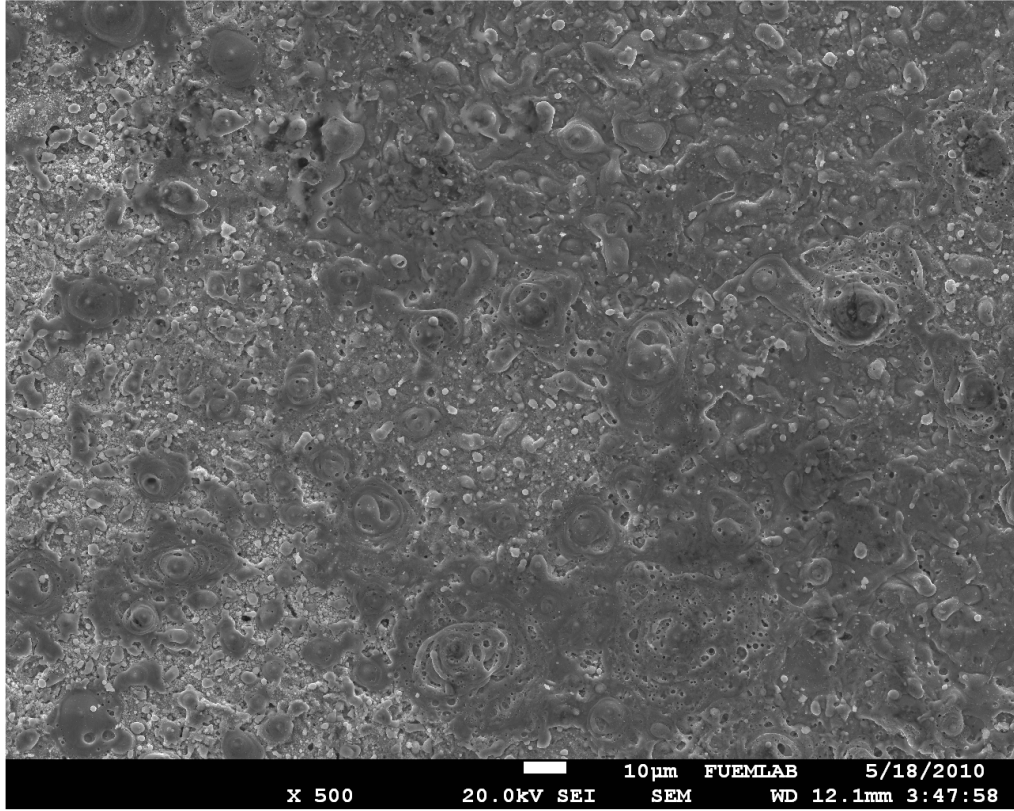


a)

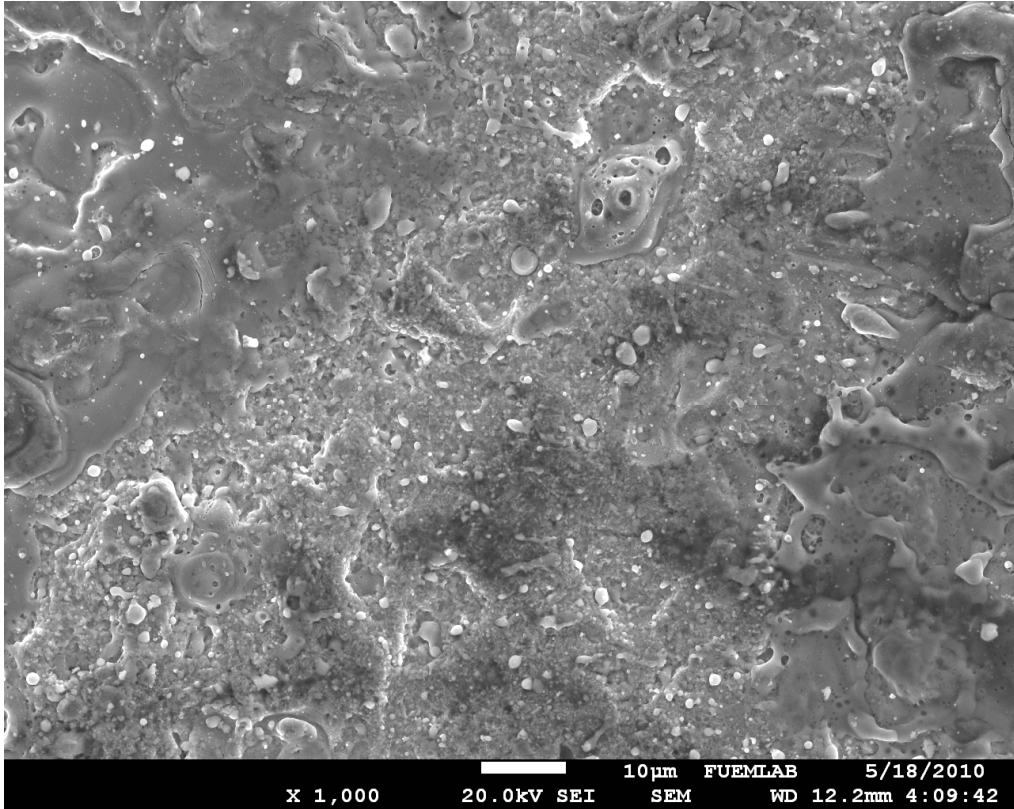


b)

Şekil 5.14. Ref. numuneden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı

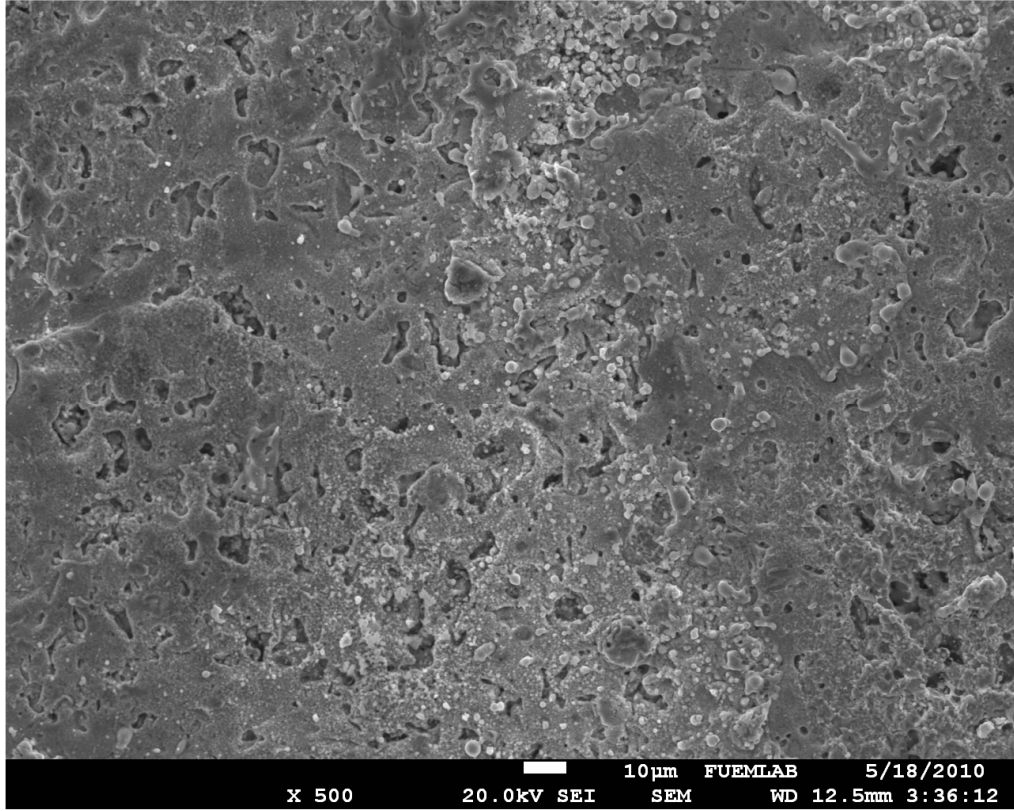


a)

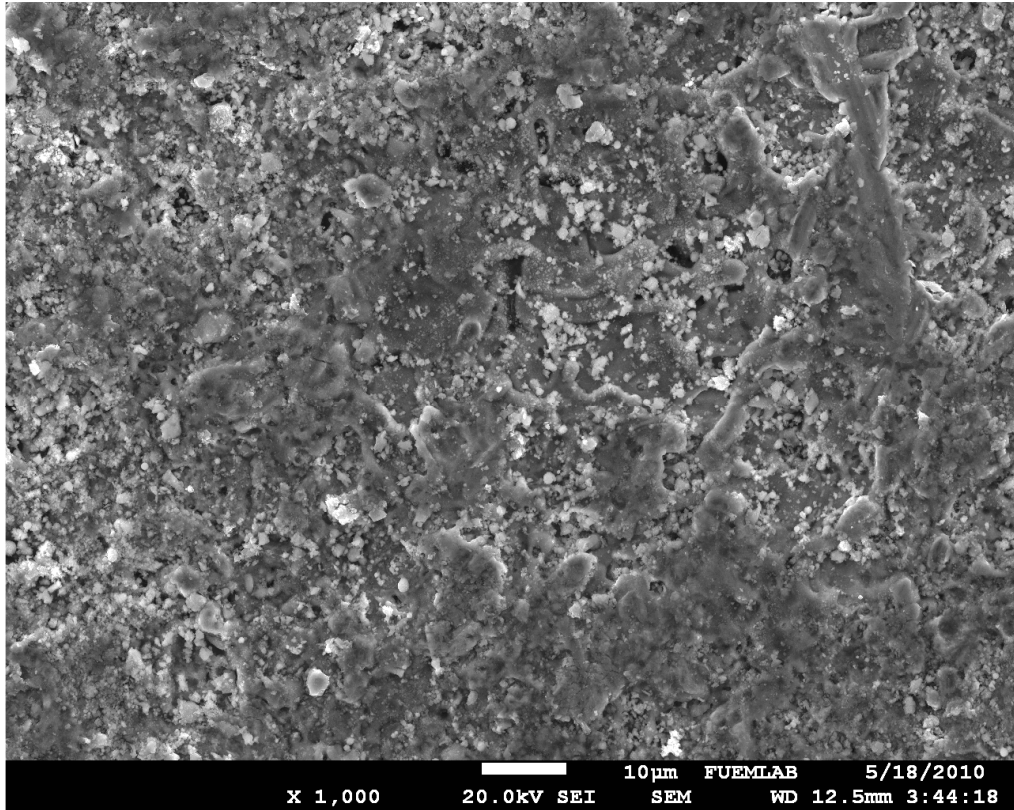


b)

Şekil 5.15. N1 numunesinden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı, 500X(a), 1000X(b)

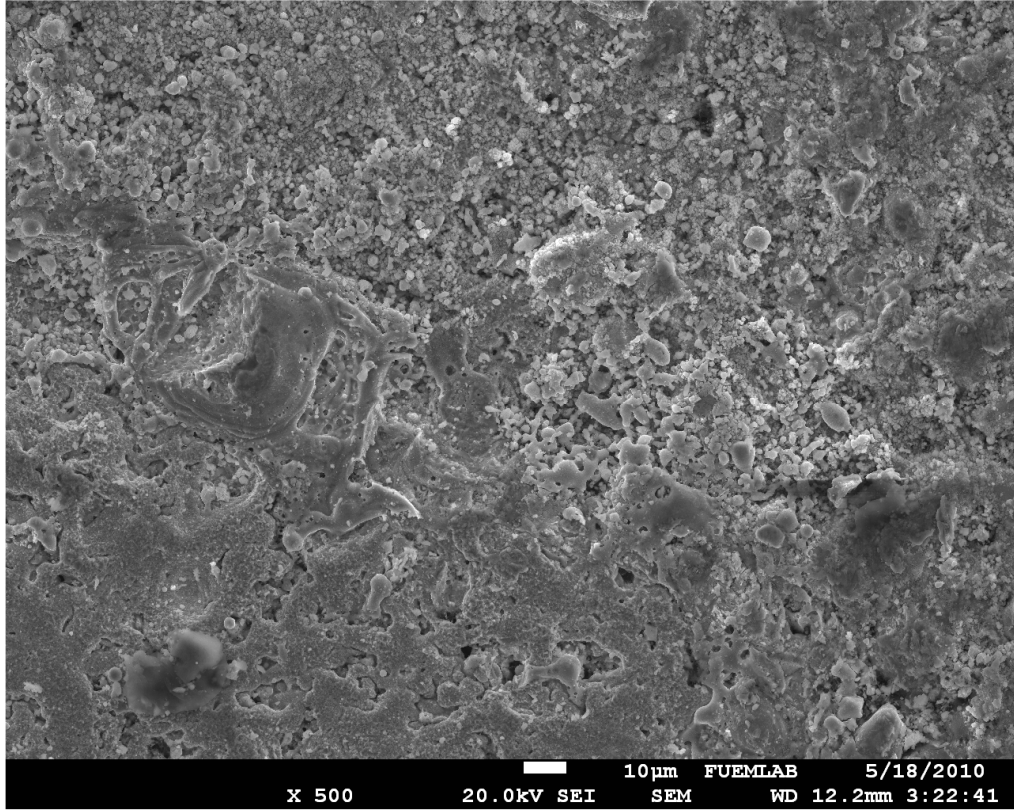


a)

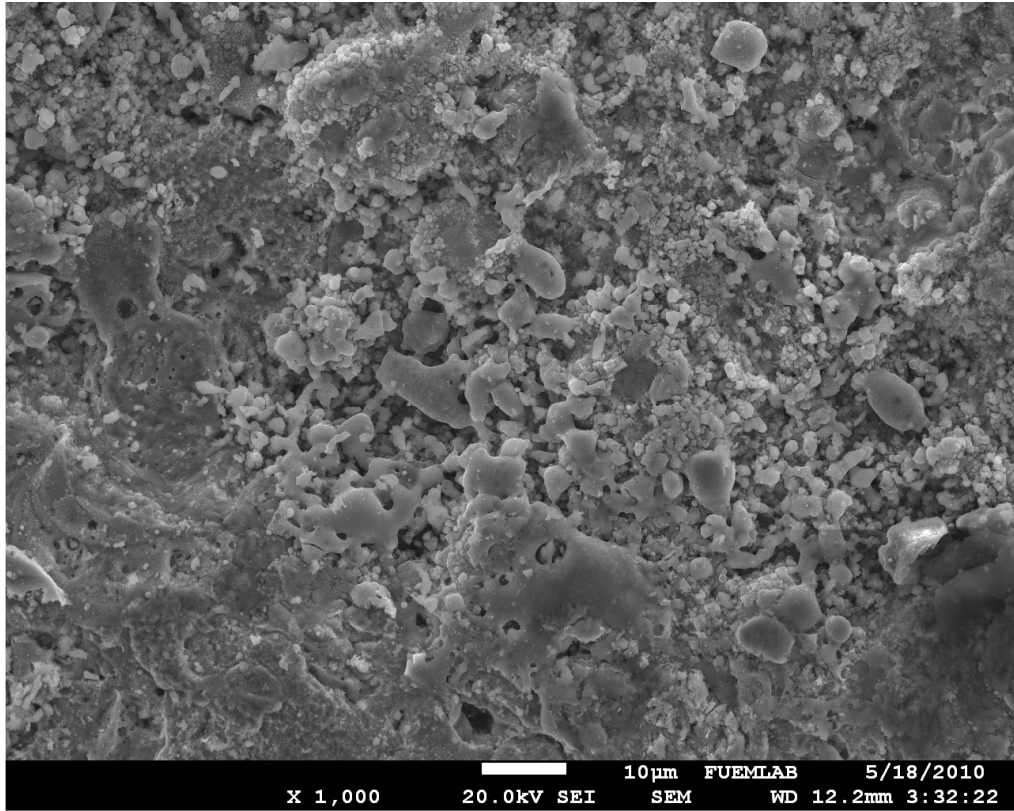


b)

Şekil 5.16. N2 numunesinden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı, 500X(a), 1000X(b)

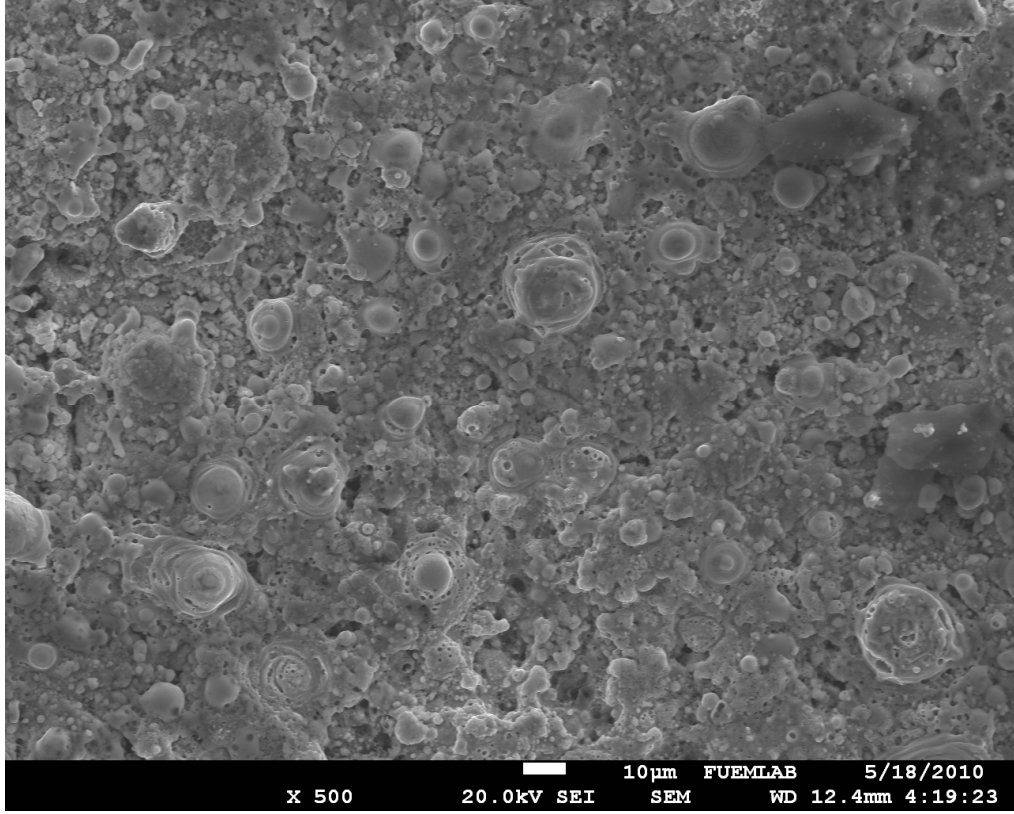


a)

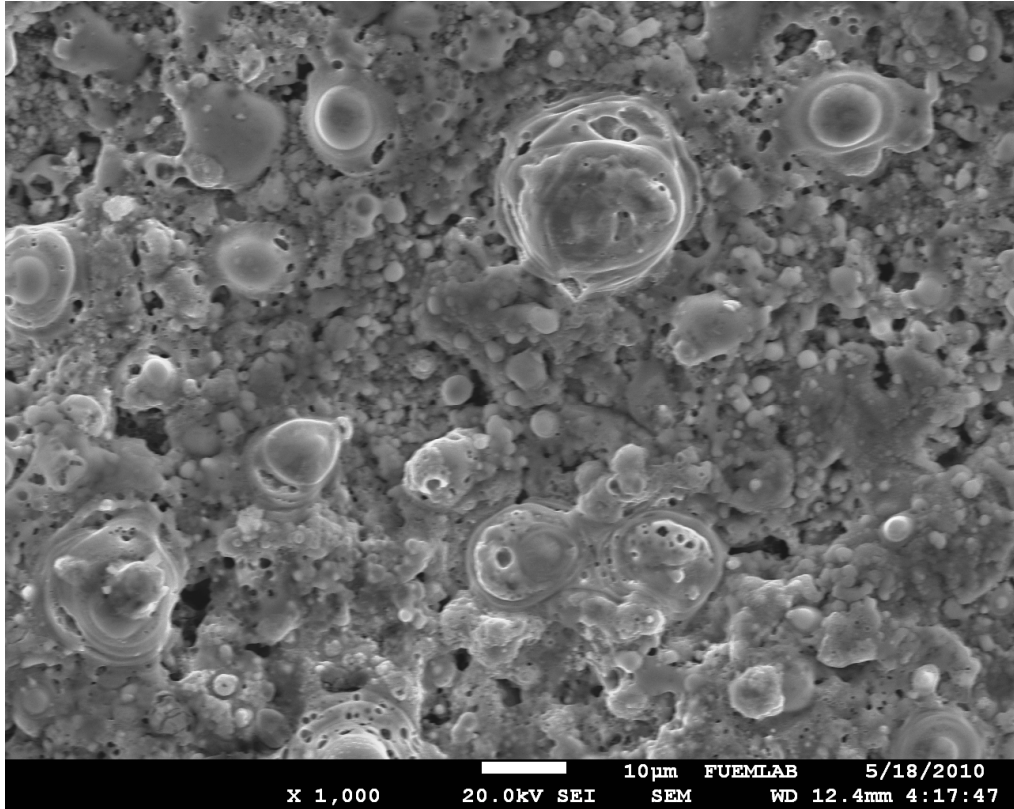


b)

Şekil 5.17. N3 numunesinden 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı, 500X(a), 1000X(b)



a)



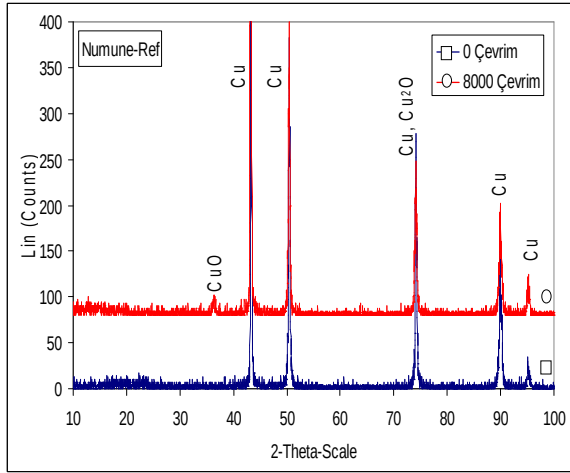
b)

Şekil 5.18. N4 numunesinin 8000 çevrim sonrası alınan SEM fotoğrafı 500X(a), 1000X(b)

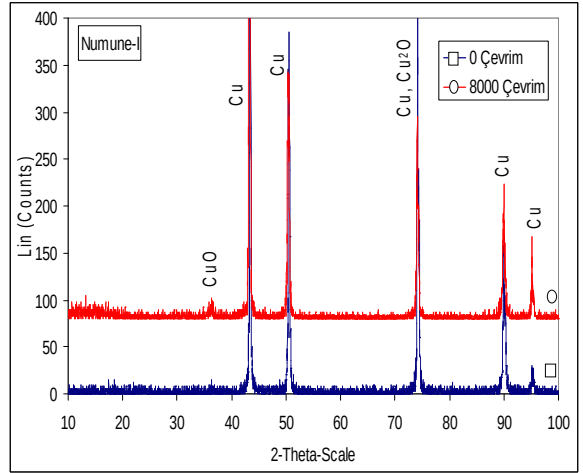
8000 çevrim sonrası numunelerin yüzeyinden 1000X büyütmede alınan fotoğraflar incelendiğinde tüm numunelerde ark etkisiyle bölgesel ergimelerin meydana geldiği gözlenmektedir. Bunun kanıtı fotoğraflarda görülen küre veya ergime damlaları şeklindeki yapılardır. Bu yapının yüzeyden ayrılan toz parçacıklarının ergiyerek küre formuna dönüşmesi ve artan kontak sayısı ve arkın tesiri ile oksitlenerek oluştuğu söylenebilir. Bu durum Güler [9]'in ve Temborius [35]'un çalışmaları ile de uyusmaktadır. Şekil 5.14 'de görülen %0 B_2O_3 katkılı numunenin 8000 çevrim sayısı sonrasında alınan fotoğrafında bozulmamış bölgeler ve arkın yoğunlaştığı kısımlarda ise oksit tabakalı bölgeler oluşmuştur. Buradaki oksit tabakaları CuO ve/veya Cu_2O bileşimindedir. Şekil 5.15 'deki %1 B_2O_3 katkılı numunenin fotoğrafına bakıldığında referans numuneye göre ark etkili ergime bölgelerinin daha da azaldığı ve ergiyerek küresel form alan oksitli tane boyutlarının daha küçük ve ince olduğu görülmektedir. Ayrıca bazı ergimiş taneciklerin mekanik tesir ile küresel şeklini kaybederek levha halinde düzlemsel bir hal aldığını söylemek de mümkündür. Şekil 5.16 'daki %3 B_2O_3 katkılı numunenin fotoğrafı incelendiğinde küre şeklindeki oksitli tanelerin ince bir formda geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. Ayrıca ergimelerin yoğunlaştığı bölgelerde boşlukların veya çatlakların oluştuğu da dikkat çekmektedir. Şekil 5.17 ve 5.18 'deki sırasıyla %5 ve 7 B_2O_3 katkılı numunelerin fotoğraflarında numune yüzeylerinin ark etkisiyle oldukça tahrip olduğu görülmektedir. Ergiyerek küresel form almış tanecikler daha iri boyutlarda ve tüm yüzey boyunca dağılmıştır. Bu durum %7 B_2O_3 katkılı numune fotoğrafında daha açık bir şekilde fark edilmektedir. Küre şeklindeki tanecikler oldukça iridir ve bir su damlası şekline benzeyen görüntü oluşturmuşlardır. Bu durum oksit miktarının artışıyla bağlantılı olarak kontak yüzey direncinin artması ve dolayısı ile yüzeyde meydana gelen arkta daha fazla ısı üretilmesi sebebiyledir. Ark etkisiyle daha fazla ısınan numunelerde ergimelerde daha fazla olmakta ve ergimiş taneciklerde birleşerek daha büyük küresel formlar oluşturmaktadır. Dolayısı ile ergimenin arttığı numunelerde aynı oranda ağırlık kaybının da daha fazla meydana gelmesi beklenmektedir. Bu açıdan mikro yapı fotoğrafları ağırlık kaybı ölçümü sonuçları ile uyumludur.

5.7. XRD Sonuçları

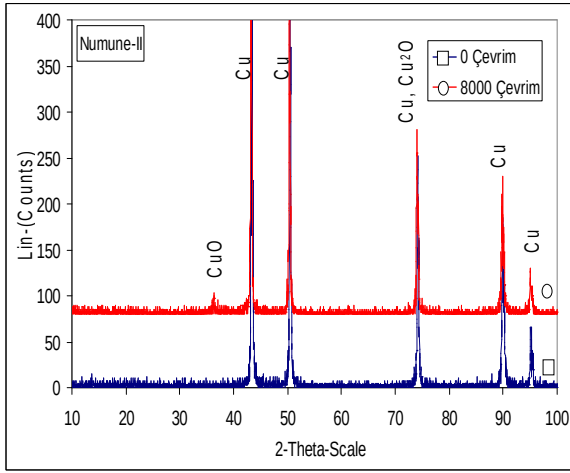
Şekil 5.19. a,b,c,d ve e'de numunelerin kontak deneyi öncesi ve sonrası (8000 çevrim) XRD grafikleri her numune serisi için aynı resim üzerinde verilmiştir.



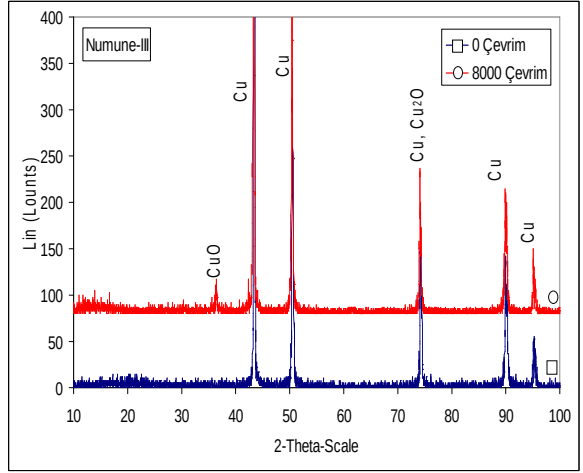
a)



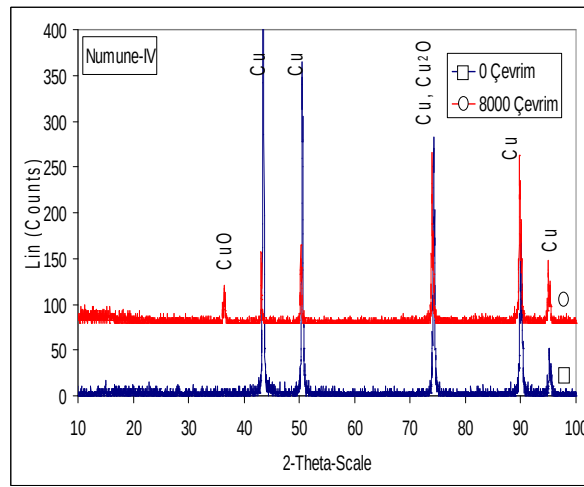
b)



c)



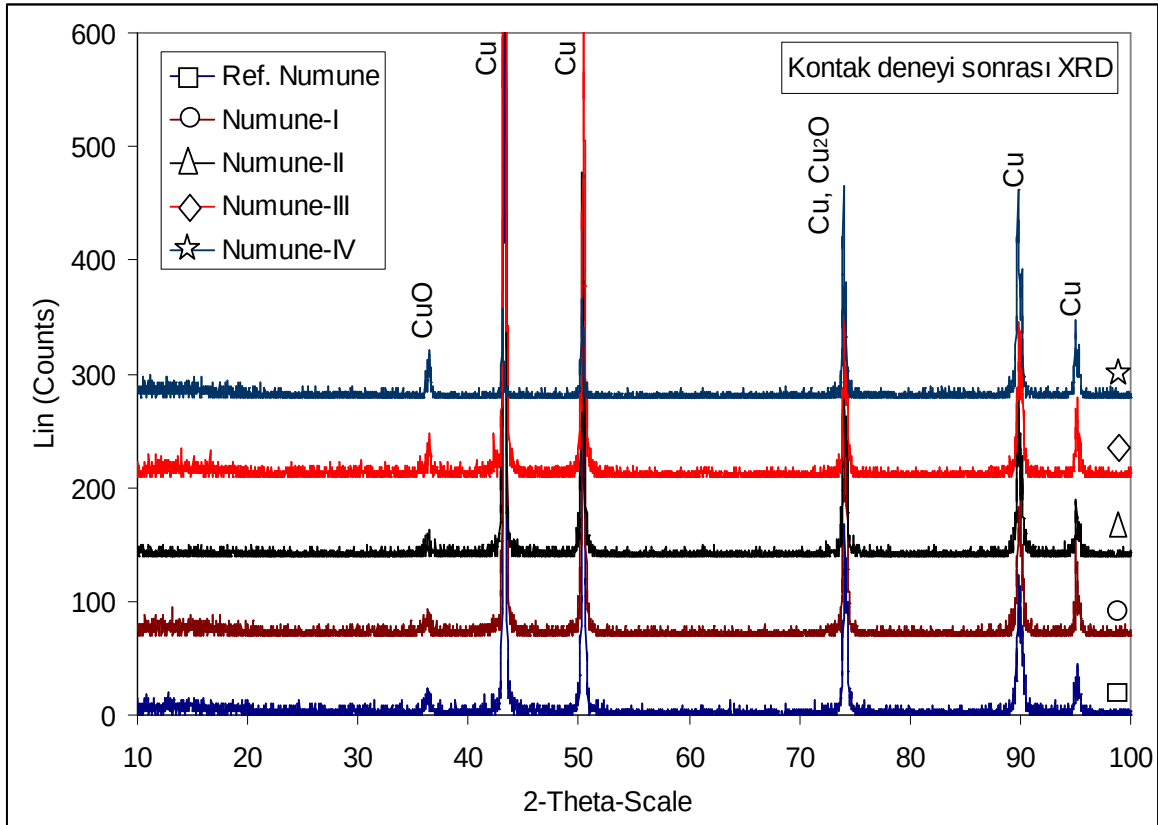
d)



e)

Şekil 5.19. Numunelerin kontak deneyi öncesi ve sonrası XRD analiz grafikleri, Referans numune (a), I nolu numune (b), II nolu numune (c), III nolu numune (d), IV nolu numune (e)

XRD grafiklerinden de anlaşılaçağı üzere kullanılan B_2O_3 amorf olduğı ve Cu ile arasında hiçbir bileşik oluşmadığı için XRD pikleri görülememiştir [44]. Kontak deneyleri sonucunda (1000W elektrik yükü altında 8000 çevrim) numunelerde ortaya çıkan 1 numaralı pik (ilk pik) CuO bileşimini temsil etmektedir. Bu durum mikroyapı fotoğraflarıyla da uyuşmaktadır. CuO ve Cu_2O bileşiklerinin iletkenliğı olumsuz yönde etkilediğı bilinmektedir. Bu pikin şiddetinin IV numaralı numunede en şiddetli ve I numaralı numunede de en az şiddetli oluşu dikkat çekmektedir. Ayrıca IV numaralı numunede kontak deneyi sonrası piklerin şekli oldukça değışmiş 3 ve dört numaralı Cu piklerinin şiddeti oldukça düşmüştür.



Şekil 5.20. Numunelerin kontak deneyi sonrası XRD analiz grafikleri

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Cu tozuna farklı oranlarda B_2O_3 tozu ilave edilerek toz metalurjisi ve sıcak presleme teknikleri ile elektrik kontak (temas) malzemelesi numuneleri üretilmiş ve üretilen bu numuneler yoğunluk, sertlik, üç noktalı eğme, iletkenlik, mikroyapı, kontak ömrü (aşınma) testi ve XRD incelemelerine tabi tutulmuştur.

1. Yoğunluk incelemelerinde, teorik yoğunluğa en fazla yaklaşan numunenin %1 B_2O_3 katkılı N1 numunesinin olduğu gözlenmiştir. Teorik yoğunluğa en uzak yani en fazla gözenekli numunenin ise %7 B_2O_3 katkılı N4 numunesi olduğu anlaşılmıştır.
2. Sertlik deneylerinde, B_2O_3 oranının artışı ile numunelerin sertliğinin arttığı ve en yüksek setliğin 79 HB olduğu görülmüştür. N1 numunesinin ise 55 HB sertliğe sahip olduğu anlaşılmıştır ve bu değerin referans numuneye göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
3. Üç noktalı eğme deneyleri sonuçlarından, B_2O_3 oranının %1 olması ile referans numuneye göre dayanımın arttığı ve yüzde uzamanın bir miktar düştüğü görülmüşken B_2O_3 oranının daha da artışı ile referans numuneye göre dayanımın azaldığı ve yüzde uzamanın da önemli derecede düştüğü gözlenmiştir.
4. İletkenlik incelemelerinde, B_2O_3 oranının artışı ile % IACS değerinde önemli derecede bir düşüş gözlenmiştir.
5. Mikroyapı incelemelerinde, tüm numunelerde sıcak presleme etkisiyle ikiz yapıların oluştuğu ve ayrıca %3 – 5 ve 7 B_2O_3 katkılı numunelerde gözenek oranının oldukça fazla olduğu anlaşılmıştır. Bu gelişmenin mukavemet ve iletkenlikteki düşüşün sebebi olduğu sonucuna varılmıştır.
6. Kontak ömrü (aşınma) deney sonuçlarından, tüm numunelerde kontak sayısının artışı ile ağırlık kaybının da arttığı gözlenmiştir. Ayrıca en az ağırlık kaybının %1

B₂O₃ katkılı numunede ve en fazla ağırlık kaybının da %7 B₂O₃ katkılı numunede olduğu tespit edilmiştir. Kontak ömrü deneylerinden sonra alınan mikroyapı fotoğraflarından numune yüzeylerinde; arktan etkilenmeyen, ark etkili ve ergime bölgeleri olmak üzere üç farklı bölgenin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu mikro yapı incelemelerinde ark etkisiyle numune yüzeylerinin oksitlendiği ve bu oksitin toz filmi şeklinde yüzeyleri kapladığı anlaşılmıştır. Ark etkili ve ergime bölgelerinin en az görüldüğü numunenin %1 B₂O₃ katkılı numune olduğu gözlenmiştir. Bu durumun ağırlık kaybı sonuçları ile de uyduğu sonucuna varılmıştır.

7. XRD incelemeleri neticesinde B₂O₃ 'in amorf olması sebebiyle pik vermediği ve Cu ile herhangi bir faz veya bileşik oluşturmadığı gözlenmiştir. Kontak ömrü deneyleri (8000 çevrim) sonrasında yapılan XRD incelemelerinde ise tüm numunelerde yeni bir CuO pikinin ortaya çıktığı, bu pikin %1 B₂O₃ katkılı numunede en düşük seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.
8. Tüm bu sonuçlardan hareketle hem mevcut kontak malzemelerine nazaran bazı özelliklerdeki gelişme ve hem de maliyetinin düşük olması açısından endüstriyel amaçlı kontaktörlerde ağırlıkça %1 B₂O₃ katkılı Cu-B₂O₃ bileşimindeki malzemelerin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

7. ÖNERİLER

- Özellikle gözenekli oldukları gözlenen % 5 ve %7 B₂O₃ katkılı numunelere gümüş infiltrasyonu uygulanabilir. Bu durumda hem mekanik özelliklerin ve hem de öz iletkenliğin artması beklemektedir.
- Bor karbür (B₄C), ferro bor (FeB), kübik bor nitrür (CBN) gibi bor ürünleri de Cu veya Ag ile katkılandırılarak, kontak malzemesi olarak üretilip özellikleri araştırılabilir.
- Cu ve B₂O₃ tozlarının tane boyutlarının iletkenlik ve mekanik özelliklere etkileri araştırılabilir.
- Kontak ömrü deneyleri farklı elektrik gücü ile çalışan düzeneklerde gerçekleştirip elektrik gücünün ve akımın etkisi araştırılabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] **Bloor, D., Brook, R.J., Flemings, M.C., and Mahajan, S.,** 1999. The Encyclopedia of Materials, Pergamon Press, Oxford.
- [2] **Bostan, B.,** 2003. Alüminyum-Karbon Tozlarından Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle Al₄C₃ Sentezlenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [3] **Suryanarayana, C.,** 2001, Mechanical Alloying and Milling, Progress in Materials Science, vol. 46, pp. 1-184.
- [4] **Fındık, T.,** 2002, Mekanik Alaşımlama Değirmeninde Öğütülmüş 17-4 Çökelti Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelik Tozların Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [5] **Benjamin JS.,** 1990, Metal Powder Rep, 45:122-7.
- [6] **Sago, A.S., Newkirk, J.W., and Brasel, G.M.,** 1997, Rapid Mechanical Alloying For Metal Powder Production, Adv. in PM, vol. 2, part 11-3.
- [7] **Aslanoglu Z.,**1994, Demir-Karbon Sisteminin Mekanik Alaşımlama Tekniği ile Üretim Süreçlerinin incelenmesi ve Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [8] **Besterci, M., and Kohutek, K.S.,** 1999, Analysis of Arrangement of Particles in Thin Foil of Al-Al₄c₃ Material, Journal of Materials Science, 34:1055-1060.
- [9] **Güler Ö.,** 2006, Oksit takviyeli Bakır kompozitin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ,
- [10] **Suryanarayana, C.,** 2004, Mechanical Alloying and Milling, Marcel Dekker, New York.
- [11] **Soni, P.R.,** 2001, Mechanical Alloying Fundamentals and Applications, Cambridge International Science Publishing, Cambridge.
- [12] **Başıoğlu, M.,** Mekanik Alaşımlama Yönteminin YBa₂Cu₃O_{7-x} Superiletkenin Yapısı Üzerine Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [13] **Haris, R.J.,** 2002, Mathematical Modelling of Mechanical Alloying, *PhD Thesis*, Nottingham Univesity.

- [14] **El-Eskandarany, M.S.**, 2001, Mechanical Alloying For Fabrication of Advanced Engineering Materials, William Andrew Publishing, New York.
- [15] **Kayış, V.**, 2005, Kısmi ve Ön Alaşımli Demir Tozları İçerisine Katılan B ve FeB İlavelerin Sinterleme Davranışları ve Mekanik Özelliklere Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Suk-Joong, L.,Kang**, 2005, Sintering, Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington.
- [17] **Çetinkaya, Ş.**, 2005, Karbon Katkılı Alaşımli Demir Tozu Paletlerinin Sinterleme Sonrası Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Somunkıran, İ.**, 2006, Kobalt Esaslı Alaşımların Toz Metalurjisi yöntemiyle Üretilmi, Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ,
- [19] **Planse**, 1995, Materials For Elecontacts, Fatih Tola, Çeviri.
- [20] **Gurevich, V.**, 2006, Electric Relays Principles and Applications, Taylor Francis Group, 49-89.
- [21] **Branovic, M., Konchits, V, V., Myshkin, K, N.**, 2006, Electrical Contacts Fundamentals, applications and Technology, Taylor Francis Group.
- [22] **Gülsoy, Ö.**, 1996, Toz Metalurjisi Süreçleriyle Üretilen Demir Esaslı Yapısal Parçaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [23] **Aslanoglu Z.**, 1998, Toz Hazırlama Yöntemlerinin W65 Ag35 Elektrik Kontaklarının Üretim Süreçlerine Etkilerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [24] **Deniz, E, M.**, 2005, Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzenek Tasarım ve İmalatı, *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- [25] **Kürün, E.**, 2006, Dinamik Ark Modelleri ve Devre Kesicilerin Bilgisayar Simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [26] **Edwards L., Endean M.**, 1990, Materials in Oction Series Manufacturing With Materials, vol. 4, pp. 27-43, The Open Univesity, England.
- [27] **Draper A, B., Niebel B.W.**, 1989, Product Design And Process Engineering, McGraw Hill Singapore.
- [28] Electrical Contact Materials, Condenset From Metals Handbook, Vol.3, Pp. 662 – 695.

- [29] **Evin, E., Güler, Ö.**, 2008, The investigation of contact performance of oxide reinforced copper composite via mechanical alloying, Journal of Materials Processing Technology, Article in Press,
- [30] **Aslanoglu Z.**, 1998, Toz Hazırlama Yöntemlerinin W65 Ag35 Elektrik Kontaklarının Üretim Süreçlerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [31] **Ersümer, A.**,1970,Toz Metalurjisi Sert Metal / Sinterleme, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [32] **Bıyık, S.**, 2006, Toz Metalurjisi Yöntemiyle Gümüş – Bor oksit Esaslı Kontak Malzemesi Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [33] Türk Toz Metalurjisi Derneği Online Yayını “Powder Metallurgy”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, www.turkishpm.org, Ankara.
- [34] **Ünlü, B.S. ve diğerleri**, 2009, Toz Metal Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:50, Sayı:588.
- [35] **Temborius, S., ve diğ.**, 2000, Switching Behavior of Different Contact Materials for Vacuum Interrupters under Load Switching Conditions, XIXth International Symposium On Discharges And Electrical Insulation In Vacuum
- [36] **Lopez, M., ve diğ.**, 2005, Performance and characterization of dispersion strengthened Cu–TiB₂ composite for electrical use.
- [37] **Grant JN, Lee A, Lou M.**, 1984, “Multiple hardening mechanisms for high strength high temperature, high conductivity copper base alloys”, Proc Con On High Conductivity Copper and Aluminium Alloys, California, pp. 103–11.
- [38] **Varol, A. ve Yıldırım, M.,M.**, 1987, Yüksek Krom-Nikel Alaşımlı Çelikler İçin Yeni Bir Kullanım Alanı, Metalürji Dergisi, Sayı 51, , S: 12-14
- [39] **Hussain, Z., ve diğ.**, 2005, Studies On Alumina Dispersion Strengthened Copper Composites Through Ball Milling And Mechanical Alloying Method, Jurnal Teknologi, 43(A).
- [40] **Koçak, H.**, 2006, Bakır Alaşımları El Kitabı, III. Baskı, Yonca Ajans - Ofset Matbaacılık.
- [41] **Çelik E.**, 2009, Elmaslı Kesici Takımlarda Alternatif Bağlayıcılar, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [42] **Altınsoy, İ.**, 2009, Alümina Takviyeli Bakır Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

- [43] **Özay, Ç.**, 2004, T/M Yöntemi İle Üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ Kompozitinde C Oranın Abrasiv Aşınma Dayanımına Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- [44] **Töre, İ., ve Ay, N.**, 2004, Amorf Bor Oksit Eldesi ve Karakterizasyonu, Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Güven GÖK, 1984 yılında Gaziantep’te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gaziantep’te tamamladı. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünü kazandı ve 2008 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. Hiç ara vermeden yine 2008 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen aynı anabilim dalında yüksek lisans çalışmalarına devam etmektedir.