

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE GÜMÜŞ – BOR OKSİT ESASLI  
KONTAK MALZEMESİ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serkan BIYIK**

**TEMMUZ 2008  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE GÜMÜŞ – BOR OKSİT ESASLI  
KONTAK MALZEMESİ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Serkan BIYIK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Yüksek Lisans (Metalurji ve Malzeme Mühendisliği)”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.06.2008  
Tezin Savunma Tarihi : 25.07.2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU**

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. Sultan ÖZTÜRK**

**Enstitü Müdürü V.: Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2008**

## ÖNSÖZ

Toz metalurjisi günümüzde birçok uygulama alanı bulmuştur. Bunlardan birisi de elektrikle çalışan cihazların kontak ünitelerinde meydana gelen ark erozyonuna dayalı bozulmalarda farklı maddelerle oluşturulan metal örnekleridir. Bu çalışmada Ag-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kontaklarda B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının ark erozyonuna etkisi ve ark yüzeylerindeki aşınmalar incelenmiştir. Bunun için laboratuarda özel bir deney düzeneği kurularak çeşitli ölçümler yapılmıştır.

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın; konu belirlenmesi, tez çalışma süreci, sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlama aşamalarında değerli yönlendirme ve katkılarda bulunan, ilgi ve sabır gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Fazlı ARSLAN'a öncelikle şükranlarımı arz ediyorum. Çalışmamın her bir aşamasında görüş ve düşüncelerinden yararlandığım Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünün değerli öğretim üyeleri Doç. Dr. Sultan ÖZTÜRK, Yrd. Doç. Dr. Hamdullah ÇUVALCI, Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZTÜRK ve Öğr. Gör. Dr. Aykut ÇANAKÇI'ya teşekkür ederim. Ayrıca, laboratuvar çalışmalarında ve deney düzeneğinin kurulmasında yardımlarını gördüğüm Bölüm laboratuvar teknisyeni Osman ŞAHİN'e ve Trabzon Fatih Sanayi Sitesi ustalarından Erol MISIR'a da teşekkür ederim.

Serkan BIYIK  
Trabzon 2008

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Malzemelerin Elektriksel Özellikleri.....	3
1.2.1. Elektrik İletkenliği.....	3
1.2.2. Metallerin İletkenliklerinin Kontrolü.....	3
1.2.3. Sıcaklığın İletkenliğe Etkisi.....	3
1.3. Kontak Sistemleri.....	4
1.3.1. Elektrik Kontakları.....	4
1.3.2. Kontak Tasarımı.....	6
1.3.3. Kontaktörler.....	8
1.3.4. Röleler.....	9
1.3.5. Elektrik Kontaklarının Çalışması Sırasında Meydana Gelen Fiziksel Olaylar.....	10
1.3.5.1. Kontakların Kapalı Durumda Akım Taşınması.....	11
1.3.5.2. Kontakların Açılarak Akımı Kesmeleri.....	11
1.3.5.3. Kontakların Kapanarak Akıma Yol Vermesi.....	11
1.4. Elektrik Kontaklarında Hasar Mekanizmaları.....	12
1.4.1. Ark Oluşumu.....	12
1.4.2. Kaynama (Yapışma).....	13
1.4.3. Köprü Oluşumu.....	13



1.4.4.	Oksidasyon.....	13
1.5.	Kontak Malzemeleri.....	14
1.5.1.	Metalik Kontak Malzemeleri.....	14
1.5.1.1.	Kontak Malzemelerinin Özellikleri.....	14
1.5.1.2.	Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları.....	14
1.5.1.2.1.	Düşük Elektrik Yüklerinde Kullanılan Korozyon ve Oksidasyona Dayanıklı Kontak Malzemeleri.....	16
1.5.1.2.2.	Yüksek Elektriksel Güçlerde Kullanılan Refrakter Malzemeler.....	17
1.5.1.2.3.	Sinter Malzemeler.....	17
1.5.1.2.4.	Gümüş Esaslı Kontak Malzemeleri.....	18
1.5.1.2.4.1.	Gümüş Alaşımları.....	19
1.5.1.2.4.2.	Refrakter İçerikli Gümüş Malzemeler.....	21
1.5.1.2.4.3.	Yarı Refrakter İçerikli Gümüş Malzemeler.....	21
1.5.1.2.4.4.	Metal Oksit İçerikli Gümüş Esaslı Malzemeler.....	23
1.5.2.	Kontakların Destek Malzemesine Bağlanması.....	25
1.6.	Bor Oksit.....	26
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	28
2.1.	Giriş.....	28
2.2.	Kullanılan Malzemeler ve Toz Üretimi.....	28
2.3.	Toz Metalurjisi Yöntemiyle Ag – B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kontak Malzemesi Üretimi.....	28
2.4.	Deney Düzenegi Elektrik Devresi.....	32
2.5.	Deneylerin Yapılışı.....	33
3.	BULGULAR.....	35
4.	İRDELEME.....	50
5.	SONUÇLAR.....	52
6.	ÖNERİLER.....	53
7.	KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ		

## ÖZET

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Ag - B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> esaslı kontak malzemelerinin özelliklerine B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının etkisi incelenmiştir. Gümüş ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları üretildikten sonra homojen bir şekilde karıştırılıp 1000 MPa'da preslenmiş ve 800°C'de sinterlenmiştir.

Üretilen kontak malzemelerinde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı % 0 ile % 15 arasında değiştirilmiştir. Sabit ve hareketli kontak çiftlerinin malzemeleri aynı türden seçilmiştir. Numuneler belirli çevrim sayılarında alınarak ağırlıkları ölçülmüş ve yüzeyleri metal mikroskobu altında incelenmiştir. Deneyler, imal edilen deney düzeneğinde 220 V, 50 Hz ve 5 A alternatif akım şartlarında ve dakikada 60 açma-kapama (çevrim) olacak şekilde yapılmıştır. Açma-kapama sayısı 40.000 çevrime kadar çıkartılarak, çevrim sayısı ile ağırlık kaybı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

Bütün kontak malzemelerinde ilk 20.000 çevrimde hızlı bir ağırlık kaybının olduğu, daha sonra bu ağırlık kaybının giderek azaldığı gözlenmiştir. Gümüş içerisindeki B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının yaklaşık % 8 oranına kadar artmasıyla ağırlık kaybında azalmalar tespit edilmiştir. Bu azalma % 5'e kadar B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kontaklarda pek belirgin olmayıp, özellikle % 10 oranında B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kontaklarda oldukça belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Belirli çevrim sayılarında kontakların yüzeylerinde yapılan incelemelerde ark etkili bölge, geçiş bölgesi ve ark etkisiz bölge olmak üzere üç farklı bölgenin olduğu gözlenmiştir. Ark etkili bölgeler çevrim sayısının artmasıyla genişlemiştir. Saf gümüş ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının düşük olduğu kontak malzemelerinde ark etkili bölge yüzeyinde ergime sonucu nispeten kaba girinti ve çıkıntılar oluşurken, artan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranıyla ark etkili bölgede belirgin ergime izleri azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik Kontak Malzemeleri, Ag Esaslı Kontak Malzemesi, Ark Erozyonu

## SUMMARY

### **Investigation of Properties of Silver – Boric Oxide Based Contact Materials Produced by Powder Metallurgy**

In this study, the effects of boric oxide content on the properties of Ag - B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based contact materials which were produced by powder metallurgy were investigated. Silver and boric oxide powders were uniformly mixed and pressed at 1000 MPa and compacts were sintered at 800°C.

The boric oxide content in contact materials was changed between 0 % and 15 %. Both the fixed and the movable contacts were selected from the same material. The contact surfaces and the weight losses were examined after certain cycles. Arc erosion experiments were carried out at 220 V, 50 Hz, 5 A AC and cycled at 60 operations per minute. The number of cycles were increased up to 40.000 and the relationship between weight loss and cycle number were investigated.

It was observed that all the samples were loosing weights rapidly up to 20.000 cycles and after that point, the weight losses were slow up to 40.000 cycles. The effects of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was not significant at low contents of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> but reached to minimum weight loss at about 8 % contents of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Examinations of contact surfaces using metal microscope after certain cycles showed that the arc affected zones enlarged with increasing number of cycles. Arc effected zone, containing melted spots was relatively larger in pure silver and low B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content contact materials. But arc effected zone was almost diminished in 10 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> containing materials, this was attributed to cooling effect of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles which was melted at 450°C.

**Key Words:** Electrical Contact Materials, Silver-Based Contacts, Arc Erosion

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1.	Bir elektronun hatasız bir kristalde hareketi.....	4
Şekil 1.2.	Yaygın olarak kullanılan bir röle kontak sistemi.....	6
Şekil 1.3.	Perçin-tipi ve buton-tipi kontaklar ve röle üzerindeki görünüşleri.....	7
Şekil 1.4.	Kontaktörlerin yapısı ve çalışma mekanizması.....	8
Şekil 1.5.	Rölenin yapısı ve çalışma mekanizması.....	10
Şekil 1.6.	Rölenin kontaklarının gösterimi.....	10
Şekil 1.7.	Ark oluşumu esnasındaki yüzey durumunun şematik gösterimi.....	12
Şekil 1.8.	Ag – Cu denge diyagramı.....	19
Şekil 1.9.	Ag – Sn denge diyagramı.....	20
Şekil 1.10.	Ag – MeO malzemelerin ark erozyon mekanizması.....	24
Şekil 1.11.	Bor oksidin yapısı.....	27
Şekil 2.1.	Bor oksit tozu (50X).....	29
Şekil 2.2.	Gümüş tozu (50X).....	29
Şekil 2.3.	Ag – B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tozlarının preslenmesinde kullanılan kalıbın görünüşü.....	30
Şekil 2.4.	Ag - B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tozlarının presleme kalıbının teknik resmi.....	30
Şekil 2.5.	Kontak malzemesi üretiminde izlenen iş akış diyagramı.....	31
Şekil 2.6.	Kontaktların test edilmesinde kullanılan deney düzeneği.....	32
Şekil 2.7.	Deney düzeneğinin elektronik devre şeması.....	33
Şekil 2.8.	Kontak sistemi.....	34
Şekil 3.1.	Saf gümüş malzemeden yapılmış sabit ve hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi.....	36
Şekil 3.2.	10.000 açma-kapama sonunda saf gümüş sabit kontak yüzeyinin görünüşü (50X).....	36
Şekil 3.3.	10.000 açma-kapama sonunda saf gümüş hareketli kontak yüzeyinin görünüşü (50X).....	37
Şekil 3.4.	40.000 açma-kapama sonunda saf gümüş sabit kontak yüzeyinin görünüşü (50X).....	37

Şekil 3.5.	40.000 açma-kapama sonunda saf gümüş hareketli kontak yüzeyinin görünüşü (50X).....	38
Şekil 3.6.	% 5 oranında B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit ve hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi.....	38
Şekil 3.7.	10.000 açma-kapama sonunda % 5 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit kontağın yüzeyi (50X).....	39
Şekil 3.8.	10.000 açma-kapama sonunda % 5 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren hareketli kontağın yüzeyi (50X).....	39
Şekil 3.9.	40.000 açma-kapama sonunda % 5 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit kontağın yüzeyi (50X).....	40
Şekil 3.10.	40.000 açma-kapama sonunda % 5 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren hareketli kontak yüzeyi (50X).....	40
Şekil 3.11.	% 10 oranında B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit ve hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi.....	41
Şekil 3.12.	10.000 açma-kapama sonunda % 10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit kontağın yüzeyi (50X).....	42
Şekil 3.13.	10.000 açma-kapama sonunda % 10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren hareketli kontak yüzeyi (50X).....	42
Şekil 3.14.	40.000 açma-kapama sonunda % 10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit kontağın yüzeyi (50X).....	43
Şekil 3.15.	40.000 açma-kapama sonunda % 10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren hareketli kontağın yüzeyi (50X).....	43
Şekil 3.16.	% 15 oranında B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit ve hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi.....	44
Şekil 3.17.	10.000 açma-kapama sonunda % 15 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit kontağın yüzeyi (50X).....	45
Şekil 3.18.	10.000 açma-kapama sonunda % 15 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren hareketli kontağın yüzeyi (50X).....	45
Şekil 3.19.	40.000 açma-kapama sonunda % 15 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren sabit kontağın yüzeyi (50X).....	46
Şekil 3.20.	40.000 açma-kapama sonunda % 15 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeren hareketli kontağın yüzeyi (50X).....	46
Şekil 3.21.	Dört farklı malzemeden yapılmış sabit kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi.....	47
Şekil 3.22.	Dört farklı malzemeden yapılmış hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi.....	48
Şekil 3.23.	Dört farklı malzemeden yapılmış kontak çiftlerine ait toplam ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi.....	48

Şekil 3.24. Değişik açma-kapama sayıları için kontak çiftlerine ait toplam ağırlık kayıplarının bor oksit oranıyla değişimi.....49

## TABLULAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1.1.	Elektrik kontaklarında kullanılan metaller ve karakteristikleri.....	15
Tablo 1.2.	Alçak-akım kontaklarında kullanılan alaşımların karakteristikleri.....	16
Tablo 1.3.	Gümüş alaşımı kontak malzemeleri ve özellikleri.....	22
Tablo 1.4.	Refrakter içerikli Ag kontak malzemelerinin bileşimleri ve elektrik iletkenlikleri.....	23
Tablo 1.5.	Yarı refrakter içerikli Ag kontak malzemelerin bileşimleri ve elektrik iletkenlikleri.....	23
Tablo 1.6.	Ag – MeO malzemelerin fiziksel ve termodinamik özellikleri .....	25
Tablo 1.7.	Ag-CdO üst tabaka ve kaplama için destekleme malzemesinin seçimi.....	26
Tablo 3.1.	Deneylerde ölçülen sabit kontak, hareketli kontak ve toplam ağırlık kayıpları.....	35

## SEMBOLLER DİZİNİ

$a$	: Sıcaklık direnç katsayısı
$E$	: Esneklik katsayısı
$H_B$	: Brinell sertliği
$I$	: Elektrik akımı
$R$	: Elektrik direnci
$T_m$	: Ergime sıcaklığı
$v$	: Sürüklenme hızı
$\mu$	: Taşıyıcıların hareketliliği
$\rho_T$	: Atomların ısı titreşimlerinden kaynaklanan metal direnci
$\Delta T$	: İlgili sıcaklık ve oda sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı
$\rho$	: Spesifik elektriksel özdirenç
$\lambda$	: Isıl iletkenlik
$\alpha$	: Özdirenç sıcaklık katsayısı



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Kontaklar, elektrik uygulamalarının çoğunda kullanılan ve bir ya da daha fazla sayıdaki devrenin elektrik akımını açıp kapamak suretiyle aynı anda bu devreleri kumanda edebilen kontaktör ve röle gibi elektromanyetik anahtarların en önemli elemanlarından birisidir. Karşılıklı olarak çalışan, akım taşıma ve akım kesme görevlerini üstlenen kontaklar, açılıp-kapanma sırasında oluşan ark ile aşırı şekilde ısınmakta ve hem ergime hem de buharlaşma yolu ile önemli miktarlarda malzeme kaybına uğramaktadırlar. Buna ek olarak kontakların yüzeyleri bozulmakta ve bir kontakdan diğerine malzeme transferinin meydana gelmesiyle kontaklar çalışamaz hale gelmektedirler. Bu olumsuz durumları en aza indirerek kontakların ömürlerini uzatmak için seçilecek kontak malzemelerinin, akımın geçişi sırasında oluşan yüksek ısıyı iletterek kontakların aşırı ısınmasını önleyecek yüksek elektriksel iletkenliğe, ortaya çıkan ark ısını iletcek yüksek ısı iletkenliğe, kontakların yüzeylerinde birikerek yalıtkanlığa sebep olan oksit, sülfid ve diğer bileşiklere karşı yüksek reaksiyon direncine, ark erozyonunu, malzeme transferini ve kaynak olmayı (yapışmayı) sınırlayacak yüksek ergime noktasına ve düşük buhar basıncına, iyi bir aşınma direnci için yüksek sertliğe sahip olması gerekir. Fakat hiçbir malzeme sıralanan bütün bu özelliklere tek başına sahip olmadığından emniyet, elde edilebilirlik, ömür ve maliyet göz önüne alınarak belirlenen her uygulama için uygun bir malzeme seçimi yapılmalı ve farklı özelliklere sahip malzemeler bir araya getirilmelidir.

Kontak malzemelerinin seçiminde, elektrik devresinin karakteristikleri (akım, gerilim v.b.), yükün çeşidi, kapasite, kontaklara uygulanan kuvvet, kontakların açılıp-kapanma sayısı, açılıp-kapanmanın sıklığı ve güvenilirlik göz önüne alınması gereken faktörlerin başlıcalarıdır [1-4]. Kontaklardan geçen akımın alternatif ya da doğru akım, yüksek ya da düşük değerli, yükün indüktif, kapasitif, direnç ya da bir motor yükü olması da malzeme seçiminde önemlidir.

Metallerin ömrünü önemli oranda azaltan atmosfer etkisi, kirlilikler, gazlar, tozlar, nem ve organik buharlar gibi çevresel faktörler de kontak malzemesinin seçiminde önemli rol oynamaktadır.

Saf gümüşün diğer metaller içinde en yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olması, kontak malzemesi olarak kullanımını cazip kılmasına karşın, ark erozyonuna karşı mukavemeti arttırmak, kaynama veya yapışmayı en aza indirmek, oksit içerikli birçok malzeme ile birleştirilmesini gerekli kılmıştır. Döküm yolu ile üretilmeyen bu malzemeler, toz metalurjisi ve iç oksidasyon yöntemleri ile elde edilmektedir. İç oksidasyon için gerekli zamanın çok uzun olması, oksit dağılımının, büyüklüğünün, şeklinin düzensiz olması ve oksit içeriğinin sınırlı oranda olması, toz metalurjisi tekniğinin iç oksidasyona tercih edilmesinin başlıca sebeplerini oluşturmaktadır.

Toz metalurjisi yöntemi kullanılarak istenilen özelliklerde ürünlerin elde edilebilmesi, aşağıdaki proses değişkenlerinin doğru olarak seçilmesine ve kontrolüne bağlıdır [5]:

- Toz özellikleri,
- Tozun hazırlanış yöntemi,
- Sıkıştırmanın nasıl uygulandığı,
- Sıkıştırmanın yapıldığı kalıp ve aletlerin tasarımı,
- Sinterleme fırınının tipi,
- Sinterleme atmosferinin bileşimi,
- Sinterleme sıcaklığı ve zamanı da dahil olmak üzere üretim akışı,
- İkincil uygulamalar ve ısı işlem.

Kontaklardan beklenen yararlı kullanım ömürleri, füzelerde birkaç operasyondan, otomobil titreştiricilerinde yüz milyon çevrime (açma-kapama) ve telefon rölelerinde kırk yıla kadar değişmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı yeni kontak malzemeleri bulmak ve geliştirmektir. Bu amaçla K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Toz Metalurjisi Laboratuvarı'nda toz metalurjisi yöntemiyle değişik oranlarda  $B_2O_3$  içeren gümüş esaslı kontak malzemeleri üretilmiş ve ark erozyon deneylerine tabi tutulmuştur. Ark erozyon davranışları incelenen kontak malzemelerinde  $B_2O_3$  'in ark erozyonuna ve arkın kontaklarda oluşturduğu yüzey bozunumuna etkileri incelenmiştir.

## 1.2. Malzemelerin Elektriksel Özellikleri

### 1.2.1. Elektrik İletkenliği

Yüklü taneciklerin bir elektrik alanının etkisi altında bir yerden başka bir yere taşınması olayına “elektrik iletkenliği” adı verilmektedir. Elektrik alanı, bir potansiyel farkı olup, birim uzaklık başına volt olarak (volt / metre) ölçülür. Potansiyel farkın artması ile yüklü tanecikler hızlanır ve bunun sonucu olarak da akım şiddeti artar.

Elektrik yükü, malzemenin çeşidine göre hareket kabiliyeti değişen iyon ve/veya elektronlarla taşınır.

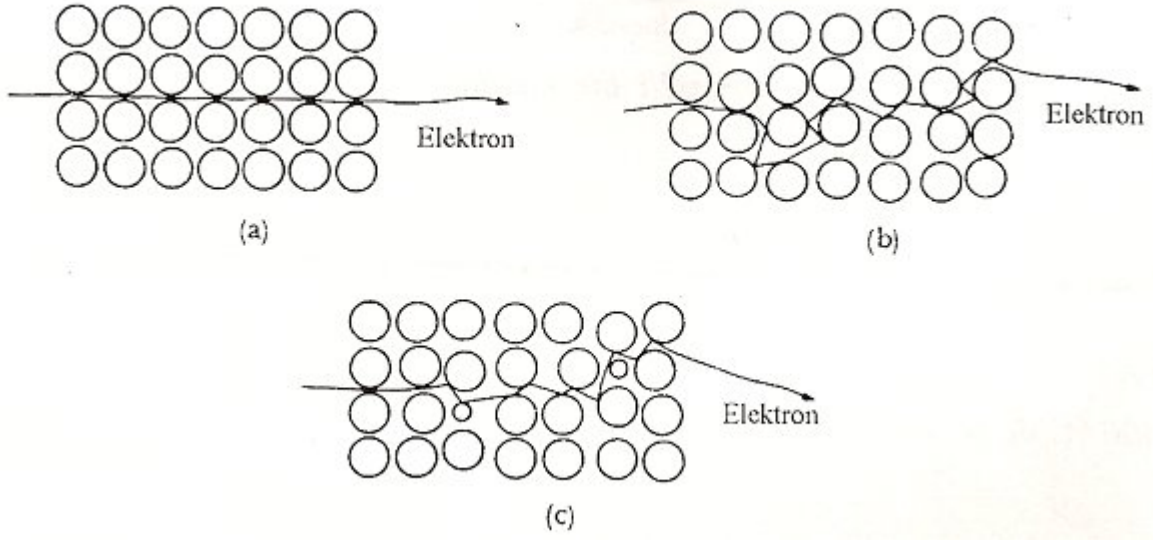
### 1.2.2. Metallerin İletkenliklerinin Kontrolü

Hatasız saf bir metalin iletkenliği atomların elektronik yapısı ile belirlenir. Ancak taşıyıcıların hareketliliğini ( $\mu$ ) etkilemekle iletkenlik önemli ölçüde etkilenebilir. Hareketlilik sürüklenme hızı  $v$  ile orantılıdır. Sürüklenme hızı, kafesteki hatalarla çarpışırsa düşüktür. Ortalama serbest yol çarpışmalar arasındaki ortalama mesafedir. Uzun bir ortalama serbest yol yüksek hareketliliklere ve yüksek iletkenliklere izin verir.

Bir metal hata içermiyorsa ve mutlak sıfır derecede kullanılıyorsa ortalama serbest yol arası sınırsızdır ve özdirenç sıfırdır. Buna karşın metaller hatasız değildir ve mutlak sıfırda kullanılamaz.

### 1.2.3. Sıcaklığın İletkenliğe Etkisi

Metalin sıcaklığı yükseldiğinde, ısı enerjisi atomun titreşmesine neden olur (Şekil 1.1). Herhangi bir anda, atom denge pozisyonunda olmayabilir ve bu nedenle elektronlarla etkileşir ve elektronları dağıtır. Ortalama serbest yol ve elektronların hareketliliği azalır, özdirenç artar. Sıcaklıkla özdirençteki değişim, aşağıdaki eşitlikle tahmin edilebilir.



$$\rho = \rho_T (1 + a \Delta T)$$

Şekil 1.1. Bir elektronun hatasız bir kristalde (a) doğrusal hareketi, (b) yüksek sıcaklığa ısıtılmış kristalde ve (c) kafes hatası içeren kristalde hareketi; elektronların doğrusal olmayan hareketi iletkenliği azaltır [6].

Burada  $\rho$  oda sıcaklığındaki (25 °C) dirençtir.  $\Delta T$  ilgili sıcaklık ve oda sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı ve (a) sıcaklık direnç katsayısıdır. Sadece atomların ısı titreşimlerinden kaynaklanan metal direnci  $\rho_T$  dir.

### 1.3. Kontak Sistemleri

#### 1.3.1. Elektrik Kontakları

İki iletken temas yüzeyi arasında bulunan ve sistemden geçen akım ile gerilime kumanda eden bağlantı elemanlarına “kontak” adı verilir. Elektrik kontağı, bir akım devresinin kapanması ya da açılması için kullanılır.

İki metalin kontak (temas) oluşturmasıyla birlikte bunlar arasında elektrik akımı geçişi ile birlikte bu akıma karşı bir direnç oluşur. Bu dirence kontak direnci ya da geçiş direnci adı verilir. Bu direnç kısmen kontak yüzeyini oluşturan metallerin öz direnci ile ilişkilidir. Geçiş direncinin oluşmasının nedeni kontak yüzeylerinin pürüzsüz yapılmasının ve tam temasın sağlanmasının zor olmasıdır.

Aynı kesitli iki metal parça üst üste geldiğinde, akımın bu kontakları oluşturan yüzeyleri tam olarak kapladığı düşünülür. Aslında kontak yüzeylerinin pürüzlü olması nedeniyle temasta olan yüzeylerin gerçek kesiti küçük olur. Temas yüzeylerini doğru olarak belirlemek çok zordur. Öte yandan kontakların temas alanları bu kontakları birbirine karşı iten kuvvetle de ilişkilidir. Bu temas basıncı arttıkça temas alanı da artar. Kontak yüzeylerinde oksit tabakasının oluşması da ilave olarak bu direnci artırır. Oksit tabakası yarıiletken, birçok hallerde ise yalıtkan özelliği taşır. Bu da geçiş direncinin çok yükselmesine neden olur ve hatta bazı hallerde durdurabilir.

Bazen kontaklar arasında mekanik parçacıkların ve değişik yabancı maddelerin girmesi sonucunda kontak çalışmayabilir. Tehlike oluşturan nedenlerden biri de elektrik arkının yakması ile oluşan reaksiyon ürünleri olabilir. Bu nedenle yüksek aralık istenen yerlerde bir kontak yerine ona paralel olarak ilave 2-3 kontak bağlanır. Üç kantağın aynı zamanda çalışmaması olasılığı ise sıfırdır. Kontakların çalışma aralığını yükseltmek için kontak malzemelerinin çok yüksek kaliteli olması gerekir.

Kontak direnci malzemenin özelliklerine, şalt gerilimine, kontak kuvvetine, sürtünmeye, mekanik ve elektriksel kontak aşınmasına ayrıca malzemenin çevresindeki atmosfere bağlıdır. Kontak malzemelerinin kullanılmaları çok yönlüdür ve çalışma koşulları da değişiktir. Örneğin;

- Haberleşme tekniğinde küçük akım, düşük gerilim,
- Enerji tekniğinde büyük akım ve düşük gerilim,
- Özel olarak kaynak tekniğinde büyük akım ve küçük gerilim ve
- Yüksek gerilim tekniğindeki büyük gerilimler ve küçük akımlar söz konusudur.

Bunlar ve diğer durumlar göz önünde bulundurulduğunda kontak malzemelerinden şu koşulların yerine getirilmesi istenir:

- a) Yüksek ark sıcaklığına dayanıklılık,
- b) Küçük temas direnci,
- c) Yüksek elektrik ve ısı iletimi,
- d) Yanmaya karşı dayanıklılık,
- e) Korozyona karşı dayanıklılık,
- f) Yapışma ya da kaynaklaşma oluşturmama.

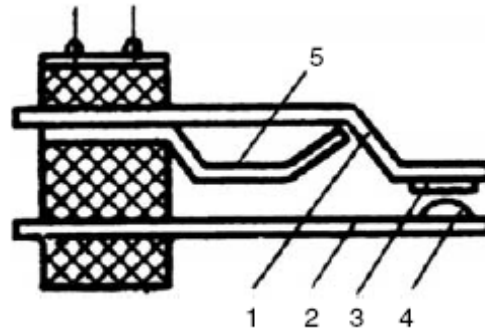
Kontak malzemeleri olarak yaygın olarak kullanılan metaller; Cu, Ag, Ni, W, Mo, Au, Pt, Ir, Pd, Rh ve Ru 'dur [7].

Cu, Ag ve Au gibi saf maddelerde kaynaklaşma oluşur, bunu önlemek için çoğu zaman bu metallerin alaşımları kullanılır. Örneğin, Cu-Cr, Cu-Ag-Cd, Ag-Cd, Ag-Cu, Ag-Pd, Au-Ni, Au-Ag-Pt, Pt-Ni, Pt-W, Pt-Ir, Pt-Rh vb.

Eğer bu kontaklardan aynı zamanda sertlik, arka dayanıklılık, yüksek iletkenlik ve ısı iletim gibi özellikler istenirse ‘Sermet’ olarak adlandırılan malzemeler kullanılabilir. Sermet; iki ve daha çok bileşenli olup, iletkenliği yüksek olan metallerle yüksek sıcaklığa dayanıklı metal ve/veya oksit tozlarından oluşan metal-metal veya metal-seramik kompozitleridir. Örneğin W-Cu alaşımı lifli volframa eritilmiş bakır emdirilmesiyle elde edilir. Volfram, sertlik, arka dayanıklılık, aşınmaya karşı dayanıklılığını, bakır ise yüksek elektrik ve ısı iletimi sağlar. Buna ilaveten W-Ag, Ag-Ni, Mo-Ag, Ag-CdO, Cu-C gibi sermetler de kullanılır.

### 1.3.2. Kontak Tasarımı

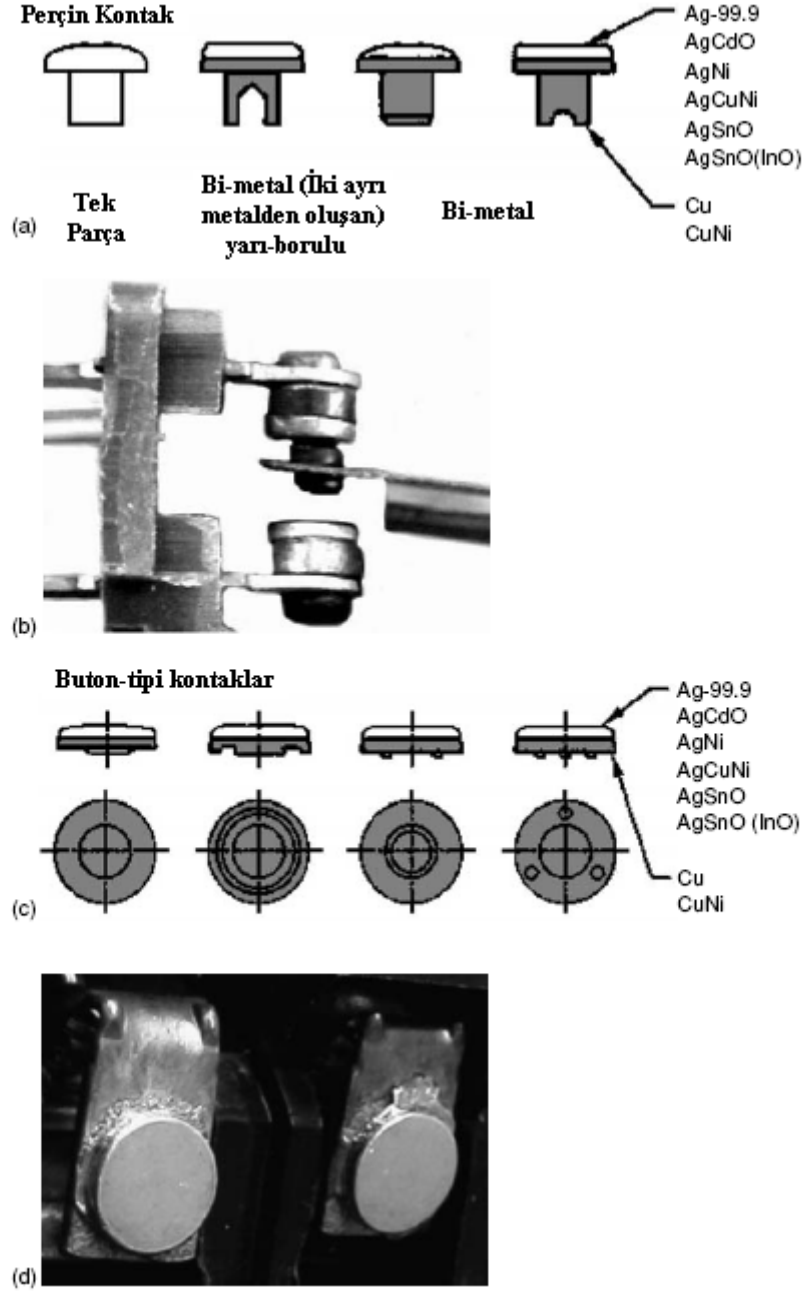
Kontak sistemi, bir rölenin zorunlu elemanlarından bir tanesidir. Kontak sistemi Şekil 1.2’ de görüldüğü üzere genellikle birkaç bileşenden oluşur.



Şekil 1.2. Yaygın olarak kullanılan bir röle kontak sistemi [8].  
(1,2. akım ileten elemanlar; 3,4. kontak parçaları;  
5. durdurucu)

Akım-iletken elemanlar, temas yüzeyleri için akım taşıyıcı olmanın yanı sıra, gerekli olan kontak basıncını da sağlamak üzere elastik malzemelerden (genellikle berilyum veya fosfor bronzu) yapılırlar. Kontak malzemesinden imal edilen parçalar (kontaklar) elektrik iletkenliği ve elektriksel aşınmaya karşı direnci yüksek olan malzemelerden yapılırlar. Kontaklar perçinleme, lehimleme veya gümüş lehimle birleştirme yöntemlerinden biri

kullanılarak akım ileten elemanlara bağlanırlar. Kontak bantları genellikle perçin veya pim şeklinde yapılırlar (Şekil 1.3).



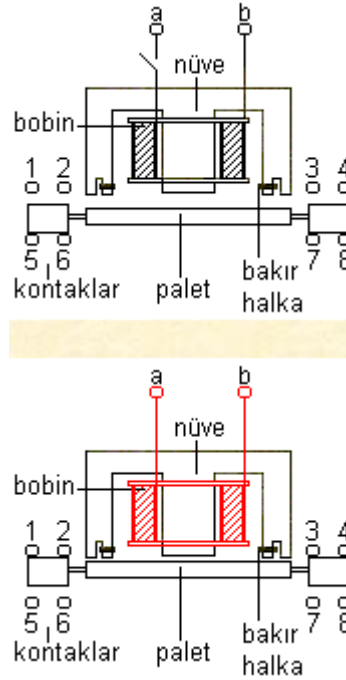
Şekil 1.3. Perçin-tipi ve buton-tipi kontaklar ve röle üzerindeki görünümleri [8].

(a) Perçin-tipi kontaklar; (b) Perçin-tipi kontakların bir röle üzerindeki görünümü; (c) Buton-tipi kontaklar; (d) Kaynak edilerek birleştirilmiş buton-tipi kontakların bir güç rölesi üzerindeki görünümü

Kontaktların perçinle birleştirilmeleri kaynakla birleştirilmelerine göre daha az güvenlidir. Çünkü çalışma esnasında, ısıl çevrimlerden dolayı perçinin kontak yayına birleşme noktasında perçinin geçiş direncinde önemli artış gözlenmektedir. Kontaktlar çoğunlukla, bakır bir altlık (plaka) ve kontak malzemesinden (gümüş esaslı alaşım) ibaret olacak şekilde bimetalik (iki-tabakalı) olarak üretilirler. Bimetalik kontaktların icadı uzun yıllar öncesine dayanmaktadır.

### 1.3.3. Kontaktörler

Elektromıknatis, palet ve kontaktlardan oluşan büyük güçteki elektromanyetik anahtarlara “kontaktör” adı verilmekte olup şematik gösterimi aşağıdaki gibidir. Kontaktör bobinleri doğru veya alternatif akımla çalışırlar. Kontaktörün E şeklindeki demir nüvesi, bobinin doğru akımla çalışması durumunda yumuşak demirden ve tek parça olarak, bobinin alternatif akımla çalışması durumunda ise silisli saçların paketlenmesiyle yapılır. Bu şekilde manyetik devrenin kayıplarının en küçük değere indirgenmesi amaçlanır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Kontaktörlerin yapısı ve çalışma mekanizması [9].



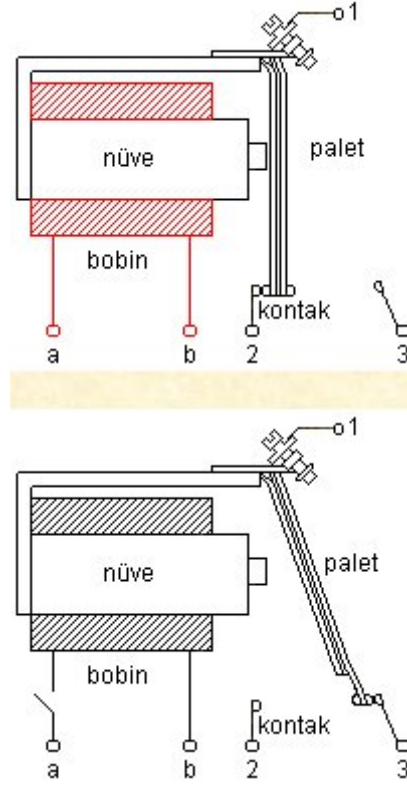
Şekilde verilen kontaktörün bobinine bir gerilim uygulandığında kontaktör mıknatıslanır ve paletini çeker. Palet üzerinde bulunan (5-6) nolu kontak ve (7-8) nolu kontak açılır. (1-2) nolu kontak ve (3-4) nolu kontaklar ise kapanır. Bobinin akımı kesildiğinde, kontaktör üzerinde bulunan yay, paletin demir nüveden uzaklaşmasını sağlar. Bu durumda kapanmış olan (1-2) nolu kontak ve (3-4) nolu kontak açılır. Açılmış olan (5-6) nolu kontak ve (7-8) nolu kontak kapanır.

Bobini doğru akımla çalışan kontaktörlerde, bobin akımı kesildikten sonra kalan artık mıknatıslık sebebiyle paletin demir nüveye yapışık kalmasını önlemek için demir nüvelerinin dış bacaklarına plastik pullar konulur. Alternatif akım ile çalışan bobinlere sahip kontaktörlerde ise, alternatif manyetik alanın sebep olduğu palet titreşimini ve buna bağlı olarak gürültüyü önlemek için demir nüvenin dış bacaklarına kalın bakır halkalar takılır. Herbirinde gerilim indüklendiği için kısa devre olan halkalardan, indüksiyon gerilimi akım dolaştırarak esas manyetik alandan  $90^\circ$  geride olan ve böylece demir nüvedeki toplam manyetik alanı hiç sıfırlamayan ek bir manyetik alan oluşturur. Böylece bobinden alternatif akım geçtiğinde paletin sürekli çekik kalması sağlanmış olur. Kontaktördeki kontakların açılıp kapanması, yerçekimi kuvvetiyle ya da bir yay aracılığı ile demir nüveden uzak tutulan ve bobinin enerjilenmesiyle harekete geçen bir palet vasıtasıyla sağlanır [10].

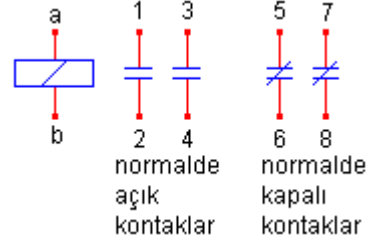
#### **1.3.4. Röleler**

Bobin, demir nüve, palet ve kontaklardan oluşan ve bobinleri hem alternatif hem de doğru akımla çalışan küçük güçteki elektromanyetik anahtarlara “röle” adı verilir (Şekil 1.5). Rölenin çalışması ile ilgili ilkeler kontaktörünkilerle aynıdır.

Şekilde verilen rölenin bobinine bir gerilim uygulandığında röle enerjilenir ve paletini çeker. Palet üzerinde bulunan (1-3) nolu kontak açılır ve (1-2) nolu kontak kapanır. Bobinin akımı kesildiğinde, röle üzerinde bulunan yay, paletin demir nüveden uzaklaşmasını sağlar. Bu durumda kapanmış olan (1-2) nolu kontak açılır, açılmış olan (1-3) nolu kontak kapanır. Röleler Şekil 1.6’da verildiği gibi sembolize edilir.



Şekil 1.5. Rölenin yapısı ve çalışma mekanizması [9].



Şekil 1.6. Rölenin kontaklarının gösterimi [9].

### 1.3.5. Elektrik Kontaklarının Çalışması Sırasında Meydana Gelen Fiziksel Olaylar

Kullanılacak olan herhangi bir kontak malzemesinin çeşidini ve ne gibi özelliklere sahip olması gerektiğini belirlemek için kontakların açılıp kapanması sırasında oluşan fiziksel olayların incelenmesi gerekir. Burada kontakların üç ayrı konumunun dikkate alınması gerekir.

### 1.3.5.1. Kontakların Kapalı Durumda Akım Taşınması

Kontaklarda akımın geçtiği gerçek temas alanı, kontakların yüzey alanlarından küçük olup,

- a) Akıma ek direnç göstermeyen metalik temas alanları,
- b) Akımın tünel etkisiyle geçebildiği ince filmler (Yüzeyde adsorbe olmuş oksijen atom tabakaları v.b),
- c) Genellikle yalıtkan olan oksit tabakaları gibi üç çeşit olabilir.

Kontakt yüzeyinde, geçen akım ile ortaya çıkan  $I^2 \times R_k$  değerindeki ısı enerjisinin maksimum değerine ulaşması, yüzeyin yumuşamasına neden olur. Bu yumuşamanın olduğu gerilim değerine “yumuşama gerilimi” adı verilir. Şayet kontaklardan geçen akım daha fazla artarsa temas yüzeylerinde ısınma ile mikro erimeler ortaya çıkar. Bu erimenin gerçekleştiği gerilim değerine de “erime gerilimi” adı verilir. Gümüş için yumuşama gerilimi 0.09 V, erime gerilimi ise 0.35 V’ dur [11].

### 1.3.5.2. Kontakların Açılarak Akımı Kesmeleri

Akım taşıyan kontakların birbirlerinden ayrılmaya başlamasıyla aralarındaki gerçek temas alanı sürekli azalır ve artan akım yoğunluğu da sıcaklığın yükselmesine neden olur. Temas alanı mikroskobik mertebeye düştüğünde, kontaklar arasında oluşan yaklaşık  $10^{-4}$  cm uzunluğundaki erimiş köprü, sıcaklık değerinin malzemenin buharlaşma noktasına erişmesi ile kopar. Köprünün kopma noktası, kontaklar arasındaki malzeme transferinin yönünü belirler. Köprü transferi genellikle katoda doğru olmakla beraber eğer kontaklar arasında yeterli gerilim mevcut ise köprünün kopmasının ardından oluşan ark vasıtası ile anoda doğru malzeme transferi söz konusu olabilir.

### 1.3.5.3. Kontakların Kapanarak Akıma Yol Vermesi

Kontakların birbirine belirli bir mesafeye kadar yaklaşmasıyla katotta elektron emisyonu başlar ve bir taraftan ısınma sonucu bir miktar malzeme buharlaşırken diğer taraftan da katottan anoda doğru malzeme transferine neden olan bir ark teşekkül eder. Kontakların birbirlerine daha çok yaklaşması ile katottan çıkan elektronların anodun dar

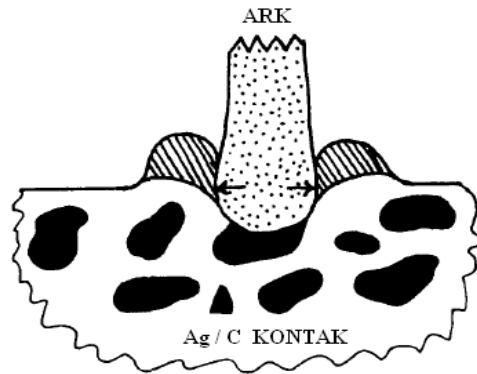
bir alanını bombardıman etmeleri sonucu anotta sıcaklık yükselir ve burada da bir miktar malzeme buharlaşır. Bu kez de anottan katoda doğru malzeme transferine sebep olan bir ark oluşur. Bununla ilgili deneysel çalışmalarda; gümüş kontaklarda 350 V' luk gerilim değerinde, 4  $\mu\text{m}$ ' den fazla aralıklarda katottan anoda, 4  $\mu\text{m}$ ' den az aralıklarda anottan katoda doğru malzeme transferinin olduğu saptanmıştır. Kontakların kapanması sırasında birbirleri üzerinde sıçramaları da ark oluşumlarına ve buna bağlı olarak ark erozyonuna neden olur.

## 1.4. Elektrik Kontaklarında Hasar Mekanizmaları

### 1.4.1. Ark Oluşumu

Ark oluşumu özellikle devre akımının yüksek olduğu uygulamalarda son derece önemli olmaktadır. Ark oluşumu kontak temas noktalarının bozulmasına yol açmaktadır (Şekil 1.7).

Bir kontak çiftinde, kontaklar açılırken aralarında sıklıkla ark oluşumu gözlenir ve bu ark oluşumu kontaklar birbirlerinden belirli bir boşluk seviyesiyle ayrılincaya kadar devam eder. Kontaklar kapanırken oluşan arkın şiddeti daha düşüktür. Ark, erimiş metal damlacıklarıyla etkileşerek malzemeyi buharlaştırmakta ve kontak erozyonuna sebebiyet vermektedir. Bazı durumlarda malzeme bir kontak yüzeyinden buharlaşarak diğer kontak yüzeyi üzerine yoğunlaşmaktadır ve bundan dolayı her iki kantağın da yüzey konfigürasyonu değişmektedir. Bu durum malzeme transferi olarak bilinmektedir.



Şekil 1.7. Ark oluşumu esnasındaki yüzey durumunun şematik gösterimi [12].

### **1.4.2. Kaynama (Yapışma)**

Bir kontak çiftinin kapanması ve açılması sırasında oluşan arklar, her iki kontak yüzeyinde de küçük bir bölümü eritirler. Tekrar kapanma sırasında, erimiş malzemenin katılaşmasıyla kontak çifti birbirine yapışır ya da kaynar.

Bazı durumlarda, kontakların birbirine yapışma derecesi yüksek olduğundan dolayı, kontakların açılması için gereken kuvvet beklenenden fazla olabilir, böyle olunca da kontaklar istenilen zamanda açılmazlar ve tüm elektrik sisteminin yıkımı söz konusu olabilir.

### **1.4.3. Köprü Oluşumu**

Bir kontak çifti açılırken kontak basıncının kademeli olarak azalmasından dolayı kontakların temas alanı da aynı şekilde kademeli olarak azalır. Sürekli açılma hareketi ile birlikte kontak yüzeylerinde erimiş halde bulunan malzeme çekilir ve akım-taşıyan köprü oluşumu söz konusu olur. Kontakların temas noktaları birbirinden tamamen ayrılıncaya kadar köprü boyunca sıcaklık artışı olur. Sıcaklık artışı belirli bir dereceye kadar yükselirse malzeme buharlaşır ve devre kapanır. Köprü oluşumu ile yüzeyler az da olsa zarar görürler ve köprü malzemesinin bir kısmı buharlaşır. Bu durum genellikle kontak yüzeylerinin birinde çukurcuk oluşumu, diğerinde ise malzeme artışı şeklinde gelişerek dengeli olmayan sürekli bir transfer söz konusu olur. Sonuç olarak kontakların birinde erozyon görülebilir. Dahası, sürekli köprü oluşumundan dolayı oluşabilecek yüzey pürüzlülükleri kontak çiftini kilitleyebilir ve mekanik olarak ayrılmalarına engel teşkil edebilir.

### **1.4.4. Oksidasyon**

Kontak yüzeylerinin oksidasyonu, yarı-iletken özellikteki metal oksit filmlerinin oluşumuna sebep olacağından dolayı son derece önemli bir problem olarak karşımıza çıkar. Özellikle arkın oluşturduğu sıcaklıkla birlikte oksidasyon oluşumu hızlanır. Oksit filmi kontak direncini kolaylıkla artırabilir. Yüksek-akımlı devrelerde bu durum aşırı kontak ısınmasıyla sonuçlanabilir. Düşük-akımlı devrelerde ise oksit filmleri, erozyon oluşumu olmadan önce, kontak yüzeylerini tamamen yalıtacak şekilde gelişebilirler. Kontakların

çalıştığı atmosferin kirlilik derecesi bu durum üzerinde doğrudan etkilidir. Hafif yük metal kontaklarında organik polimerlerin yoğuşması da önemli rol oynar [13].

## **1.5. Kontak Malzemeleri**

### **1.5.1. Metalik Kontak Malzemeleri**

#### **1.5.1.1. Kontak Malzemelerinin Özellikleri**

Alışlagelmiş mühendislik uygulamalarında; katı bir iletken, yüksek iletkenliğe sahip malzeme olarak tanımlanır. İletkenlik, Siemens/metre cinsinden ölçülür. Metalik iletkenlerin elektrik iletkenliği çevre sıcaklığına bağlı olarak  $10^6 - 10^8 \text{ S m}^{-1}$  arasında olurken, 0 K civarındaki sıcaklıklarda  $10^{11} - 10^{12} \text{ S m}^{-1}$  değerlerine kadar yükselme olabilmektedir. Katı metalik iletkenler, uygulanma alanlarına bağlı olarak iki grup altında toplanabilir:

- Teknik açıdan saf metaller: bu metallerin en çok kullanılanları Cu ve Al olup, mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla bunlar bazen diğer metallerle alaşımlandırılabilir.
- Alaşımlar: bunlar nispeten yüksek aşınma dayanımı ve düşük oranda sürtünme gibi belirli özelliklere sahip iletkenler olup en çok kullanılanları bronzlar (Cu-Sn), pirinçler (Cu-Zn) ve bazı alüminyum alaşımlarıdır.

Katı metalik iletkenlerin pratik uygulamaları için, iletken malzemelerin elektriksel, termal, kimyasal, mekanik ve tribolojik karakteristikleri gibi değişik özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiye ihtiyaç vardır. Bunun nedeni katı iletkenlerin, çalışma esnasında, çevresel etkilerin yanı sıra değişik mekanik ve termal gerilmelere maruz kalmalarıdır. Kontakların üretiminde kullanılan metallerin fiziksel-mekanik ve elektriksel özellikleri Tablo 1.1’de listelenmiştir [14].

#### **1.5.1.2. Kontak Malzemelerinin Kullanım Alanları**

Elektrik kontaklarının üretiminde birçok farklı metalik malzeme kullanılabilir. Bu malzemelerden bakır, alüminyum ve alaşımları yüksek-akım kontaklarında yaygın olarak

Tablo 1.1. Elektrik kontaklarında kullanılan metaller ve karakteristikleri

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (10 <sup>-7</sup> Ohm)	$\lambda$ (W/(m°C))	$H_z$	$\alpha$ (°C <sup>-1</sup> )	E (10 <sup>3</sup> MPa)	Sıcaklık (°C)		Voltaj (V)	
							Yumuşama	Erime	Yumuşama	Erime
Paris	21.4	11.7	70	40	0.0038	1.54	540	1,773	0.25	0.65
Alın	19.3	2.3	310	20	0.004	0.84	100	1,063	0.08	0.43
İrinyum	22.4	5.5	60	170	0.0039	5.3	—	2,450	—	—
Palladyum	12.0	10.8	70	32	0.0033	1.2	—	1,554	—	0.57
Gümüş	10.5	1.65	418	25	0.004	0.75	180	960	0.09	0.37
Tungsten	19.3	5.5	190	350	0.005	3.5	1000	3,390	0.4	1.1
Bakır	8.9	1.75	380	35	0.004	1.2	190	1,083	0.12	0.43
Grafit	1.8	700	160	35	0.0013	0.03	—	3,630	2	5
Almalyum	2.7	2.9	210	27	0.004	0.72	150	657	0.1	0.3
Galyum	5.9	53.4	33	—	0.00396	—	—	29.75	—	—
Kadmiyum	8.6	7.5	90	16	0.004	0.6	—	321	—	0.15
Kobalt	7.87	9.7	69	125	0.0066	2.1	—	1,495	—	—
Molibden	10.0	5.8	140	220	0.0045	3.5	900	2,620	0.25	0.75
Nikel	8.8	8	70	70	0.005	2.1	520	1,452	0.22	0.65
Kalay	7.3	12	64	4	0.0045	0.4	100	332	—	—
Kurşun	11.3	21	35	4	0.004	0.16	200	327	0.12	0.19
Çinko	7.1	6.1	110	33	0.0037	0.84	170	419	0.1	0.17
Rodyum	12.4	4.5	88	55	0.0043	3.0	1,966	1,966	—	—
Renyum	21.0	9.71	75	220	0.007	4.7	1,400	3,170	—	—
Demir	7.8	10	60	67	0.0085	2.0	500	1,540	0.21	0.6
Manganaz	7.46	164	—	—	—	—	—	1,245	—	—
Krom	7.0	20	67	90	0.002	9.0	—	1,615	—	—
Çvr	13.55	94	9	—	0.0092	—	—	-38.7	—	—
Tantal	16.6	14	545	40	0.003	1.9	800	2,996	0.3	1.0
Rutenyum	11.56	7.16	—	193	0.0046	4.2	—	2,500	—	—
Osmyum	22.5	9.66	—	—	0.0042	5.6	—	2,700	—	—
İndiyum	7.3	8.2	24	1	0.0049	—	—	156	—	—
Hirinyum	1.3	44	—	—	—	—	—	2,222	—	—
Kadmiyum oksit	0.89	600	—	—	—	—	—	—	—	—

p, spesifik elektriksel iletkenlik;

 $\lambda$ , ısı iletkenliği;

HB, Brinell sertliği;

 $\alpha$ , ortalama ısıl genişleme;

E, esneklik modülü;

kullanılırken, asal (diğer maddelerle kimyasal olarak etkileşmeyen) metaller ve alaşımları çoğunlukla düşük-akım kontaklarında kullanılır. Saf asal metaller çoğunlukla kaplama amaçlı kullanılırlar. Tablo 1.2' de düşük-akım elektrik kontaklarında sıklıkla kullanılan kontak alaşımlarının temel fiziksel-mekanik özellikleri verilmiştir [14].

Tablo 1.2. Alçak-akım kontaklarında kullanılan alaşımların karakteristikleri

Alaşımların Bileşimi (%)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (10 <sup>-8</sup> $\Omega$ m)	$\alpha$ (°C <sup>-1</sup> )	$\lambda$ (W/(m°C))	E (10 <sup>5</sup> MPa)	$H_f$	$T_m$ (°C)
Ag-Cu 97/3	10,500	1.8	0.0035	390	—	40	900
Ag-Cu 75/25	10,100	2.0	—	325	—	82	779
Ag-Cu 50/50	9,700	2.1	0.003	340	—	70	730
Ag-Au 90/10	11,400	3.6	0.0016	196	—	23	—
Ag-Au 20/80	16,500	9.4	0.009	—	—	25	1,035
Ag-Au-Pd 40/30/30	12,900	22	—	34	—	65	—
Ag-Cd 95/5	10,450	2.95	0.004	—	—	35	940
Ag-Cd 80/20	10,100	5.7	0.002	—	—	60	875
Ag-Pd 95/5	10,500	3.8	—	—	0.910	26	—
Ag-Pd 40/60	11,400	42	0.00025	20	1.250	—	1,330
Ag-Pt 95/5	10,880	4.65	0.0023	30	—	99	—
Ag-Pt 70/30	12,540	20	0.0002	—	—	170	—
Ag-Ni 90/10	10,100	1.8	0.0035	—	—	90	961
Ag-Ni 60/40	9,500	2.7	0.002	310	—	115	961
Au-Ni 95/5	18,300	12.3	0.0007	—	—	100	—
Au-Pd 99/1	19,300	3.0	0.004	—	—	20	—
Au-Pt 93/7	19,600	10.2	—	70	—	40	1,080
Au-Pt 70/30	19,900	34	—	—	—	135	—
Au-Ag-Cu 70/20/10	14,300	13.2	—	—	—	114	—
Au-Ag-Ni 70/25/5	15,400	11.85	0.0009	—	—	80	1,080
Au-Ag-Pt 69/25/6	16,100	14.9	—	55	—	112	—
Pd-Cu 95/5	11,400	21.6	0.0013	—	—	60	—
Pd-Cu 60/40	10,600	35	0.0032	38	—	80	—
Pd-Ag-Co 60/35/5	11,100	40.8	0.0014	—	1.300	192	—
Pt-Ni 95/5	23,000	20	0.00188	—	1.000	135	—
Pt-Ro 90/10	20,000	19.2	0.0018	—	1.500	90	—
Pt-Ir 95/5	21,500	10	0.002	42	—	130	1,080
Pt-Ir 75/25	21,700	33	—	16	—	246	1,875
Cu-Cd 99/1	8,900	2.6	—	—	—	345	—

$T_m$ , erime sıcaklığı.

#### 1.5.1.2.1. Düşük Elektrik Yüklerinde Kullanılan Korozyon ve Oksidasyona Dayanıklı Kontak Malzemeleri

Çok düşük akımlarda çalışan kontakların yüzeylerinde oluşabilecek en küçük oksit tabakası bile akımı büyük oranda etkileyeceğinden bu kontaklar için korozyon ve oksidasyona karşı çok dayanıklı olan altın (Au), paladyum (Pd), rutenyum (Rt), platin (Pt) ve gümüş (Ag) gibi malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerden altın; gümüş,



bakır (Cu), nikel (Ni), kobalt (Co), platin, paladyum; bakır, gümüş, nikel ve platin; iridyum (Ir), rutenyum ve nikel ile alaşım olarak da kullanılmaktadır.

Elektromanyetik titreştiriciler (otomobil regülatörleri, kornalar, radyo titreştiricileri v.b.), termomekanik termostatlar (ısıtıcı ve soğutucular v.b.), elektromanyetik veya aç-kapa anahtarlar (aydınlatma aletleri, mühendislik cihazları v.b.), elektromanyetik röleler (kontrol sistemleri, aydınlatma, mühendislik cihazları v.b.) bu grup malzemelerin kullanıldığı uygulamalar olup, akım sınırları 1 A–30A arasında bulunmaktadır [11, 15, 16].

#### **1.5.1.2.2. Yüksek Elektriksel Güçlerde Kullanılan Refrakter Malzemeler**

Yüksek ergime ve buharlaşma sıcaklıklarından dolayı aşırı sıcaklık ve ark erozyonuna dayanıklı olan bu grup malzemelerin başlıcaları molibden (Mo) ve tungstendir (W). Bu malzemeler ark oluşumuna, kaynamaya veya yapışmaya karşı çok iyi direnç göstermesine karşın yüzeylerinde kontaktör direncini artıran oksit tabakalarının oluşumu, bu malzemelerin dezavantajını oluşturur. Bu yüzey direncinin yenilmesi için kontaklar arasında yüksek temas kuvveti gerekmektedir. Tungsten ve molibdenin yüksek sertliği, yüksek temas kuvvetinin kontaklara hasar vermesini sınırlamaktadır. Bu metallere toz metalurjisi yöntemiyle bakır, nikel, gümüş ve demir (Fe) gibi malzemelerinin katılması ile değişik özelliklere sahip malzemelerin elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Otomobil ateşleme sistemleri, kornalar, titreştiriciler, voltaj regülatörleri, magnetolar, elektrik tıraş makineleri ve elektrik motorlarının hız kontrolleri gibi sürekli ve birbiri ardına ark oluşturan uygulamalar, bu malzemelerin kullanım yerlerine örnek olarak verilebilir.

#### **1.5.1.2.3. Sinter Malzemeler**

Toz metalurjisi metotları ile üretilen; psödo alaşımları (Ag - W, Cu - W, Ag - Mo, Cu - Mo), metallografitik kömürler (Cu - Sn - Pb - Zn - C, Cu - C), Ag - CdO, Ag - Ni ve Ag - MgO - NiO gibi metal karışımları da elektrik kontaklarında geniş kullanım alanına sahiptir. Karışımı oluşturacak malzemelerin tozlarının preslenip kontrollü atmosferde sinterlenerek isteğe göre tekrar preslenmesi, bu metodun temelini oluşturmaktadır. Toz metalürjisi tekniğinin kullanılması şu nedenlere bağlanabilir:

a) Tungsten ve molibden gibi sert ve tatminkâr bir iletkenliğe sahip kontak malzemelerinin ergitme ve döküm yolu ile sünek halde elde edilmesi teknik olarak imkânsızdır.

b) Ag ve W, Cu ve Mo, Ag ve C gibi teknik olarak birbirleriyle birleşmeyen metal ve metalloidlerin elde edilmesi ve W, Mo, Pt gibi refrakter malzemelerin yüksek aşınma dayanımı gibi özellikleri ile Cu, Ag gibi malzemelerin iyi elektrik ve ısıl iletkenliği gibi özelliklerinin birleştirilmesi bu metotla mümkündür [4,17].

Sinter malzemelerde karışımı oluşturan bileşenlerin herbirinin özellikleri, karışımın özelliklerine katkıda bulunur. Ayrıca sinter malzemelerinin özellikleri; bileşenlerin oranı, tozların preslenme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi değerlere bağlı olarak değişmektedir.

#### **1.5.1.2.4. Gümüş Esaslı Kontak Malzemeleri**

Diğer metaller içinde en yüksek elektrik ve ısıl iletkenliğe sahip olan ve atmosferik şartlarda korozyona karşı birçok metalden daha dayanıklı olan saf gümüş, düşük ve orta akımlarda yıllardır kullanılmaktadır. Elektrik iletkenliğinin yüksek olması, akımın geçişi sırasında kontakların ısınmasını önlerken, yüksek ısıl iletkenlik de arkın oluşturduğu ısıyı yüzeyde hemen dağıtarak aşın sıcaklık artışına engel olmaktadır. Ayrıca saf gümüş sünek bir malzeme olduğu için kolayca şekillendirilebilmektedir. Buna karşın bakır gibi kükürt ya da kükürtlü gazlardan etkilenen gümüş yüzeyinde oluşan sülfür filmi özellikle kontak baskı kuvveti, gerilim veya akım düşük olduğunda önemli miktarda kontak direnci oluşturmaktadır. Doğru akım şartlarında gümüş iyonlarının iç kısımdan sülfürün içine taşınmasıyla iletken köprüler oluşur. Bu nedenle özellikle yüksek doğru akım şartlarında bu film iletken hale gelir. Sülfür filminin direnci sıcaklığın artması ile azalma gösterir. Gümüşsülfür, 407 °C' de yavaş bir şekilde daha yüksek sıcaklıklarda ise hızla ayrışır. Bu kötü etkilerin yanında sülfür filmi, erozyonu ve yüzeyde toz birikimini de arttırmaktadır [18].

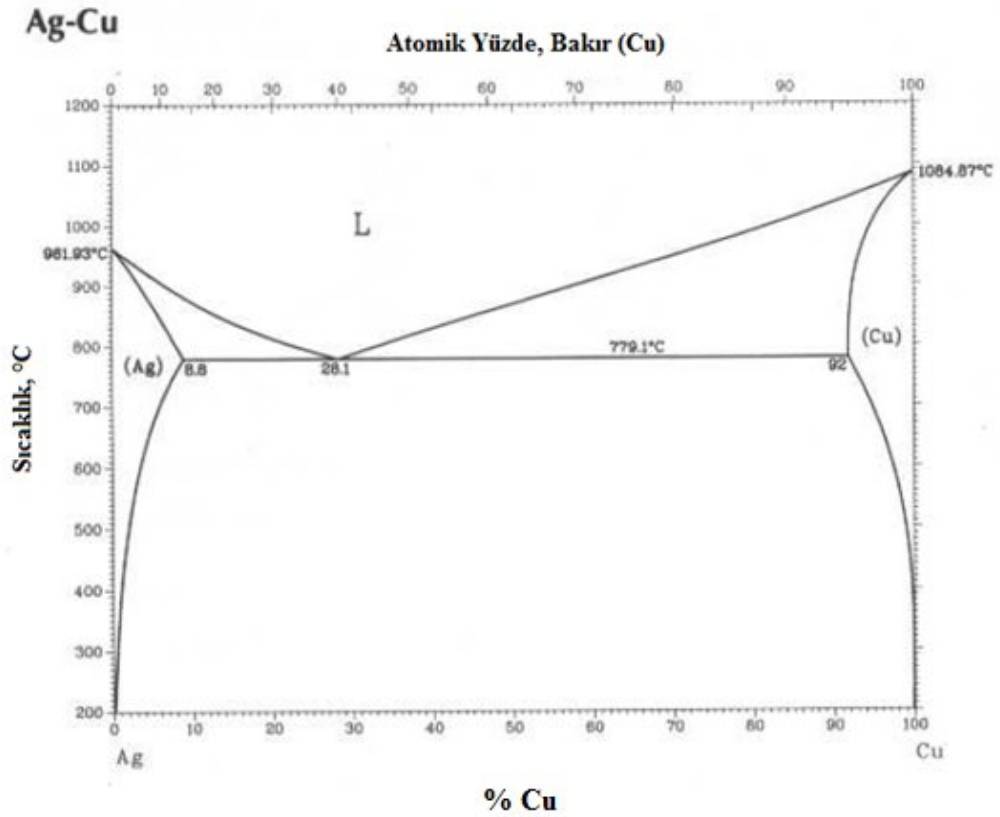
Gümüş sülfür filmi, gerilimi onlar mertebesinde düşürmektedir. Bu mertebelerdeki gerilim düşüşünün önemsiz olduğu uygulamalarda, gümüş kontaklar güvenle kullanılabilir.

Gümüşün, bu bölümün önceki kısımlarında açıklanan bütün olumlu yönlerine karşılık; aşınma dayanımı yüksek, yapışma ve kaynama eğilimleri mümkün olduğunca az, ark mukavemeti yüksek, malzeme transferi daha az ve daha ucuz malzemeler elde etme isteği, değişik metal ve metalloidlerle birlikte kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

#### 1.5.1.2.4.1. Gümüş Alaşımları

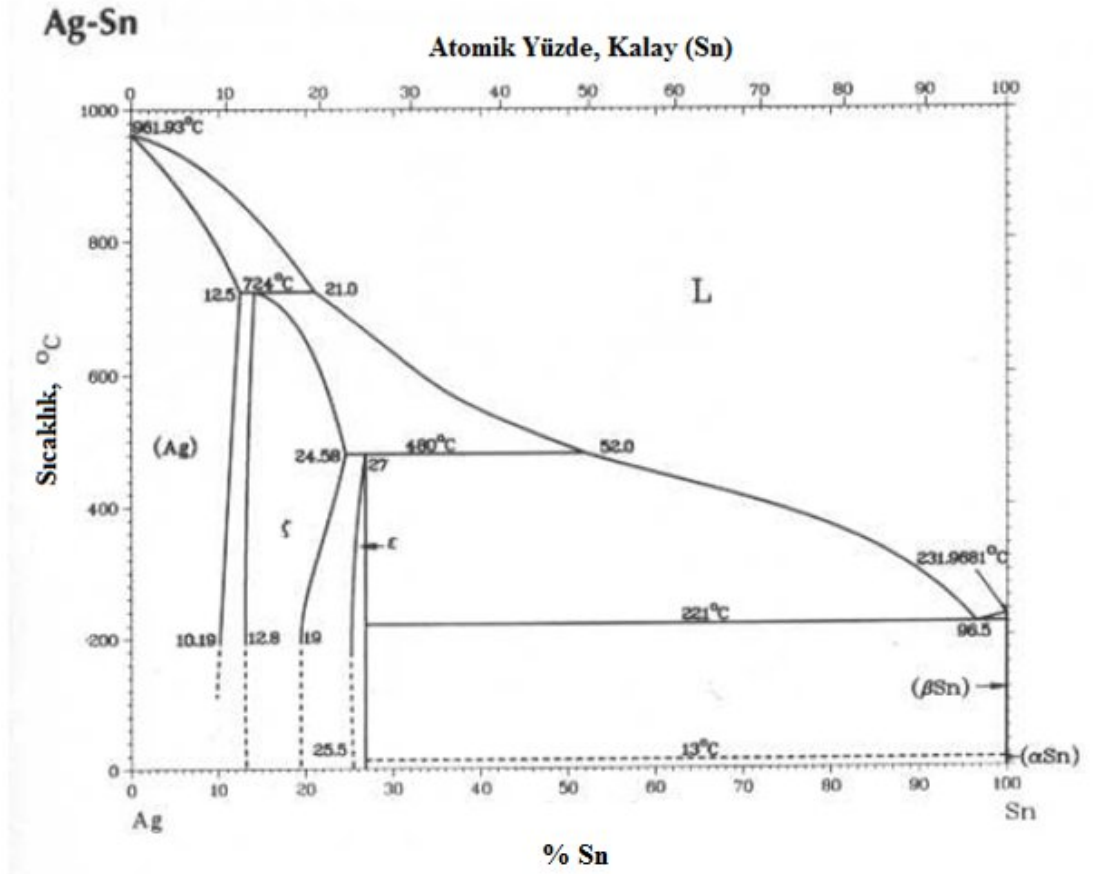
Bir alaşım elementi olarak önemli bir yere sahip olan bakır, saf gümüş ile birlikte ağırlıkça % 7,5 ve % 28 oranları arasında kullanılmaktadır. Isıl ve elektrik iletkenliğini, korozyon ve oksidasyon direncini, erime sıcaklığını ve maliyeti düşüren bakır, sertliği ve dolayısıyla da mekanik aşınma dayanımını artırır.

Birisi saf bakıra yakın, diğeri de gümüşçe zengin olan iki faza sahip Ag-Cu alaşımının denge diyagramı Şekil 1.8'de görülmektedir.



Şekil 1.8. Ag-Cu denge diyagramı [19].

Şekil 1.9 Ag-Sn alaşımının denge diyagramını göstermektedir. Ag-Cu alaşımlarına ağırlıkça % 0.2 ile % 0.3 arasında Ni katılması ile aşınma, kaynama ve yapışma azaltılır.



Şekil 1.9. Ag-Sn denge diyagramı [19].

Saf gümüşe kadmiyumun (Cd) katılması ile ark söndürme kabiliyeti, malzeme transferine, mekanik aşınmaya ve kaynamaya karşı mukavemet artırılırken elektrik iletkenliğinde, erime sıcaklığında ve oksidasyon direncinde azalma olur. Alaşımdaki Cd yüzdesi arttıkça kontak direnci de artar.

Gümüşe platin ve paladyum ilavesiyle elde edilen alaşımlar, saf gümüşe oranla daha düşük elektrik iletkenliğine ve daha yüksek maliyete sahip olmasına karşın sertliği, oksidasyona ve metal transferine karşı olan direnci artırır. Yüksek oksidasyon direnci, bu malzemelerin düşük baskı kuvveti ile çalışan kontaklarda kullanımını mümkün kılmaktadır.

Altının saf gümüşe katılması ile elde edilen alaşımın oksidasyona karşı yüksek mukavemeti, bu malzemelerin özellikle 0.5 amperden düşük akım taşıyan kontaklarda kullanımını mümkün kılmaktadır. Bu bölümde değinilen gümüş alaşımlarının bazı özellikleri Tablo 1.3’de verilmiştir.

#### **1.5.1.2.4.2. Refrakter İçerikli Gümüş Malzemeler**

Bu malzemeler gümüşün yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ile W, WC, Mo ve MoC gibi refrakter (yüksek sıcaklığa dayanıklı) malzemelerin yüksek ark erozyon dayanımlarının birleştirildiği sinter malzemelerdir. Refrakter içerikli gümüş malzemelere örnekler Tablo 1.4’de verilmiştir.

#### **1.5.1.2.4.3. Yarı Refrakter İçerikli Gümüş Malzemeler**

Yüksek iletkenlik, düşük erozyon kaybı, kaynamaya karşı yüksek mukavemet özelliklerinin biraraya getirilmesi amacıyla üretilen bu malzemeler, yüksek akımlarda uzun süre kullanılabilir. Toz metalürjisi tekniği ile üretilen ve Tablo 1.5’de çeşitli örnekleri verilen bu malzemelerin oksit içerikliliği iç oksidasyon yöntemi ile de üretilebilmektedir.

Ag-Ni oldukça sünek olup ağırlıkça % 10’a kadar Ni içermektedir. Toz metalürjisi ile üretilen bu malzemeler saf gümüşe göre aşınmaya karşı daha dayanıklıdır. Ag-C malzemelerdeki grafit, malzemeyi özellikle daha da kayganlaştırarak birbirleri üzerinde kayarak çalışan kontaklar için uygun hale getirir. Kaynama ve yapışmaya karşı mukavemeti artırması da bu malzemelerin diğer tercih sebepleridir.

Termomekanik termostatlar (0.1A–30A) (ısıtıcı ve soğutucular v.b.), elektromanyetik röleler, kontaktörler ve motor starterleri (10A–10000A), havalı devre kesicileri (10A–10000A), bu malzemelerin kullanım alanlarına verilebilecek örneklerdir.

Tablo 1.3. Gümüş alaşımı kontak malzemeleri ve özellikleri [20].

Malzeme bileşimi [ ağı. % ]	Ergime Noktası [ ° C ]	Oksidasyon Direnci	Korozyon Direnci	Elektrik İletkenliği [%IASC ]	Sertlik Rockwell - 15 T	
					Tavlınmış	Sertleştirilmiş
Saf Gümüş	960	Yüksek	Düşük	106	30	75
92.5 Ag – 7.5 Cu	821	Düşük	Düşük	85	65	83
90 Ag – 10 Cu	776	Düşük	Düşük	85	70	84
72 Ag – 26 Cu – 2Ni	776	Düşük	Düşük	87	77	84
72 Ag – 28 Cu	776	Düşük	Düşük	60	75	88
85 Ag – 15 Cd	876	Düşük	Orta	35	45	83
97Ag – 3 Pt	982	Yüksek	Orta	50	48	78
90 Ag – 10 Pd	998	Yüksek	Orta	30	62	82
90 Ag – 10 Au	971	Yüksek	Orta	40	56	75
60 Ag – 40 Pd	1226	Yüksek	Orta	8	77	87
70 Ag – 30 Pd	1160	Yüksek	Orta	12	72	85

Tablo 1.4. Refrakter içerikli Ag kontak malzemelerinin bileşimleri ve elektrik iletkenlikleri [11].

Malzeme [ Ağırlık Yüzdesi ]	Elektrik İletkenliği [ % IASC ]
27.5 Ag - 72.5 W	49
49 Ag - 51 W	51
46 Ag - 53 W - 1 C	55
65 Ag - 35 WC	57
40 Ag - 60 WC	37
50 Ag - 50 Mo	52

Tablo 1.5. Yarı refrakter içerikli Ag kontak malzemelerin bileşimleri ve elektrik iletkenlikleri [11].

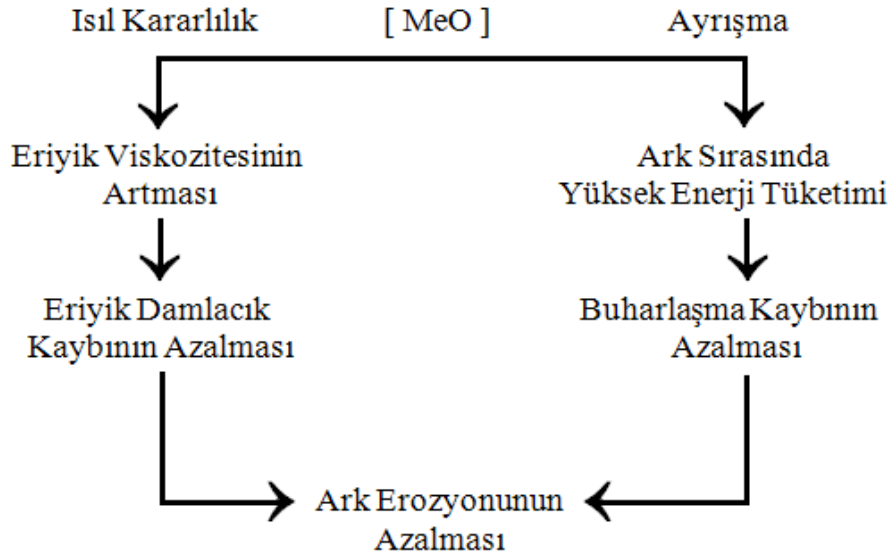
Malzeme [ Ağırlık Yüzdesi ]	Elektrik İletkenliği [ % IASC ]
97.5 Ag - 2.5 CdO	88
95 Ag - 5 CdO	84
90 Ag - 10 CdO	75
86.7 Ag - 13.3 CdO	68
85 Ag - 15 CdO	65
40 Ag - 60 Ni	25
99.5 Ag - 0.5 C	102
90 Ag - 10 C	35
88 Ag - 2 C - 10 Ni	70
99.34 Ag - 0.41 MgO - 0.25 NiO	70
90 Ag - 10 Fe	90
25 Ag - 50 Fe - 25 Cu	21

#### 1.5.1.2.4.4. Metal Oksit İçerikli Gümüş Esaslı Malzemeler

Bu malzemelerden yapılan kontakların çalışması sırasında iki ana mekanizma ortaya çıkmaktadır. Ark ve kontak malzemesinin karşılıklı etkileşiminde bu mekanizmaların ilki, oksit parçacıklarının bozunumu ve muhtemelen süblimasyonu şeklinde belirlemektedir.

Bu bozunum reaksiyonu enerji tüketir ve bu nedenle de buharlaşma yolu ile ağırlık kaybı saf gümüşdekine oranla azalma gösterir. Burada bozunum sıcaklığı kadar ayrışma entalpisi de etkin bir rol oynamaktadır.

Metal oksidin (MeO) ayrışımı ile serbest kalan metal, gümüş ile kısmen bir alaşım oluştururken kısmen de buhar fazından kontak yüzeylerinde MeO bileşeni, belli bir şekilde ergimeyi bir süre geciktirerek eriyiğin viskozitesini yükseltir. Böylece akıcılığı azalan eriyik, kontak yüzeyinden akarak uzaklaşmaz ve kontak yüzeyinin daha soğuk bölgelerinde yapışarak kalır. Bunun sonucu olarak da MeO parçacıkları, eriyik damlacıklarının yüzeyden sıçrayarak uzaklaşması yolu ile ortaya çıkan ağırlık kaybını azaltmış olur. MeO içerikli malzemelerin kontak ömrü süresince ark erozyon davranışı iki etkinin karşılıklı etkileşimi ve birbirine göre önemine bağlıdır (Şekil 1.10). Bir taraftan MeO bileşeninin ısı kararlılığı, eriyiğin artırılan viskozitesini kararlı halde (dengede) tuttuğu için avantaj oluştururken diğer taraftan MeO bileşeninin daha düşük ısı kararlılığı da önemli miktarda enerji tüketimi sağlamaktadır. Ag-MeO malzemelerin termodinamik özellikleri Tablo 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.10. Ag-MeO malzemelerin ark erozyon mekanizması [21].



### 1.5.2. Kontakların Destek Malzemesine Bağlanması

Kontakların iyi elektrik iletkenliğine sahip olan ve kontak baskı kuvvetine karşı koyacak mekanik dayanım sağlayan bir arka destekleme malzemesine monte edilmesi, bu metodun esasını oluşturmaktadır. Bu destekleme malzemelerinin korozyon direncine sahip olması, kolay şekillendirilebilmesi, lehimlenmesi, kaynak edilebilmesi ve düşük maliyette olması gerekir.

Kontak malzemesi, destekleme malzemesine genellikle lehimlenerek monte edilir. Bu tekniğin avantajları; üniform metalurjik bağ nedeni ile iyi elektriki ve ısıl iletkenlikler, pahalı metalin sadece ihtiyaç duyulan yere yerleştirilmesi nedeniyle düşük maliyet, müteakip soğuk haddeme nedeniyle iyi mukavemet, tam boyutsal kontrol ve dizayn çeşitliliğidir. Tablo 1.7' de örnek olarak Ag-CdO üst tabaka ve kaplama için destekleme malzemelerinin seçimi görülmektedir. Üst tabaka, şerit ya da işlenmiş parçalar halinde üretilebilir.

Tablo 1.6. Ag-MeO malzemelerin fiziksel ve termodinamik özellikleri [21,22].

Malzeme	Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	Ergime Noktası [°C]	Kaynama Noktası [°C]	Ayrışma Sıcaklığı [°C]	Ayrışma Entalpisi [kcal/mol]
Ag	10.49	960	2200	—	—
Cd	8.65	321	765	—	—
Sn	7.30	232	2270	—	—
Zn	7.13	420	907	—	—
CdO	8.15	—	—	>930	61.2
SnO <sub>2</sub>	6.95	—	—	>2373	138.8
ZnO	5.61	—	—	—	83.3
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.55	450	2300	—	302

Tablo 1.7. Ag-CdO üst tabaka ve kaplama için destekleme malzemesinin seçimi [23].

Destekleme Malzemesi	Üst Tabaka	Kaplama
Bakır	x	x
Sarı pirinç	x	x
Fosfor bronz	x	x
Ni - Ag	x	x
Kupronikel	x	Yok
Be - Cu	x	x
Ni	x	x
Düşük karbonlu çelik	x	x

Kontak malzemesi olarak kullanılacak olan değerli metaller, yüksek maliyetin önlenmesi açısından şerit halinde, ya yüksek bir sıcaklıkta ya da oda sıcaklığında destekleyici metal üzerine haddelenerek yüksek sıcaklıkta sinterlenirler. Bu şekilde üretim; iyi mukavemet, bimetal arayüzeyinden yüksek ısıl ve elektriki iletkenlik, tam boyutsal kontrol ve dizayn çeşitliliği sağlar. Bunun yanında perçinleme gibi basit mekanik birleştirmeler ile de kontakın destekleme malzemesine bağlanması mümkündür.

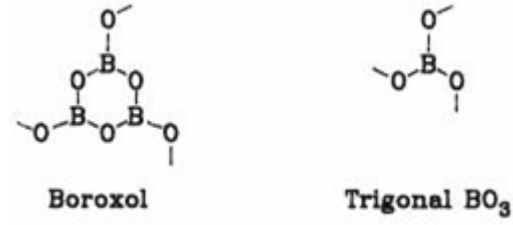
### 1.6. Bor Oksit

Borun temel oksidi bor oksittir. Bor oksit ( $B_2O_3$ ) iki kristal formda bulunur. Camı form renksiz, sert bir katı olup genellikle borik asidin dehidratasyonu ile elde edilir.  $B_2O_3$ 'ün en yaygın kristal yapısı hekzagonal veya alfa-formudur. Uygun basınçta 200-250°C'de kristalize olur. Daha az görülen monoklinik beta-formu ise 4000 MPa basıncında ve 600°C sıcaklığında kristallenir.

Tarihsel olarak sıvı ve camı  $B_2O_3$  moleküler yapılarında bir tartışma mevcuttur. Yapının üçgensel  $BO_3$  ve boroksol halkalarının gelişigüzel dağılması ile oluştuğuna inanılır (Şekil 1.11).

Ergimiş  $B_2O_3$  1000 °C'yi aştığında birçok metal ve alaşım için koroziftir. Bu, bor elementinin metal yüzeyini temiz ve oksijen saldırılarına karşı hassas yapmasından

dolayıdır.  $B_2O_3$ 'in yüksek sıcaklıklarda Mg, Al ve alkali metallerle indirgenmesi  $B_{12}O_3$  gibi suboksitler oluşturur.



Şekil 1.11. Bor oksidin yapısı

Yüksek saflıkta  $B_2O_3$  (% 99) rafine borik asitin eritilmesi ile elde edilir. Bor oksit aynı zamanda amonyum pentaboratın (500-900 °C) termal bozunması ile de elde edilebilir [24,25,26].

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Giriş**

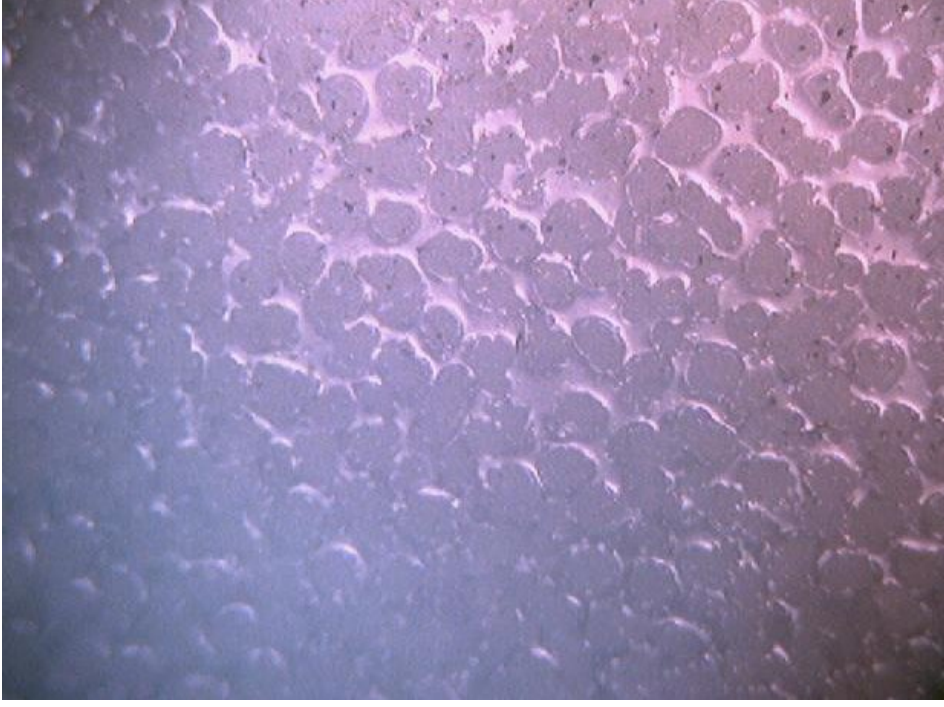
Bu çalışmada hacimsel olarak %5, %10 ve %15 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (bor oksit) içeren Ag (gümüş) esaslı elektrik kontak malzemeleri toz metalurjisi yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen bu kontaklar tasarım ve imalatı yapılan deney düzeneğinde ark erozyon testlerine tabi tutulmuşlardır. Deneylerde kontakların 10.000, 20.000, 30.000 ve 40.000 kez açılıp-kapanması (çevrim) sonunda, kontak yüzeylerinde meydana gelen ark bozunumları incelenmiştir. Her çevrim aralığı sonunda sabit ve hareketli kontakların ağırlıkları ölçülerek, ark erozyonu ile kontak çiftleri arasındaki malzeme transferleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular ile de, test edilen dört değişik kontak arasında karşılaştırmalar yapılarak B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının kontak erozyonuna etkisi incelenmiştir.

### **2.2. Kullanılan Malzemeler ve Toz Üretimi**

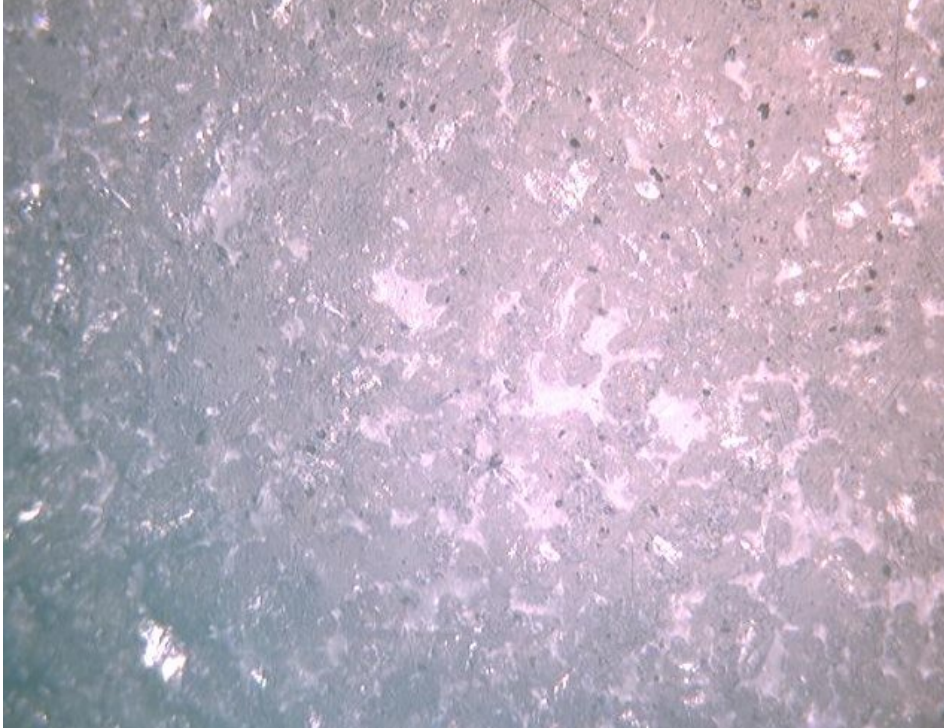
Kontaktları üretmek için gerekli olan gümüş tozu, ticari saflıktaki gümüş (%99,7) bir parçanın mekanik eğelenmesiyle elde edilmiştir. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ise Etibank tesislerinde üretilmiş olup, piyasadan toz halinde alınmıştır. Üretilen tozlar 250 µm'lik elekten elenerek, elek altı tozlar kontak malzemesi imalinde kullanılmıştır. Deneyde kullanılan tozların 50 büyütmedeki (50X) görüntüleri aşağıda verilmiştir (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).

### **2.3. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Ag – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kontak Malzemesi Üretimi**

İlk olarak Ag ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları sırasıyla %5, %10 ve %15 olmak üzere, belirli hacim oranlarında karıştırılmıştır. Karışımın homojen olabilmesi için karıştırılma esnasında tozlara etil alkol püskürtülmüştür. Elde edilen bu toz karışımı Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de görünüşleri verilen kalıpta sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi 15 ton kapasiteli hidrolik bir pres ile yapılmıştır. Sıkıştırma basıncı 1000 MPa olarak alınmıştır.



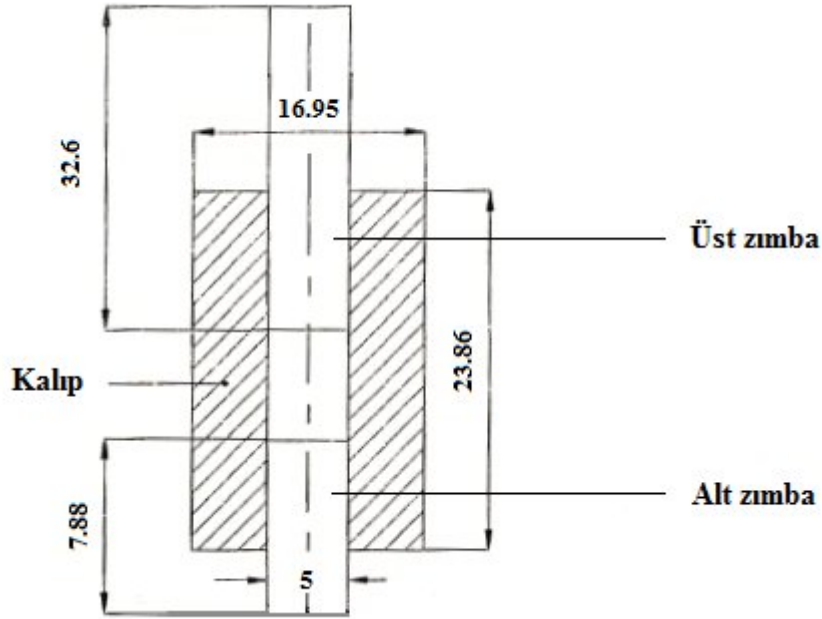
Şekil 2.1. Bor oksit tozu (50X)



Şekil 2.2. Gümüş tozu (50X)



Şekil 2.3. Ag – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozlarının preslenmesinde kullanılan kalıbın görünüşü



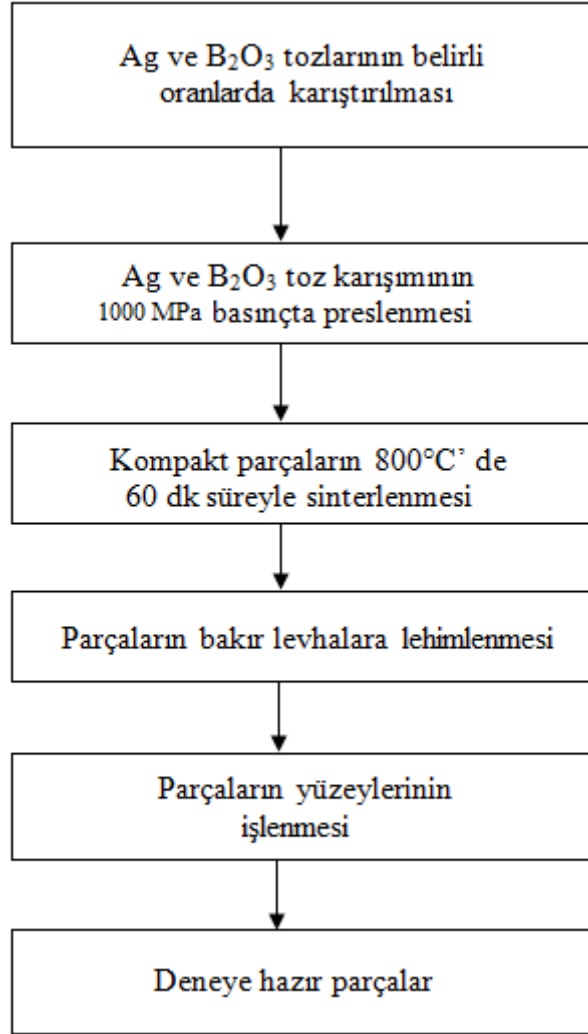
Şekil 2.4. Ag – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>tozlarının presleme kalıbının teknik resmi

Sıkıştırılan toz karışımı, başka bir ifadeyle ham kompaktlar sinterlenmek üzere içi odun kömürü ile doldurulmuş olan bir çelik tüp içine (uçları kapalı) yerleştirilmiştir. Bu suretle indirgeyici atmosfer oluşturularak oksitlenme önlenmiştir. Sinterleme işlemi sinter fırınında 800°C’de 1 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Sinterlenmiş olan bu parçalar biri sabit kontak, diğeri de hareketli kontak olacak şekilde bakır levhalara lehimlenmişlerdir.

Lehimleme işleminin ardından kontak yüzeyleri işlenip en son 800 numaralı zımpara ile zımparalama işlemi yapılmıştır. Elde edilen kontakların yüksekliği yaklaşık 2.50 mm olarak ölçülmüştür. Hem alt hem de üst kontakların çapları 5 mm'dir. Bütün ölçümler dijital kumpas kullanılarak yapılmıştır.

Üst kontaklar hareketli, alt kontaklar ise sabit olarak kullanılmıştır. Kontaklar için kullanılan üretim metodunun iş akış diyagramı Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

Kontaklar belirli çevrim sayıları aralıklarında alınarak Precisa marka hassas terazide 0.0001 g hassasiyetle tartılmıştır.



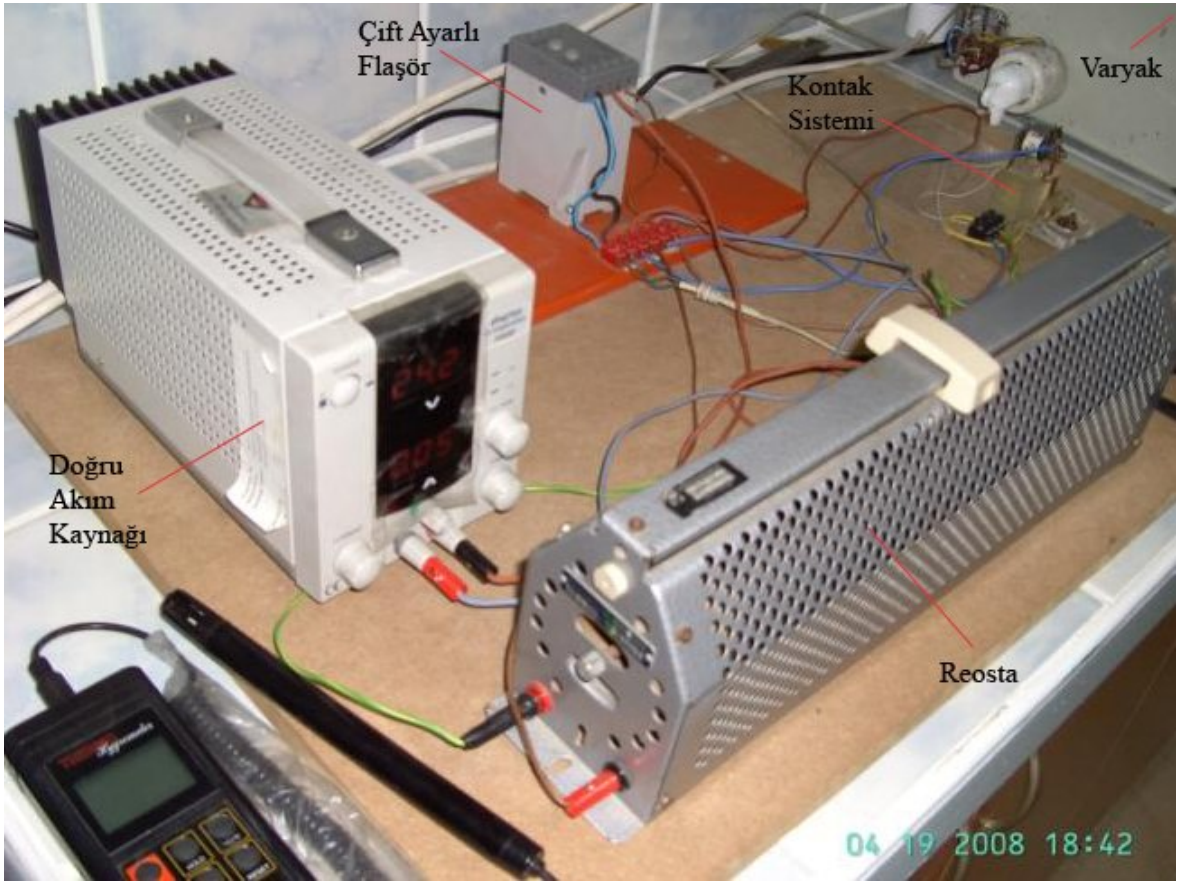
Şekil 2.5. Kontak malzemesi üretiminde izlenen iş akış diyagramı



Şekildeki akış diyagramına göre imal edilip son şekline getirilen Ag - %5 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ag - %10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ag - % 15 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ayrıca saf Ag kontaklar ark erozyon testlerine tabi tutulmuştur. Testlerden sonra numunelerin yüzeyleri metal mikroskobunda 50 büyütmede incelenerek fotoğrafları çekilmiştir.

#### 2.4. Deney Düzeneği Elektrik Devresi

Ag – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kontaklarının test edilmesinde kullanılan deney düzeneği Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de verilmiştir.



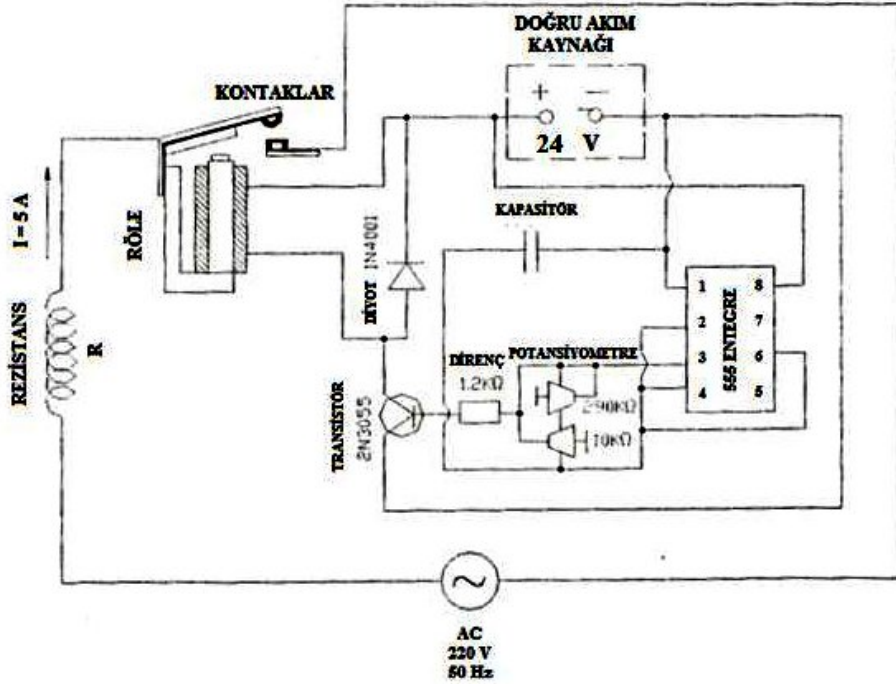
Şekil 2.6. Kontakların test edilmesinde kullanılan deney düzeneği

Deney düzeneği elemanları röle, çift ayarlı flaşör, reosta, varyak ve doğru akım kaynağından oluşmaktadır. Rölenin bobini 24 voltluk doğru akım ile çalışmaktadır. Bobin işlevi, akım geçtiğinde mıknatıslanarak hareketli kontağı kendine doğru çekmesi ve akım



kesildiğinde ise kontağı bırakması şeklindedir. Bu şekilde hareketli kontağın sabit kontak üzerine kapanıp açılması sağlanmıştır. Kontakların belirli frekanslarda açılıp kapanmalarını sağlamak için çift ayarlı flâşör kullanılmıştır. Böylelikle kontakların ne sıklıkla açılıp kapanacağı ve çevrim sonrası bekleme süresi kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Devreden geçen akımı artırmak veya azaltmak için düzeneğe varyak dahil edilmiştir. Rölenin kontakları 220 V gerilim ve 50 Hz frekans değerindeki alternatif akım şebekesine bağlanmıştır. Ayrıca kontaklar üzerinden 5 A'lık akımın çekilmesi için de devreye reosta eklenmiştir.

Kontaklar üretilip bakır levhalara lehimlendikten sonra kontak sistemine monte edilmişlerdir. Kontak sistemi Şekil 2.8'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.7. Deney düzeneğinin elektronik devre şeması

## 2.5. Deneylerin Yapılışı

Gümüş ve bor oksit tozları elek sisteminden geçirilmiş ve 250  $\mu\text{m}$ 'lik elek altı tozlar kontakların üretiminde tercih edilmiştir. Ortalama parçacık boyutu arttıkça, sinterleme işlemi kötü yönde etkilenecektir [27]. Bu nedenle 250  $\mu\text{m}$ 'lik elek altı tozlar presleme ve



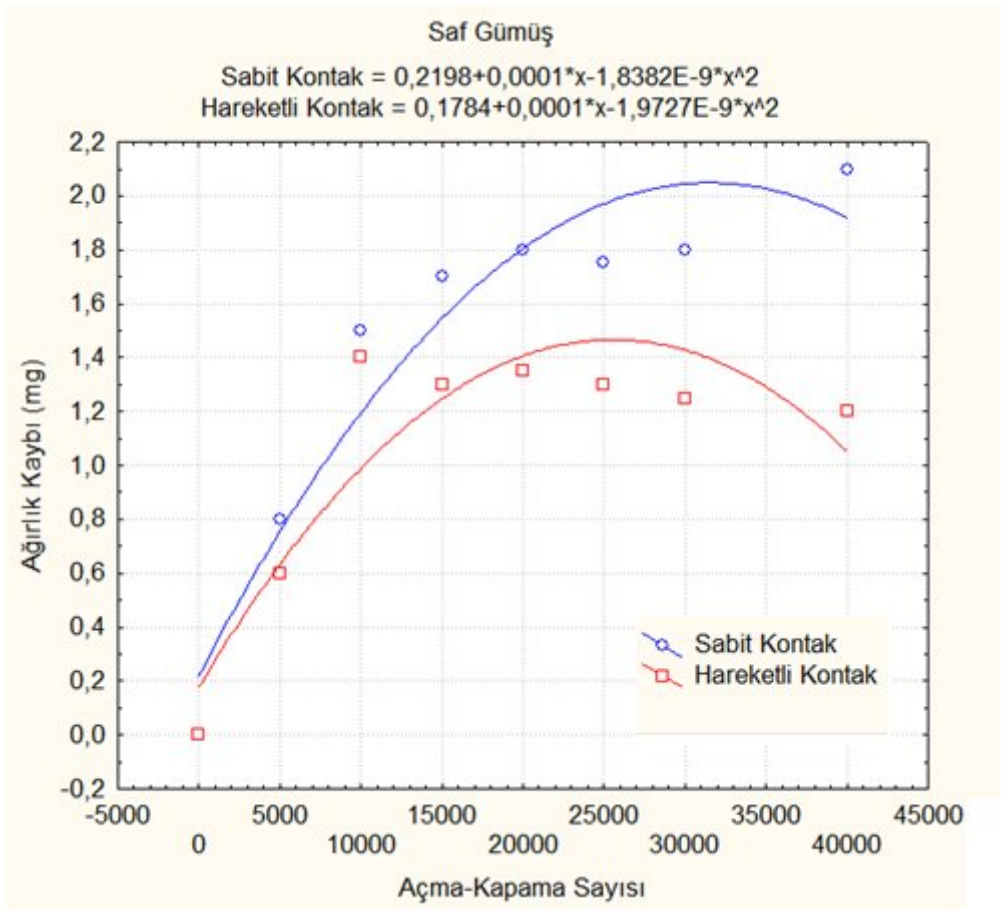
### 3. BULGULAR

Bu çalışmada bulunan sonuçlar bütün kontak çiftlerinde çalışma sırasında ağırlık kaybı olduğunu göstermektedir. Değişik kontak çiftleri için açma – kapama sayısı ile değişen ağırlık kayıpları toplu olarak Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

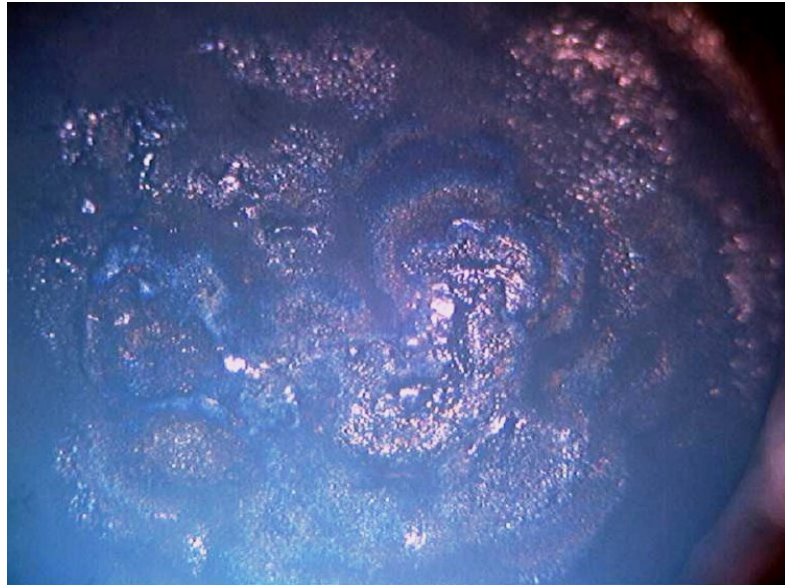
Tablo 3.1. Deneilerde ölçülen sabit kontak, hareketli kontak ve toplam ağırlık kayıpları

Kontak Malzemesi	Kontak Durumu	Çevrim Sayısı ve Ağırlık Kaybı (mg)						
		5000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	40.000
Saf Gümüş	Sabit	0.8	1.5	1.7	1.8	1.75	1.8	2.1
	Hareketli	0.6	1.4	1.3	1.35	1.3	1.25	1.2
	Toplam	1.4	2.9	3	3.15	3.05	3.05	3.3
% 95 Ag - % 5 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sabit	0.7	1.3	1.7	1.6	1.75	1.9	2
	Hareketli	0.5	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	1.2
	Toplam	1.2	2.4	2.6	2.5	2.55	2.7	3.2
% 90 Ag - % 10 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sabit	0.5	0.8	0.9	0.8	0.7	0.9	1.1
	Hareketli	0.4	0.5	0.7	0.7	0.75	0.8	0.8
	Toplam	0.9	1.3	1.6	1.5	1.45	1.7	1.9
% 85 Ag - % 15 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sabit	1.6	1.7	1.1	1.8	3.7	3.8	4.4
	Hareketli	0.8	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.2
	Toplam	2.4	3.3	2.5	3	4.8	4.9	5.6

Saf gümüş kontak çiftine ait sabit ve hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her iki kontaktaki ağırlık kayıpları ilk 20.000 çevrimde hızla artmış, bu değer üzerinde ise nispeten yavaşlamıştır. Ağırlık kaybının sabit kontakta daha fazla olduğu gözlenmektedir. Kontak yüzeylerindeki ark bozunumlarını gösteren metal mikroskobunda 50 büyültmede çekilen (mikrograflar) fotoğraflar Şekil 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.



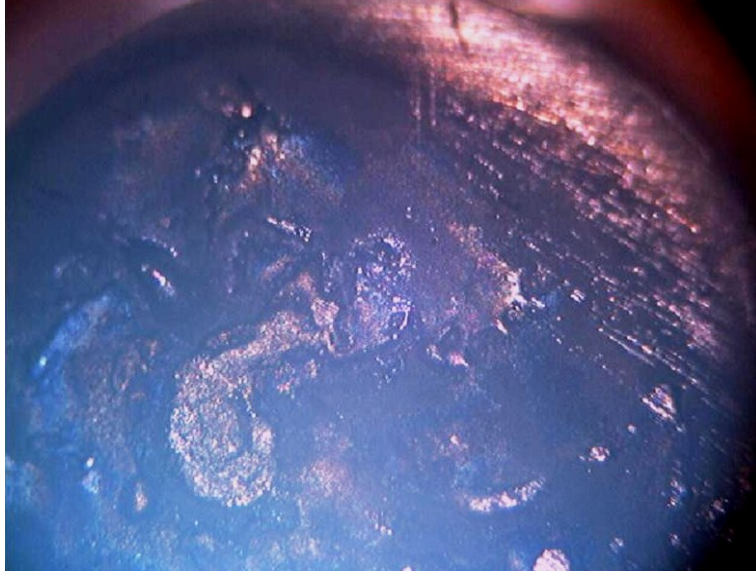
Şekil 3.1. Saf gümüş malzemeden yapılmış sabit ve hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi



Şekil 3.2. 10.000 açma-kapama sonunda saf gümüş sabit kontak yüzeyinin görünüşü (50X)



Bu fotoğraflar incelendiğinde 10.000 çevrimde sabit kontak yüzeyinde ark izleri ve ergime bölgeleri daha belirgin olup ergime bölgesi nispeten daha geniş yer tutmaktadır. 40.000 çevrimde ise sabit kontakta ark bölgelerinin azalarak daha dar bir alanda toplandığı görülmektedir. Diğer taraftan hareketli kontakta ark etkili bölgenin genişlediği görülmektedir.



Şekil 3.3. 10.000 açma-kapama sonunda saf gümüş hareketli kontak yüzeyinin görünüşü (50X)

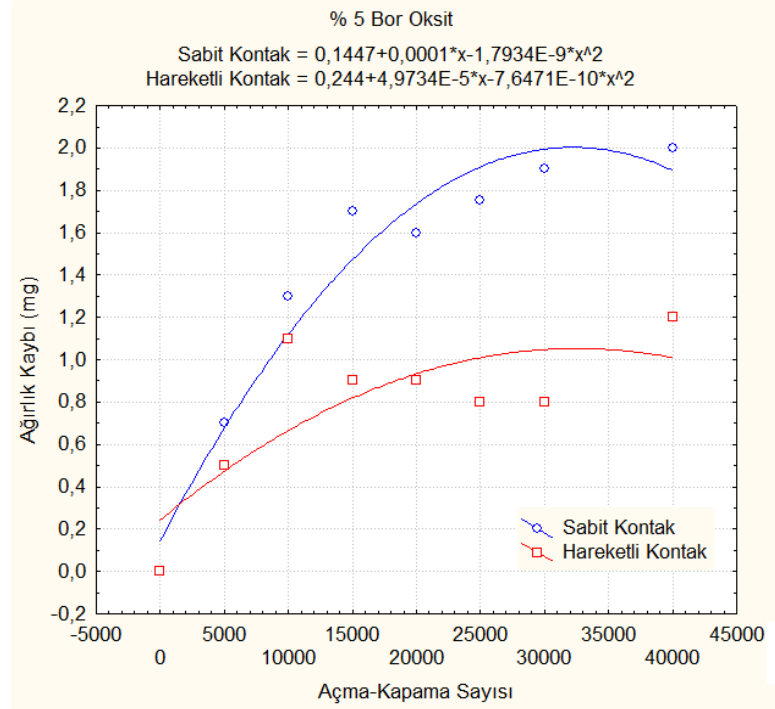


Şekil 3.4. 40.000 açma-kapama sonunda saf gümüş sabit kontak yüzeyinin görünüşü (50X)



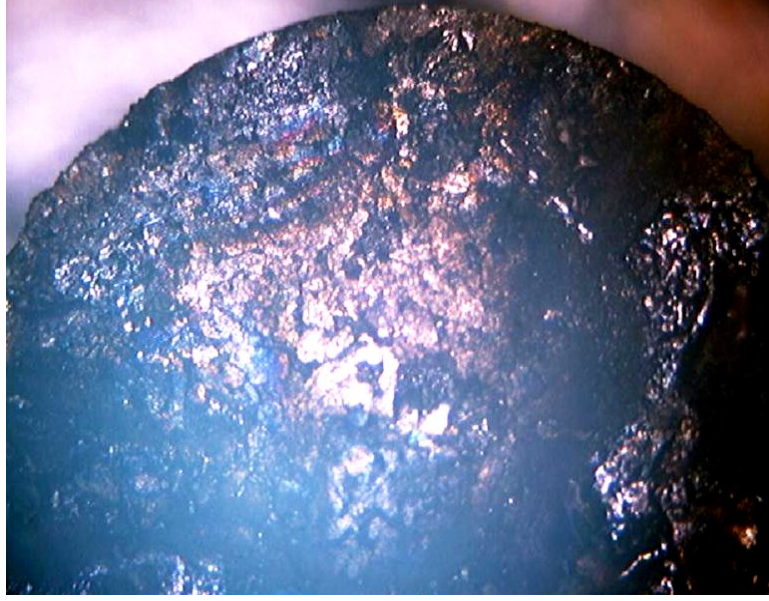
Şekil 3.5. 40.000 açma-kapama sonunda saf gümüş hareketli kontak yüzeyinin görünüşü (50X)

Hacimsel olarak % 5 oranında  $B_2O_3$  içeren Ag -  $B_2O_3$  kontak çiftinin ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısına göre değişimi Şekil 3.6'da ve yüzey fotoğrafları da Şekil 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'da verilmiştir.

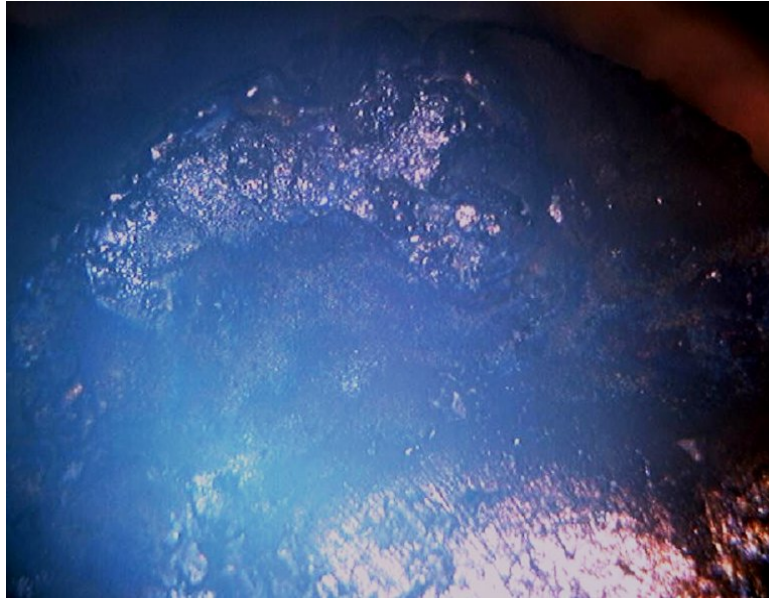


Şekil 3.6. % 5 oranında  $B_2O_3$  içeren sabit ve hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi

Şekil 3.6'dan görüldüğü gibi sabit kontakta ağırlık kaybı 30.000 çevrime kadar sürekli bir artış göstermiştir. Hareketli kontakta ise 15.000 çevrimin üzerinde ağırlık kaybı çok az olmuştur. 10.000 çevrimden sonraki yüzey görüntülerinde sabit kontaktaki ark etkili bölge geniş yer tutacaktır. Hareketli kontakın yüzeyi ise nispeten daha düzgündür.



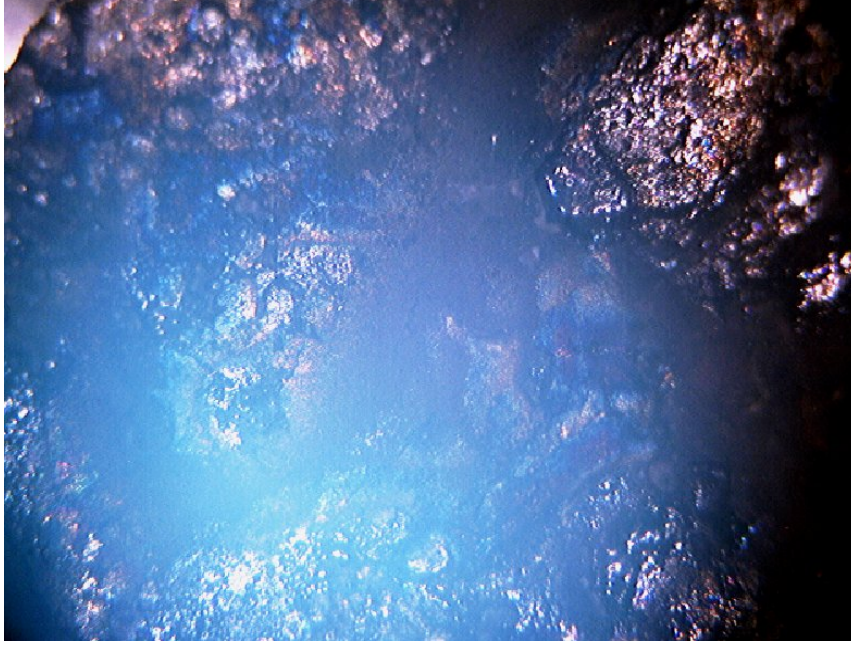
Şekil 3.7. 10.000 açma-kapama sonunda % 5  $B_2O_3$  içeren sabit kontakın yüzeyi (50X)



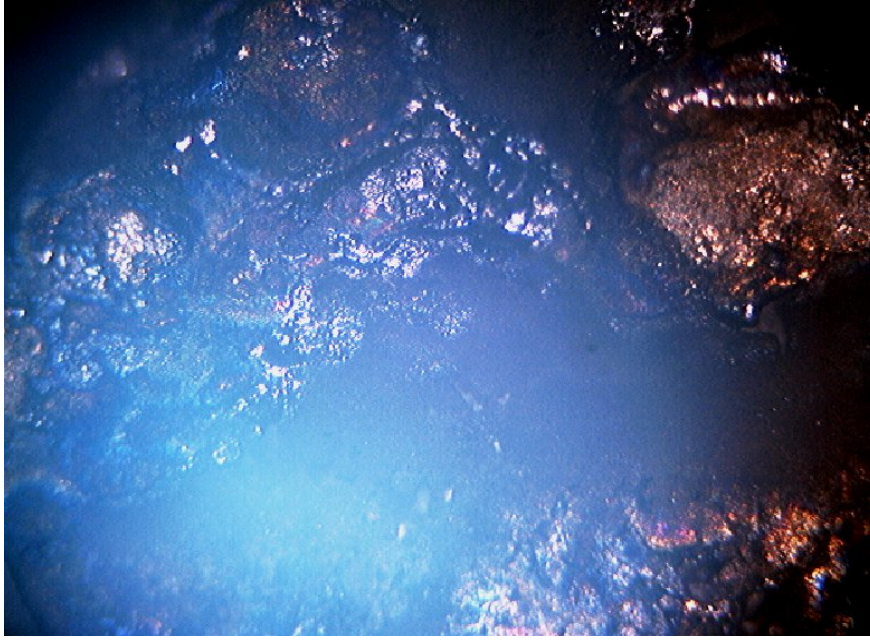
Şekil 3.8. 10.000 açma-kapama sonunda % 5  $B_2O_3$  içeren hareketli kontakın yüzeyi (50X)



40.000 çevrim sayısından sonraki yüzey görüntülerinde ise yüzeylerin daha düzgün olduğu göze çarpmaktadır.



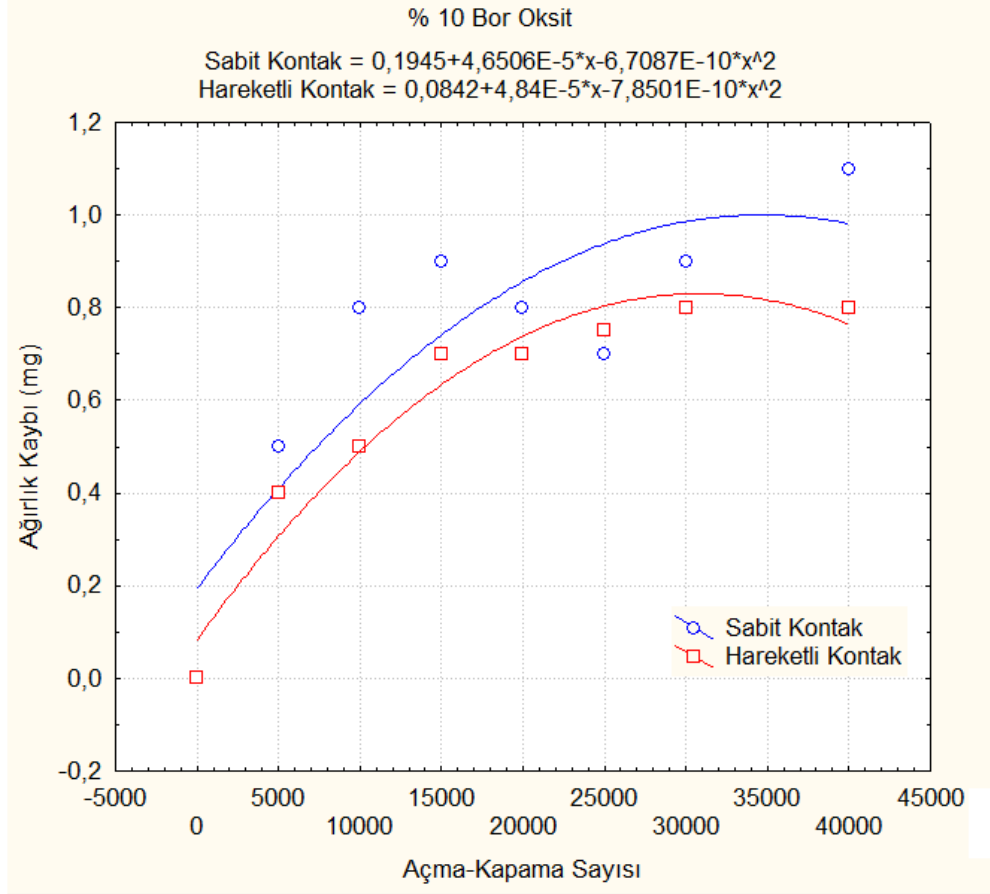
Şekil 3.9. 40.000 açma-kapama sonunda % 5 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren sabit kontağın yüzeyi (50X)



Şekil 3.10. 40.000 açma-kapama sonunda % 5 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren hareketli kontak yüzeyi (50X)



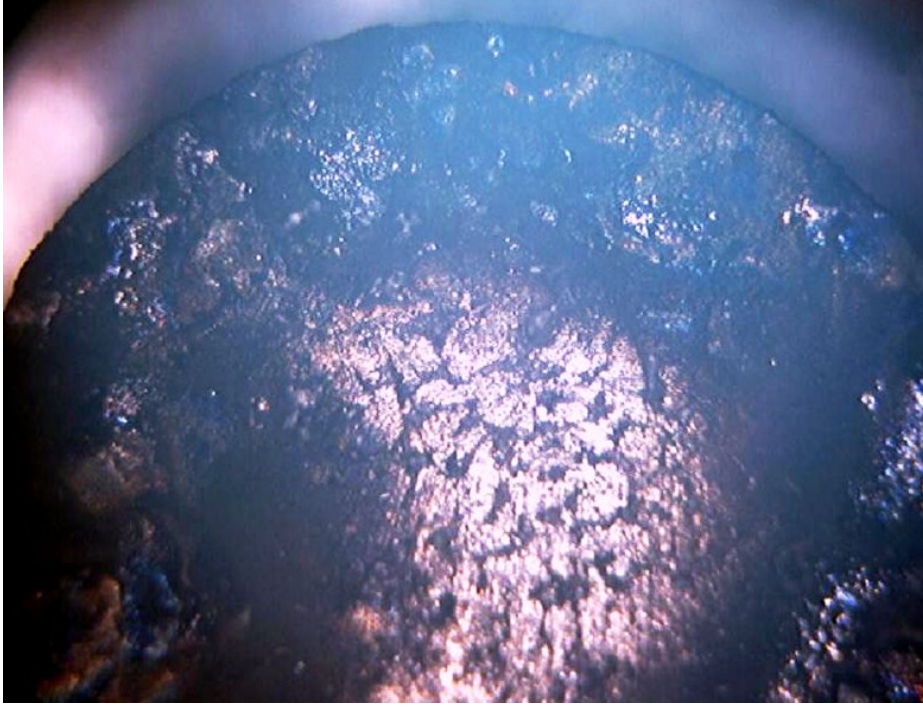
% 10 oranında  $B_2O_3$  içeren Ag -  $B_2O_3$  kontak çiftinin ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısına göre değişimi Şekil 3.11’de, kontaktların yüzey fotoğrafları ise Şekil 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.11. % 10 oranında  $B_2O_3$  içeren sabit ve hareketli kontaktların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi

Hareketli ve sabit kontaktların ağırlık kayıplarının birbirine çok yakın olduğu gözlenmektedir. Ayrıca toplam ağırlık kayıpları da saf Ag ve % 5  $B_2O_3$  içeren kontaktlara göre çok daha azdır. Bu kontaktlarda da 30.000 çevrimden sonra, çevrimle ağırlık kaybının azaldığı görülmektedir.

10.000 çevrimden sonraki kontak yüzeyleri incelendiğinde her iki kontak yüzeylerinin de nispeten düzgün olduğu gözlenmektedir. Ayrıca ergime izleri de yoktur (Şekil 3.12 ve 3.13).

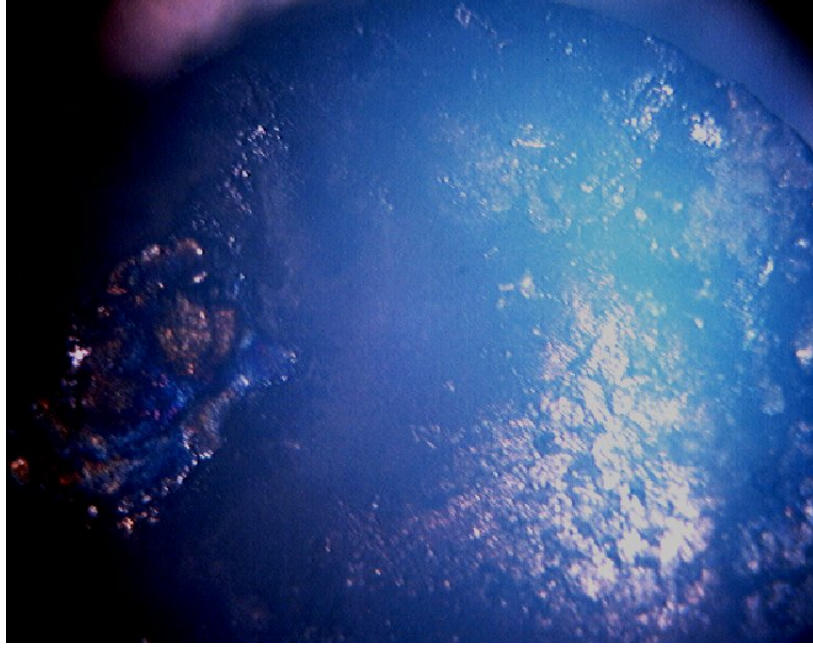


Şekil 3.12. 10.000 açma-kapama sonunda % 10  $B_2O_3$  içeren sabit kontağın yüzeyi (50X)

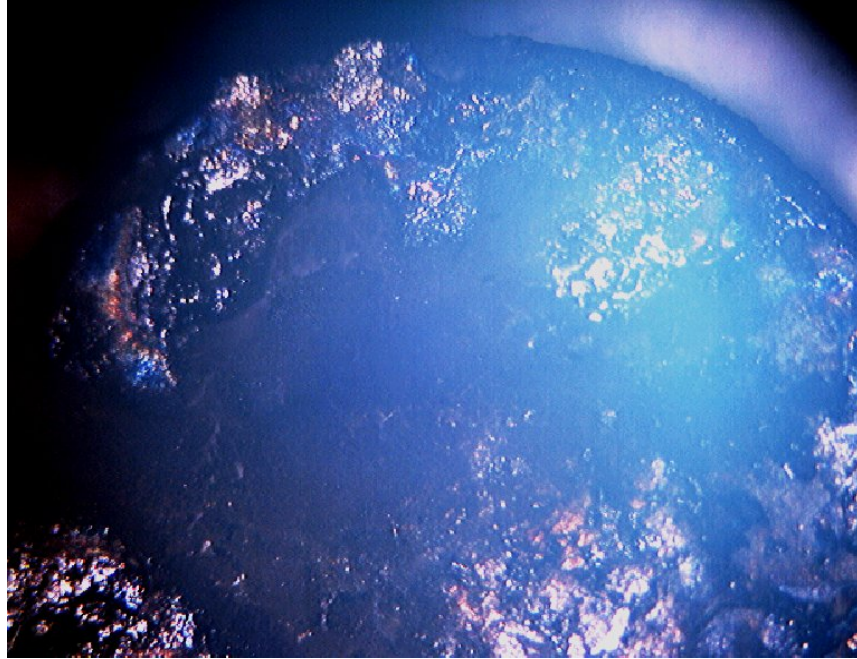


Şekil 3.13. 10.000 açma-kapama sonunda % 10  $B_2O_3$  içeren hareketli kontak yüzeyi (50X)

40.000 çevrimden sonraki kontak yüzeylerinin de daha düzgün olduğu gözlenmektedir (Şekil 3.14 ve 3.15).

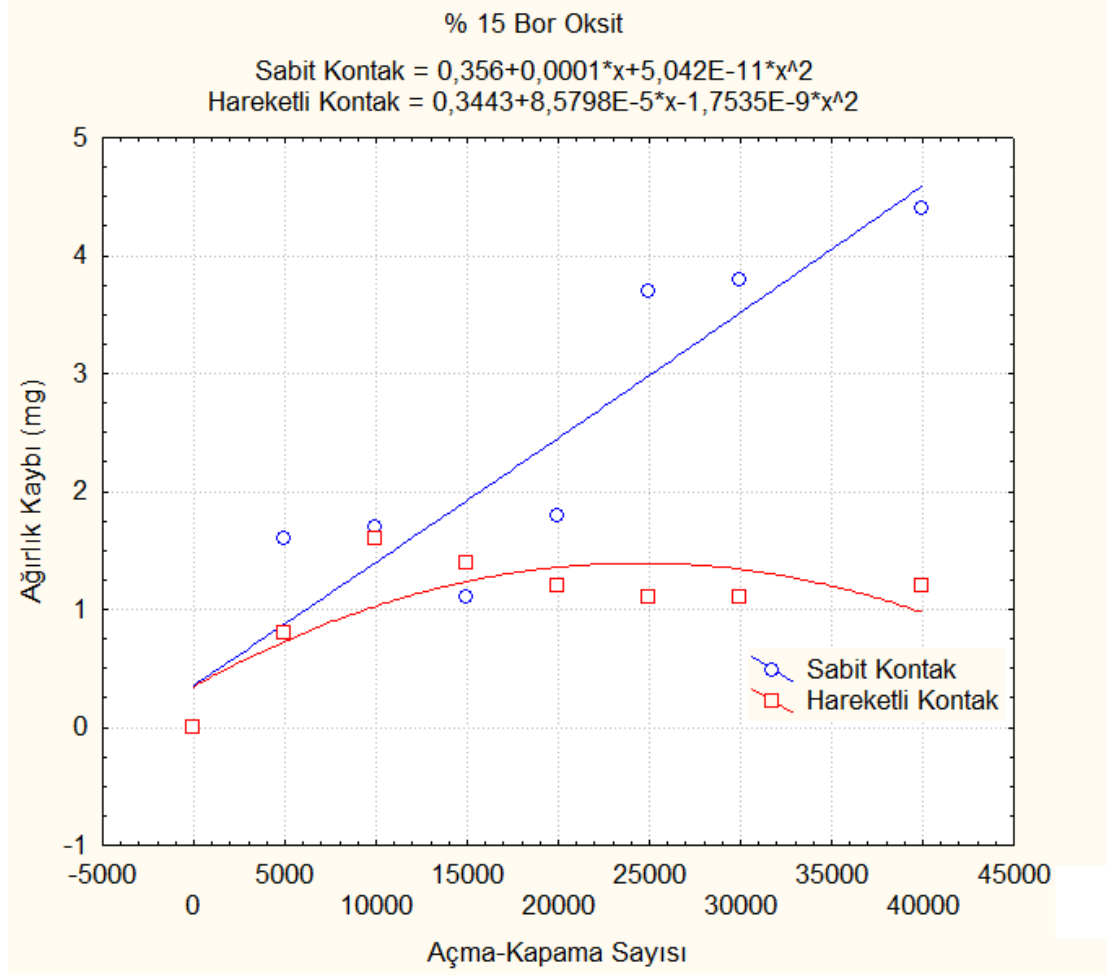


Şekil 3.14. 40.000 açma-kapama sonunda % 10  $B_2O_3$  içeren sabit kantağın yüzeyi (50X)



Şekil 3.15. 40.000 açma-kapama sonunda % 10  $B_2O_3$  içeren hareketli kantağın yüzeyi (50X)

$B_2O_3$  oranı % 15 olan Ag -  $B_2O_3$  kontak çiftine ait ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısına göre değişimi Şekil 3.16'da gösterilmiştir. 10.000 ve 40.000 çevrimden sonraki yüzey fotoğrafları da Şekil 3.17, 3.18, 3.19 ve 3.20'de verilmiştir.

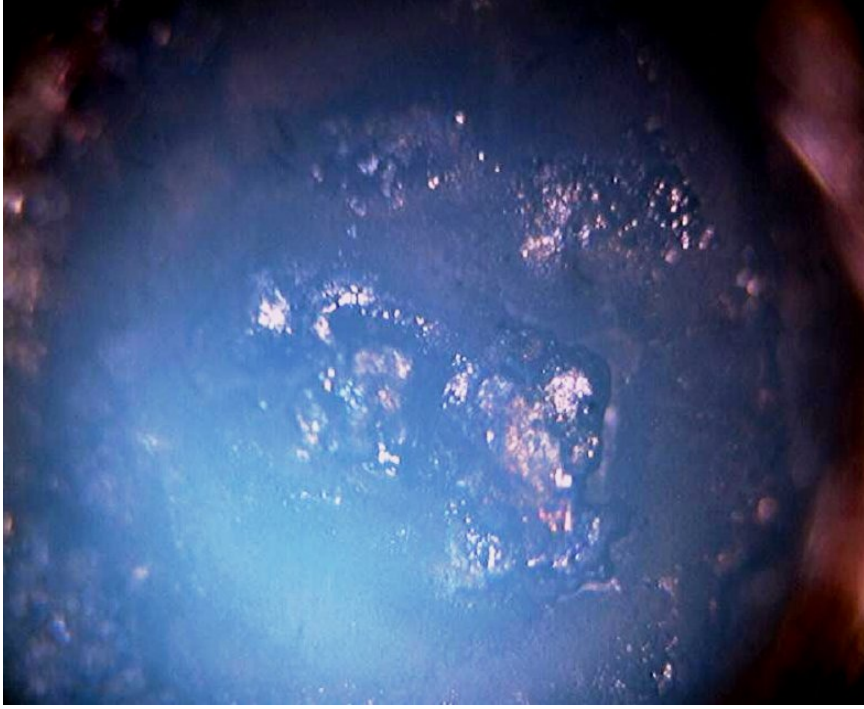


Şekil 3.16. % 15 oranında  $B_2O_3$  içeren sabit ve hareketli kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi

Şekil 3.16'nın incelenmesinden anlaşıldığı gibi sabit kontakta ağırlık kaybı 40.000 çevrime kadar sürekli artış göstermiştir. Diğer taraftan, hareketli kontakta ağırlık kaybı yaklaşık 5000 çevrimden sonra sabit kalmıştır.

10.000 çevrimden sonraki yüzeylerde, sabit kontak yüzeyinde ark etkili bölgede ergime izleri görülmektedir.



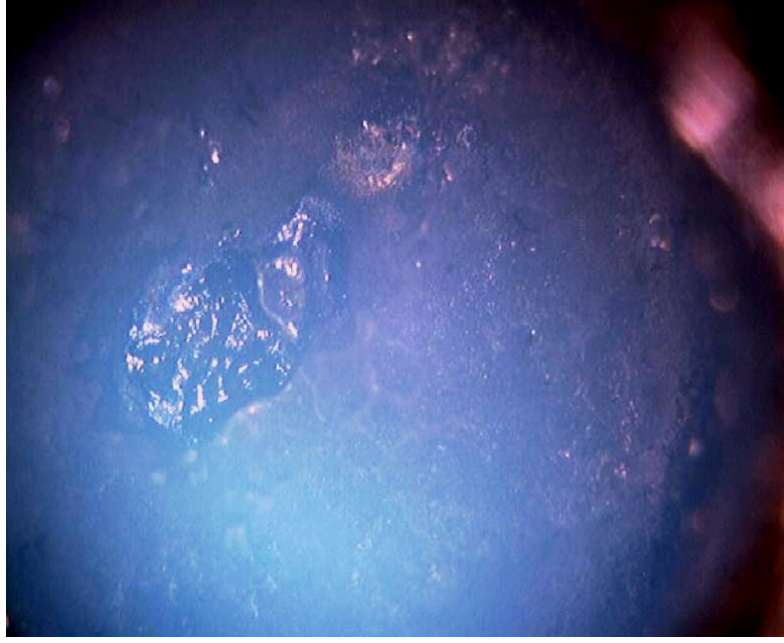


Şekil 3.17. 10.000 açma-kapama sonunda % 15  $B_2O_3$  içeren sabit kontağın yüzeyi (50X)

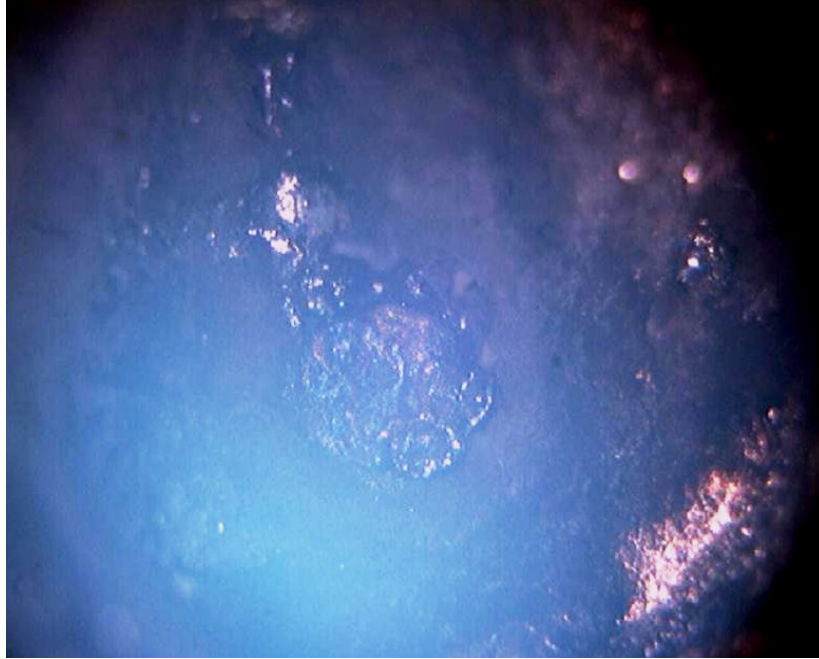


Şekil 3.18. 10.000 açma-kapama sonunda % 15  $B_2O_3$  içeren hareketli kontağın yüzeyi (50X)

Diğer taraftan, hareketli kontak yüzeyinde de ergime izleri gözlenmektedir. 40.000 çevrimden sonraki yüzeyler incelendiğinde sabit kontak yüzeyinde ergime izleri göze çarpmaktadır.

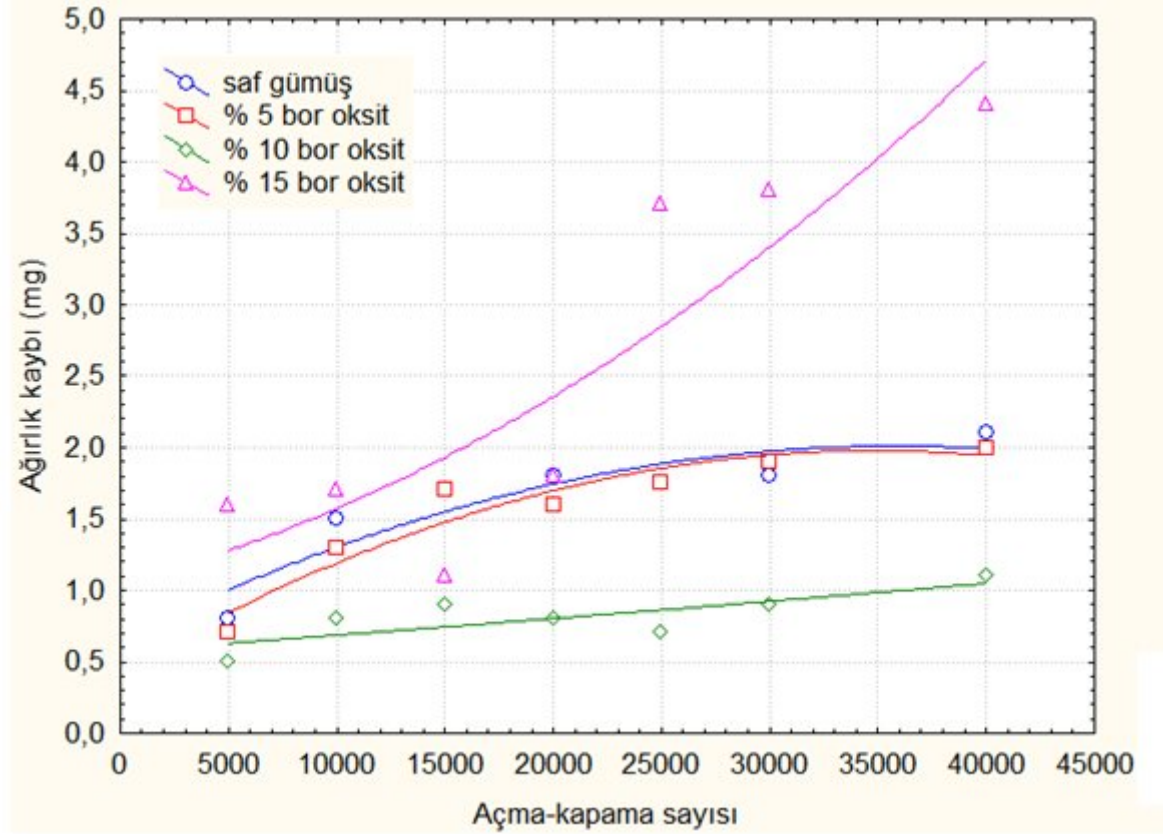


Şekil 3.19. 40.000 açma-kapama sonunda % 15  $B_2O_3$  içeren sabit kantağın yüzeyi (50X)



Şekil 3.20. 40.000 açma-kapama sonunda % 15  $B_2O_3$  içeren hareketli kantağın yüzeyi (50X)

Dört farklı bileşimdeki malzemedan oluşan kontak çiftlerinin sabit kontaklarının açma-kapama sayısına bağlı olarak ağırlık kayıplarının değişimi, karşılaştırma yapmak amacıyla, toplu olarak Şekil 3.21’de ve hareketli kontaklarının ağırlık kayıpları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.22’de verilmiştir.



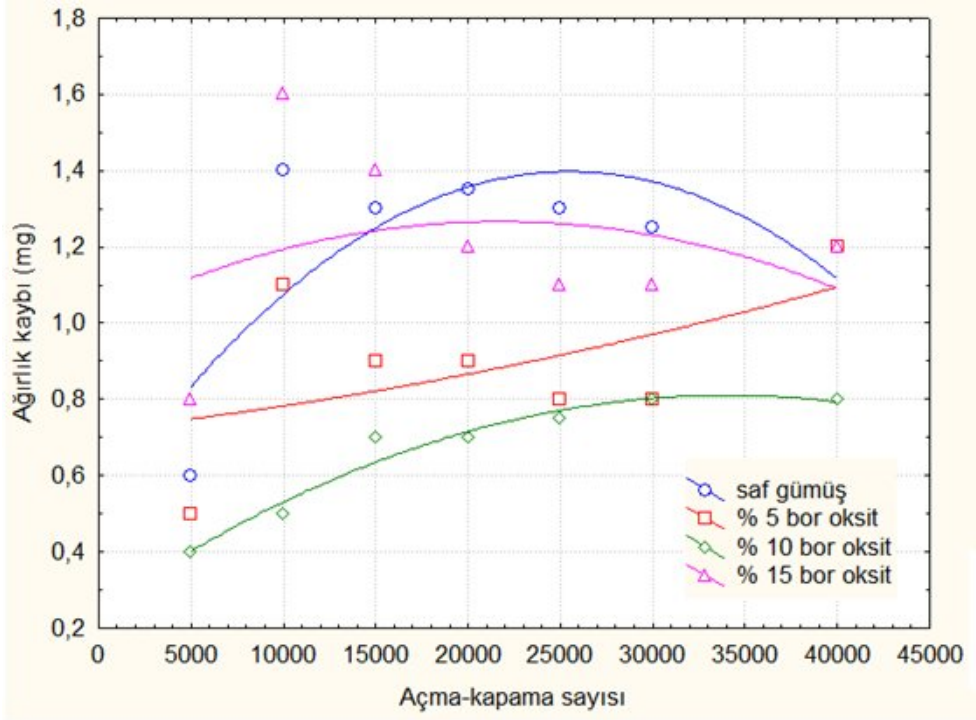
Şekil 3.21. Dört farklı malzemedan yapılmış sabit kontakların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi

Şekil 3.21’de görüldüğü gibi en fazla ağırlık kaybı % 15  $B_2O_3$  içeren malzemede oluşurken en az ağırlık kaybı % 10  $B_2O_3$  içeren malzemede meydana gelmiştir.

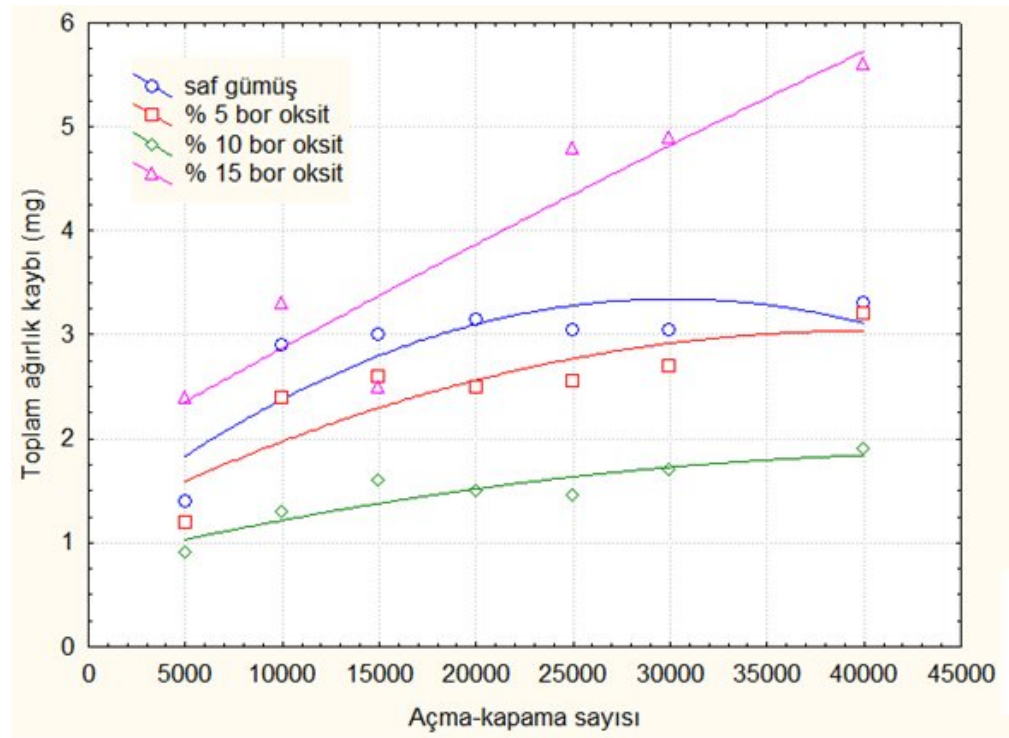
Hareketli kontak malzemelerinde de en az kayıp % 10  $B_2O_3$  içeren numunede görülürken, en fazla kayıp saf Ag kontakta görülmüştür.

Kontak çiftlerinin sabit ve hareketli parçalarının toplam ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi ile ilgili toplu grafikler Şekil 3.23’de verilmiştir.





Şekil 3.22. Dört farklı malzemeden yapılmış hareketli kontaktların ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi

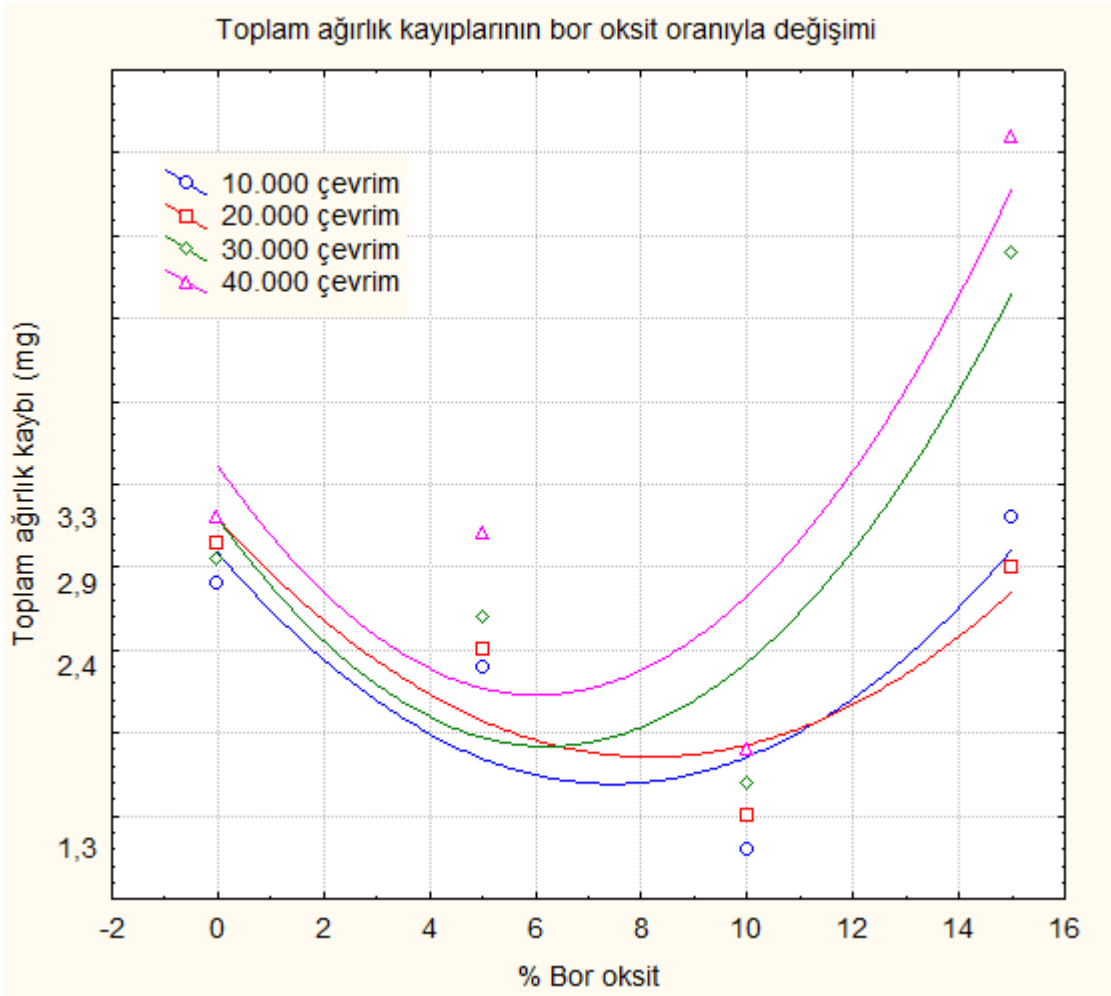


Şekil 3.23. Dört farklı malzemeden yapılmış kontak çiftlerine ait toplam ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişimi



Toplam ağırlık kayıpları karşılaştırıldığında en fazla kaybın % 15 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren numunede, en az kaybın ise % 10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren numunede olduğu görülmektedir. Ancak saf gümüş kontaklardaki ağırlık kaybı % 5 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren numuneden daha yüksektir.

Son olarak ise değişik açma-kapama sayıları için kontak çiftlerinin toplam ağırlık kayıplarının bor oksit oranına bağlı değişimleri grafik halinde toplu olarak Şekil 3.24'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi yaklaşık % 10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranında ağırlık kaybı minimum olmaktadır.



Şekil 3.24. Değişik açma-kapama sayıları için kontak çiftlerine ait toplam ağırlık kayıplarının bor oksit oranıyla değişimi

#### 4. İRDELEME

Bu çalışmada Ag – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> esaslı kontak malzemeleri toz metalurjisi yöntemiyle (presleme – sinterleme uygulanarak) imal edilerek, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının kontak malzemesinin özelliklerine etkileri incelenmiştir. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı % 0 ile % 15 hacim oranında değiştirilmiştir. Deneylede 220 V, 50 Hz ve 5 A'lik alternatif akım kullanılmış, kontakların saniyede 1 defa açılıp kapanması sağlanarak 40.000 çevrim sayısına kadar açma-kapama uygulanmıştır.

Deneylelerden elde edilen bulgular, yaklaşık % 10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına kadar, artan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı ile ark oluşumu sırasında oluşan ağırlık kaybı azalmakta ve bu değer civarında minimum oluşturmaktadır (Şekil 3.24). % 5 oranında B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren numunede pek belirgin bir azalma gözlenmemiştir. Saf Ag kontakların 10.000 (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3) ve 40.000 (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5) çevrimden sonraki yüzeyleri incelendiğinde ark etkili bölgede ergimenin olduğu gözlenmektedir. % 10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren numunede ağırlık kaybı saf gümüşün yaklaşık yarısı oranındadır. 10.000 ve 40.000 çevrimden sonraki kontak yüzeyleri incelendiğinde, ark etkili bölgede ergime izlerinin çok az veya hiç olmadığı görülür. Bu bulgu, ağırlık kaybının az olmasını doğrular niteliktedir.

Kontak malzemesi bileşiminde bulunan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'in ergime noktası 450 °C'dir [22]. Ergime gizli ısı ise  $\Delta H_{erg} = 5.3$  kcal/mol'dür. Ark etkisi sırasında, arkın olduğu yüksek sıcaklıkta B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ergiyerek öncelikle ısı almakta ve yüzeydeki sıcaklığı düşürmektedir. Bu nedenle B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları, etraflarını soğutarak buharlaşma yoluyla ağırlık kaybını azaltmaktadır. Şekil 3.12'de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarının bulunduğu yerler açıkça görülmektedir. Diğer taraftan ergiyen B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile oluşan sıvı, ara yüzeye yayılarak kontakların birbirine yapışmasını engeller. Nitekim yapılan deneylelerde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren malzemeler kullanıldığında kontak yapışmasının daha az olduğu gözlenmiştir. Bu durum özellikle belirli bir süre çalışmadan sonra daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Ağırlık kayıplarının açma-kapama sayısı ile değişiminin verildiği şekiller incelendiğinde ilk 20.000 ile 30.000 çevrimde ağırlık kayıplarının sürekli bir artış gösterdiği ve sonra yavaşladığı izlenmektedir (Şekil 3.1, Şekil 3.6 ve Şekil 3.11). Bu durum kontak temas yüzeylerindeki bir tür alıştırma ile açıklanabilir. Çünkü başlangıçta, ara yüzeydeki pürüzlülük nedeniyle temas alanı çok azdır. Artan çevrim sayısı ile birlikte, teması önleyen tepecikler ergiyerek düzlenmekte ve temas alanı giderek artmaktadır.

Nitekim ağırlık kaybının yüksek olduğu kontak malzemelerinde bu durum daha az çevrim sayısında (yaklaşık 20.000 çevrim) olmakta (Şekil 3.1), kaybın az olduğu kontakta ise daha yüksek çevrim sayılarına doğru (yaklaşık 30.000 çevrim) kaymaktadır (Şekil 3.11).

Sabit ve hareketli kontaklardaki ağırlık kayıpları karşılaştırılırsa, sabit kontaklardaki ağırlık kaybının daha fazla olduğu görülür. Bu fark hareketli kontakta sabit kontakta göre daha az ısınması ile açıklanabilir. Çünkü hareket eden kontak, havadaki hareketi sırasında bir tür zorlanmış konveksiyonla nispeten daha hızlı soğumaktadır.

Kontak malzemelerindeki ağırlık kaybının nedenlerinden bir tanesi de yüzeyde oluşan ergime sonucu oluşan sıvı damlacıklar şeklindeki ağırlık kaybıdır. Ark ısınmasıyla sıcaklığı artan noktalarda ergime sonucu damlacıklar etrafa saçılarak ağırlık kaybına neden olurlar. % 15 oranında  $B_2O_3$  içeren numunede nispeten fazla ısınan sabit kontak malzemesinde bu durum gözlenmektedir (Şekil 3.16). Bu malzemede ergime noktası  $450^\circ C$  olan nispeten fazla miktardaki  $B_2O_3$  parçacıkları öncelikle eriyerek bir araya toplanıp damlacık oluşturarak yüzeyden ayrılmaktadır.  $B_2O_3$  parçacıklarının ayrılmasıyla birlikte kontak malzemesi saf gümüş gibi davranmaktadır. Başka bir ifadeyle, Şekil 3.5 ile benzer özellikler gösterdiği gözlenmektedir. Bu nedenle Ag -  $B_2O_3$  kontak malzemelerinde optimum  $B_2O_3$  oranı yaklaşık % 10 civarında tutulmalıdır.

Bor oksidin en önemli özelliklerinden bir tanesi de oksitleri çözme özelliğine sahip olmasıdır. Bu özelliği nedeniyle lehimlemede, lehimleme öncesi yüzey temizleyici (flux) olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle ark oluşumu sırasında oluşan oksitleri çözerek iletkenliği olumlu yönde etkilemesi beklenir (Şekil 3.12). Özellikle Cu (bakır) gibi kolay oksitlenen metalden kontak malzemesi üretiminde bu durum çok büyük önem taşır.

Bu çalışmada  $B_2O_3$  oranının iletkenliğe etkisi araştırılmamıştır. Ayrıca deneyler, nem oranı % 41 - % 60 arasında değişim gösteren ortamda gerçekleştirilmiştir. Kontakların deney sırasındaki sıcaklıkları ölçülmüş ve belirli bir çevrim sayısından sonraki denge sıcaklığı yaklaşık  $33^\circ C$  olarak ölçülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

1. Alternatif akım şartlarında (220V, 50 Hz, 5 A) yapılan deneyler sonucu yaklaşık 20.000 açma-kapamada her dört çeşit kontak çiftindeki toplam ağırlık kaybında nispeten hızlı bir artış görülmüş ve bu çevrimden sonra ağırlık kaybındaki azalma yavaşlamıştır.

2. Gümüşe % 5 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katılmasıyla üretilen kontak çiftindeki toplam ağırlık kaybı, saf gümüş kontaktakine yakın seyrederken, özellikle % 10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren Ag - B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kontak çiftlerinde ağırlık kaybında saf gümüşe göre önemli ölçüde düşüş görülmüştür. Kontak malzemesindeki B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı arttıkça (yaklaşık % 10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına kadar) ağırlık kaybında azalma gözlenmiştir (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24).

3. Sabit kontaklarda saf gümüş ile % 5 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kontak malzemeleri benzer davranış sergilerken, % 10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kontak malzemelerindeki ağırlık kaybı önemli ölçüde düşüş göstermiştir (Şekil 3.21). Hareketli kontaklarda ise, saf gümüş ile % 15 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren malzemelerde daha yüksek ağırlık kaybı görülmüştür (Şekil 3.22).

4. Üzerlerinden akım geçen kontak çiftlerinin açılıp-kapanmaları sırasında oluşan ark nedeniyle kontak yüzeylerinde yapısal değişiklikler olmuştur. Genel olarak nispeten fazla ağırlık kaybı gösteren numunelerde arkin etkin olduğu bölgenin nispeten daha belirgin ve daha geniş olduğu gözlenmiştir.

5. Saf gümüş kontakların yüzeylerinde oluşan ark etkili bölge homojen olmayan bir değişim gösterirken, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren Ag - B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kontak yüzeylerinde % 10 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranına kadar artan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranıyla daha homojen bir görünüm sergilemiştir.

6. Sabit kontakların yüzeylerindeki ark etkili bölgelerde genellikle ergime sonucu malzeme çıkıntıları ve ark noktaları oluşurken, hareketli kontaklarda daha geniş alana dağılmış çukurcuklar ve nispeten küçük çıkıntıların oluştuğu görülmüştür.

## 6. ÖNERİLER

1.  $B_2O_3$  tozunun tane boyutunun etkisi araştırılabilir.
2. Bu çalışmada kullanılan akım şiddetinden daha yüksek akım değerleri kullanılarak, akım şiddetinin etkisi araştırılabilir.
3. Gümüş tozunun tane boyutunun etkisi araştırılabilir.
4. Presleme ve sinterleme şartlarının etkileri araştırılabilir.
5. Cu –  $B_2O_3$  esaslı kontak malzemesi üretilerek özellikleri araştırılabilir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Akarsu, F., Dalay, N., Dölen, E., Erdoğan, F., Günsel, E., Kan, B., Savat, G., Sevindik, A. ve Soytürk, E., Nasıl Çalışır, Cilt I, Marshall Cavendish Ltd., Londra ve Gelişim Basım Yayım A.Ş., İstanbul, 1980.
2. Askeland, D.R., The Science and Engineering of Materials, University of Nostrand Reinhold (International), Missouri, Rolla, 1988.
3. Onaran, K. ve Altıntaş, S., Malzemelerin Yapı ve Özellikleri, Elektronik Özellikler, 4. Cilt, Birinci Baskı, İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı: 1332, Gümüşsuyu, İstanbul, 1986.
4. Ayar, H., Elektrik Kontak Malzemeleri, Bitirme Çalışması, K.T.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1986.
5. Anonim, Metals Handbook, Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys, A.S.M., 1993.
6. Erdoğan, M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayın, Ocak 2002.
7. Allahverdiyev, Z., Elektroteknik Malzemeleri, K.T.Ü., Trabzon, 2000.
8. Gurevich, V., Electric Relays: Principles and Applications, CRC, 2005.
9. URL-1, <http://otomatik.blogspot.com/2007/11/kumanda-elemanlari-6.html>  
Kumanda Elemanları; Kontaktörler ve Röleler. 12 Mart 2008.
10. Badur, Ö., Başoğlu, Ç. ve Şener, T., Endüstriyel Elektrik, 2. Baskı, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1984.
11. Karabulut, R., İç Oksitlenme Yolu ile Ag – CdO Kontaktör İmal Metodunun Geliştirilmesi, TÜBİTAK, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Malzeme Araştırma Ünitesi, Adapazarı, 1977.
12. Wingert, P.C., Allen, S.E. ve Bevington, R.C., The Effects of Graphite Particle Size and Processing on the Performance of Silver-Graphite Contacts, IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, 15, 2 (1992) 154-159.
13. Anonim, Metals Handbook, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, A.S.M., 1990.
14. Braunovic, M., Myshkin N.K. ve Konchits V.V., Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology, CRC, 2006.

15. Dixon, R.H.T. ve Clayton, A., Powder Metallurgy for Engineers, First Edition, The Machinery Publishing Co. L.T.D., Brighton, England, 1971.
16. Lenel, F.V., Powder Metallurgy: Principles and Applications, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, 1980.
17. Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1977.
18. Uzun, H., Toz Metalurjisi Yöntemiyle Gümüş-Kadmiyum Oksit Esaslı Kontak Malzemesi Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1996.
19. Anonim, Metals Handbook, Alloy Phase Diagrams, A.S.M., 1992.
20. Anonim, Metals Handbook, Electrical Contact Materials, A.S.M. Committee, Ohio, 1961.
21. Michael, R. ve Saeger, K.E., Metallurgical Aspects of Silver-Based Contact Materials for Air – Break Switching Devices for Power Engineering, IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, 12, 1 (1989) 71 – 81.
22. Kubaschewski, O., Evans, E.L. ve Alcock, C.B., Metallurgical Thermochemistry, Pergamon Press, 1967.
23. Anonim, Metals Handbook, American Society for Metals, First Edition, A.S.M. Committee, Ohio, 1972.
24. Habashi, F., Handbook of Extractive Metallurgy, Cilt IV, John Wiley & Sons, 1998.
25. URL-2, <http://bor.balikesir.edu.tr/bor.html#5.8.10%20%20Bor%20Oksit> Bor Elementi, Bor Oksit. 17 Mart 2008.
26. URL-3, <http://www.akdeniz.edu.tr/fenedebiyat/kimya/Deneyler/anorganik/Bor%20ve%20Ilgili%20Bilesikler.pdf> Bor Kimyası. 17 Mart 2008.
27. Sarıtaş, S., Türker, M. ve Durlu, N., Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Ankara, Temmuz 2007.
28. Wingert, P.C. ve Horn, G., The Effects of CdO on the Static Gap Arc Erosion of Silver – Based Contacts, IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, 16, 2 (1993) 180 – 195.

## ÖZGEÇMİŞ

Serkan BIYIK 1983 yılında Trabzon’da doğdu. 2001 yılında Trabzon Yunus Emre Anadolu Lisesi’ni bitirdi. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans eğitimine başladı. 2003-2004 Bahar yarıyılında Erasmus Programı çerçevesinde Belçika’nın Gent Üniversitesinde bir yarıyıl eğitim aldı. 2004 yılında Almanya’nın Lindenberg şehrinde Buhmann-Systeme Firmasında 40 iş günü staj yaptı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesinden “Makine Mühendisi” unvanı ile mezun oldu. 2005 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Kasım 2007’de KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü’ne bağlı Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Ağustos 2008’de yüksek lisansını tamamladı. Halen Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak (50/d) görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.