

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN DEVRE KESİCİLERİN
AKIMA BAĞLI ISINMA PROBLEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET KALKANLI

DENİZLİ, OCAK - 2021

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**



**TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN DEVRE KESİCİLERİN
AKIMA BAĞLI ISINMA PROBLEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET KALKANLI

DENİZLİ, OCAK - 2021

KABUL VE ONAY SAYFASI

AHMET KALKANLI tarafından hazırlanan “**Ticari Araçlarda Kullanılan Devre Kesicilerin Akıma Bağlı Isınma Probleminin İyileştirilmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 29.01.2021 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şengül GÜVEN

.....

Üye
Doç. Dr. Ahmet YILANCI
Ege Üniversitesi

.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Öner ATALAY
Pamukkale Üniversitesi

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

AHMET KALKANLI

ÖZET

TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN DEVRE KESİCİLERİN AKIMA BAĞLI ISINMA PROBLEMİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
AHMET KALKANLI
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ ŞENGÜL GÜVEN)

DENİZLİ, OCAK - 2021

Gelişen teknoloji ile birlikte binek ve ticari araçlarda kullanılan elektronik sistemlerin kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Araçlardan beklenen özelliklerin artmasıyla beraber, istenen özelliklerin karşılanması için gereken batarya kapasiteleri de artış göstermektedir. Özellikle ticari grup araçlarda, aracın fonksiyonuna bağlı olarak yüksek kapasiteli akü/batarya sistemleri kullanılmaktadır. Yüksek gerilim ve akım sağlayan bataryaların olası bir tehlike anında müdahale edilebilmesi için devre kesici sistemler kullanılmaktadır. Aracın çalışması sırasında devre kesicilerin üzerinden geçen yüksek akıma bağlı ısı oluşmaktadır. Bu tezde yüksek voltaj ve akım değerleri altında çalışan devre kesicilerin ısınma problemlerinin çözülmesi için farklı malzeme ve yüzey temas şekilleri incelenmiştir. Devre kesicilerde kullanılan perçinlerin yüzey kaplamaları olarak $AgSnO_2$, $AgCdO$ ve $AgNi$ malzemeleri kullanılmıştır. Her malzemeye özgü düz-düz ve düz-bombeli olacak şekilde yüzey temas geometrisi olan perçin grupları kullanılmıştır. 24V-250A altında malzeme ve yüzey şekil geometrileri farklılık gösteren ürünlere termal analiz ve yüksek akım ömür çevrim testleri uygulanmıştır. Yapılan test ve analizler kıyaslanarak, rezistif yük altında en iyi termal sonuçların $AgSnO_2$ malzemesine ait düz-bombeli temas geometrisinin oluşturduğu gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Devre kesiciler, temas perçinleri, kontak malzemesi, $AgSnO_2$, $AgCdO$, $AgNi$, ark oluşumu

ABSTRACT

IMPROVEMENT OF CURRENT-DEPENDING HEATING PROBLEM OF BATTERY SWITCH USED IN COMMERCIAL VEHICLES

MSC THESIS

AHMET KALKANLI

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

AUTOMOTIVE ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSİST. PROF. ŞENGÜL GÜVEN)

DENİZLİ, JANUARY 2021

With the developing technology, the usage area of electronic systems used in cars and commercial vehicles is increasing day by day. Along with the increase in features expected from vehicles, the battery capacities required to meet the desired features also increase. Especially in commercial vehicles, high capacity battery systems are used depending on the function of the vehicle. Circuit breaker systems are used to intervene in the event of a possible danger of batteries providing high voltage and current. During the operation of the vehicle, heat is generated due to the high current passing through the circuit breakers. In this thesis, different material and surface contact forms were examined to solve the heating problems of circuit breakers operating at high voltage and current values.

AgSnO₂, AgCdO and AgNi materials were used for surface coatings of rivets used in circuit breakers. Rivet groups with surface contact geometry such as flat-flat and flat-curved are used for each material. Thermal analysis and high current life cycle tests were applied to products with different materials and different surface shape geometries at 24V-250A values. As a result of the tests and analyses, it was observed that the best thermal results under resistive load are formed by the flat-curved contact geometry of the AgSnO₂ material.

KEYWORDS: Battery switch, contact rivets, contact materials, AgSnO₂, AgCdO, AgNi, arc formation

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ ve KISALTMA LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. DEVRE KESİCİLER	5
3.1 Perçinler.....	5
3.2 Temas Direnci	5
3.3 Ark Oluşumu	6
4. DENEYSEL ve NÜMERİK ÇALIŞMALAR	9
4.1 Nümerik Analiz	9
4.1.1 3D CAD Geometrisi Hazırlama.....	9
4.1.2 Analiz Modellemesi	11
4.1.3 Mesh Yapısı	12
4.1.4 Sınır Şartlarının Belirlenmesi	13
4.1.5 Malzeme Modelleri Tanımlama.....	15
4.2 Deneysel Çalışma	15
4.2.1 Test Numunesinin Hazırlanması.....	15
4.2.2 Test Ekipmanı	16
4.2.2.1 Enerjinin Sağlanması	17
4.2.2.2 Tetikleme Devresi	18
4.2.2.3 Gösterge Paneli	18
5. BULGULAR	19
5.1 Nümerik Bulgular	19
5.2 Deneysel Bulgular	22
5.2.1 Perçinler Arası Ark Oluşumu	23
6. METALOGRAFİK ANALİZ	25
6.1 EDS Analizi.....	25
6.1.1 AgSnO ₂ Kaplama Malzemesi Perçin Grubu	25
6.1.2 AgCdO Kaplama Malzemesi Perçin Grubu.....	28
6.2 SEM Görüntüleri	30
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	34
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	37
9. KAYNAKLAR	39
10. ÖZGEÇMİŞ	42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Devre kesicinin bağlantı şeması	2
Şekil 4.1: Devre Kesici 3D görüntüsü.....	10
Şekil 4.2: Devre kesici iletim bölgelerinin 3D modellemesi	10
Şekil 4.3: Statik Yapı modellemesi a) Devre plakasına uygulanan kuvvet b) Ürün bağlantı yerleri.....	12
Şekil 4.4: Mesh yapısı	13
Şekil 4.5: Sınır şartları a) İnsert saplama - Alt perçin grubu b) Devre plakası - Üst perçin grubu c) Alt perçin grubu - Üst perçin grubu.....	14
Şekil.4.6 Test ekipmanı.....	16
Şekil 4.7 Besleme Devresi şematığı.....	17
Şekil 5.1: Yapısal analiz sonucu görseli	19
Şekil 5.2: Sistem akımı yoğunluğu ve yönü.....	20
Şekil 5.3: Nümerik Analiz Sonuçları a) AgSnO ₂ b) AgCdO c) AgNi	21
Şekil 5.4: AgSnO ₂ malzemeye ait perçin görselleri a) Bombeli perçin b) Düz perçin.....	21
Şekil 5.5: Farklı sıcaklıklarda termal kamera ölçümleri	23
Şekil 5.6: Perçinler arası ark oluşumu.....	24
Şekil 6.1: EDS İçin Alınmış SEM Görüntüsü (AgSnO ₂) a) Katot Perçin b) Anot Perçin.....	366
Şekil 6.2: AgSnO ₂ Perçin Grubuna Ait Makro Görünüm a) Katot Perçin b) Anot Perçin	27
Şekil 6.3: EDS İçin Alınmış SEM Görüntüsü (AgCdO) a) Katot Perçin b) Anot Perçin.....	29
Şekil 6.4: AgCdO Perçin Grubuna Ait Makro Görünüm a) Katot Perçin b) Anot Perçin.....	29
Şekil 6.5: AgSnO ₂ Kontak Perçinine Ait Sem Görüntüsü a) Katot Perçin b) Anot Perçin.....	30
Şekil 6.6: AgCdO Kontak Perçinine Ait Sem Görüntüsü a) Katot Perçin b) Anot Perçin.....	31
Şekil 6.7: Referans Perçinlere Ait SEM Görüntüleri a) AgSnO ₂ b) AgCdO ...	33
Şekil 7.1: Test sonrası AgSnO ₂ perçin grupları.....	34
Şekil 7.2: Test sonrası AgCdO perçinlerinin kaynaması	35
Şekil 7.3: Malzeme ve Temas Yüzeyine Bağlı Test Sonuçları.....	36

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1: Malzeme Özellikleri Tablosu	20
Tablo 5.2: 24V-250A altında gerçekleştirilen analizde perçin gruplarının sıcaklık değerleri.....	22
Tablo 6.1: EDS Analiz Sonuçları (AgSnO ₂).....	27

SEMBOL LİSTESİ ve KISALTMA LİSTESİ

ECU	:	Elektronik Kontrol Ünitesi
SEM	:	Tarama Elektron Mikroskopu
EDS	:	Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi
A.Ş.	:	Anonim Şirketi
AC	:	Alternatif Akım
DC	:	Doğru Akım
NO	:	Açık Devre
NC	:	Kapalı Devre
CR	:	Kontak Direnci
HB	:	Brinell Sertlik Ölçüsü
ASE	:	Anti Sinterleme Ekstrüzyon
CSE	:	Kimyasal Kaplama-Sinterleme Ekstrüzyon
MSE	:	Karıştırma Sinterleme Ekstrüzyon
H	:	Holmes Katsayısı
3D	:	Üç Boyutlu
C6	:	Sigorta tipi
NH1	:	Sigorta tipi
5/3	:	Yön Valfi
F	:	kuvvet
T_m	:	ergime sıcaklığı (°C)
Ah	:	amper saat
cc	:	kübik santimetre
k	:	kütle aktarım oranı
us	:	ultrasonik
α	:	ısı katsayısı (°C ⁻¹)
Ω	:	direnç (ohm)
λ	:	termal iletkenlik (W/m°K)
ΔM	:	kütle değişim oranı
η	:	Manning pürüzlülük katsayısı
ρ	:	malzeme direnci (10 ⁻⁸ Ωm)

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimleriyle çalışmalarına yön veren, danışman hocam, Dr. Öğr. Üyesi Şengül GÜVEN'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım ve araştırmalarım süresince, hiçbir imkânı esirgemeyen, laboratuvar ve tüm olanaklarını kullanmamı sağlayan, başta Gen. Müd. Serhat SANDALCI, Gen. Müd. Yard. Özgür TOPÇUOĞLU ve ArGe Müd. Emre GERÇEKÇİ olmak üzere tüm NESAN OTOMOTİV A.Ş. ailesine teşekkür ederim.

Her konuda olduğu gibi, sınırsız destek ve yardımlarını tez çalışmamda da gösteren aileme, annem Fatma KALKANLI, babam Mustafa KALKANLI ve abim Ramazan KALKANLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

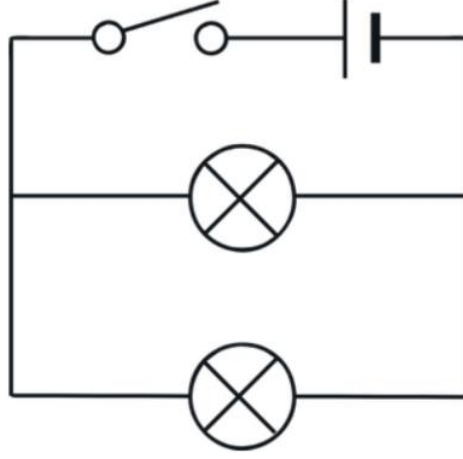
1. GİRİŞ

Otomotiv elektrik aksamalarının güç ihtiyaçlarını (kW) karşılamak için kullanılan bataryalar, günümüz şartlarında varlığını günden güne arttırarak devam etmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle, araçlarda kullanılan elektrik sistemleri de gelişmeler göstermektedir. Önceleri mekanik olarak kontrol edilen çoğu sistem, artık elektronik kontrol üniteleri (ECU) ile denetlenmektedir. Bu durum ise bataryalara olan ihtiyacı daha da güçlendirmektedir. Sistemlerin gücünü sağlamakta görevli bataryalar, kapasitelerini arttırarak, daha yüksek voltaj (V) ve akım (A) değerlerini karşılamalıdır.

Küçük motor hacimli (cc) araçlardan başlayarak, madenlerde kullanılan yüksek motor hacimli ve tonajlı iş makinelerine kadar tüm araçlar gerekli elektrik ihtiyaçlarının karşılanmasında akülere/bataryalara ihtiyaç duyarlar. Kullanılan bataryaların, istenen durumuna bağlı olarak kapasiteleri (Ah) ve güçleri çeşitlilik göstermektedir. Aküler ne denli yüksek kapasitelere (Ah) ihtiyaç duyarsa, oluşabilecek muhtemel kaza durumları da o kadar ciddi hal alacaktır.

Araçlarda kullanılan bataryalarda oluşabilecek kazaların önüne geçmek ve ani müdahale edebilmek için devre kesiciler kullanılmaktadır. Devre kesiciler araç üzerinde batarya çıkışlarına seri olarak bağlanarak, sisteme giden tüm akımın üzerinden geçmesini sağlamaktadır. Aküye seri bağlı olması nedeniyle, herhangi bir müdahale anında akü ile sistem arasındaki akımı keserek oluşabilecek kazaların önlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Devre kesicilerin araç üzerindeki bağlantısı Şekil 1.1'de gösterilmektedir.

Devre kesiciler, araçlar üzerinde ani durumlara müdahale edebilmenin yanı sıra hırsızlığa karşı önlem olarak da bulunmaktadır. Devre kesicilerin anahtar yapıları çıkarılabilir oldukları için, iş makinesinin kullanılmadığı durumlarda devre kesici açık devre (NO/NA) durumuna getirilerek, sistemlerin bataryadan çekeceği akım kesilmiş olur. Bu durumda motor ve diğer sistemler bataryadan beslenemeyeceği için aracın çalıştırılması mümkün olmaz.



Şekil 1.1: Devre kesicinin bağlantı şeması

Araçların kullanım özelliklerine bağlı olarak kullanılan bataryaların güçlerinde (Ah) de değişiklik olacaktır. Devre kesiciler de çalışır durumda iken tüm sistem akımını üzerinden geçireceği için, kullanılan batarya güçlerini karşılayabilir nitelikte olmalıdır. Sistem akımını üzerinden geçiren elemanlar olan perçinlerin özellikleri burada ön plana çıkmaktadır. Batarya gerilimi, akımı, temas direnci ve ortam şartlarına bağlı olarak, kullanılan perçinler en güvenilir şekilde seçilmelidir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Elektrik kontak malzemeleri, kontaktörlerde, kesicilerde, rölelerde ve anahtarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve bunların güvenilirliği, elektrik güç devrelerinin kararlı hizmetini doğrudan etkilemektedir (Yang ve diğ. 2016).

Elektriksel temas malzemesi önemli bir elektrik bileşenidir. Normal bağlantı akımı, yük akımı ve kesme akımından sorumlu olan röle, alçak gerilim devre kesici ve kontaktörün en önemli bölümlerinden biridir (Bizjak 2010).

Gümüş tabanlı elektrik kontak malzemeleri, genel elektrik sistemlerinin güvenilirliği ve kararlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan anahtarlar, röleler, kontaktörler ve endüstriyel kontroller gibi alçak gerilim cihazlarında yaygın olarak uygulanmaktadır (Wu ve diğ. 2015).

Çevre dostu Ag/SnO₂ elektrik kontak malzemeleri, ark erozyonu ve kaynağa karşı iyi dirençleri nedeniyle alçak gerilim anahtarlarında ve elektrikli cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Krätzschar ve diğ. 2010).

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, fabrikasyon teknolojisi ile AgSnO₂ elektrik kontak malzemelerinin ark erozyonu arasındaki ilişki hakkında çok az bilginin rapor edildiği görülmüştür. Üretim teknolojisinin, AgSnO₂ elektrik kontak malzemelerinin ark erozyon süreci ve ark erozyon mekanizması üzerindeki etki mekanizmasının ne olduğu net değildir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, AgSnO₂ elektrik kontak malzemesinin üretim yönteminin esas olarak dört bölümde incelendiği görülmüştür. Oksidasyon Wu (2007), Atomize-Sinterleme Ekstrüzyon (ASE) Zhang ve diğ. (2016), Kimyasal Kaplama-Sinterleme-Ekstrüzyon (CSE) Rehani ve diğ. (2010) ve Karıştırma Sinterleme Ekstrüzyon (MSE) (Toshiyuki 1996).

Özerdem (2008) yaptığı çalışmada, düşük temas direnci, yüksek erozyon önleme davranışları ve iyi işlenebilirlik avantajları nedeniyle, Ag-Ni' in istenen bir alternatif malzeme olarak kabul edilebileceğini belirtmiştir.

Yang ve diğ. (2016) yaptığı çalışmada, ani akımlardaki kolay kaynak olgusunun, Ag-Ni elektrik kontak malzemelerinin uygulama alanını sınırlayan ana sorun haline geldiği belirtilmiştir.

Wu ve diğ. (2018) yaptığı çalışmada, elektrik kontaklarında oluşan ark erozyonunun incelenmesinin, kontak malzemelerinin ve anahtarlama cihazlarının performansını değerlendirmede çok önemli olduğu belirtilmiş ve erozyon ölçümü için kullanılan en yaygın yöntemin kontakların kütle değişimi olduğu vurgulanmıştır.

Ren ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada, AgCdO malzemesinden yapılmış perçinlerin, akım verisine karşı temas direncini göstermiş, 5mA ile 50mA arasında değişen akım şartlarında iletim sürecinin karakteristiğini incelemiştir. Geniş bir akım aralığında temas direncini ölçerek elde edilen verileri, simetrik ve ohmik olup olmadığını belirlemek için incelemiştir.

Ren ve diğ. (2013) farklı temas yüküne (2-50 g) bağlı temas direncini incelemiştir. Yapılan araştırma sonrasında temas yük kuvveti artış gösterirken temas direncinde azalma meydana gelmektedir. Bu durum kontaklar arası direncin, perçin temas yüzeylerinin kuvveti ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Rezistif yük altında kontak ayırma işlemi gerçekleştiren Jemaa ve diğerleri, malzemenin anodik fazdaki ilk etkilerini gözlemlemiştir. Arkın oluşabilmesi için, elektronlar arası mesafenin, toplam elektronların alacağı ortalama mesafeden birkaç kat daha fazla olması gerektiğini belirtmişlerdir. Endüktif yük altında da kontak ayırma işlemi gerçekleştirerek malzeme transferinin değişiklik gösterdiği ve arkın meydana geldiği süreçte oluştuğunu göstermişlerdir (Jemaa ve diğ. 1996).

3. DEVRE KESİCİLER

3.1 Perçinler

Sadece röleler için, her yıl birkaç milyar cihaz üretilmektedir ve bu cihazlarda kullanılan en popüler kontak yapısı türü perçinlerdir (Lin ve diğ. 2019).

Kontakt işlemlerinde kullanılan perçinler, röle, aydınlatma anahtarı, arıza akımı anahtarı, devre kesiciler, ev içi sigortalar gibi birçok cihazlarda düşük amper değerlerinden birkaç yüz amper değerine çıkacak yüksek amperaj durumlarında devreyi kapatıp/açmak için kullanılır. Kullanım alanlarında istenen özellikleri karşılayabilmesi için de farklı boyutlarda ve malzemedan imalatları gerçekleştirilir (Ren ve diğ. 2013).

Son yıllarda otomotiv sektörü giderek daha fazla elektrik devresi içerdiğinden, kontak ve röle sayısı önemli ölçüde artış göstermektedir ve bu durumun ilerleyen süreçte daha da artması beklenmektedir. Elektrik kontaklarının ve rölelerin çalışma dayanıklılığı, kullanılan kontak malzemelerinin üç ana özelliği ile ilgilidir. Bu özellikler; Ark sırasında düşük malzeme transferi, düşük temas direnci, ark sırasında oluşan ısıya bağlı kaynak oluşması, durumlarıdır (Swingler ve Sumption 2010).

Perçinler yekpare monolitik yapılar olarak çok daha büyük ölçüde, maliyet tasarrufu için hem değerli metal yüzeyler hem de bakır altlıklar içeren kompozit bimetal ve trimetal tasarımlar olarak kullanılmaktadır (Lin ve diğ. 2019).

3.2 Temas Direnci

Perçinler arası temas direncinin, çeşitli yükler altında, çalışma süresi boyunca ortam ve çalışma şartlarından etkilenmemesi, düşük ve sabit değer olarak kalması istenir. Chen ve diğerlerinin yaptığı çalışmada ömür çevrim cihazına bağlanan perçinlerin zamanla temas dirençlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir (Chen ve diğ. 1995).

Elektriksel temas çiftleri birbirine temas eden iki adet iletken madde arasından sağlanır. İletken cisimlerin birbirine teması ile devre kapalı (NC/NK) konuma gelerek istenilen çevrim gerçekleştirilmiş olur. Temas maddelerinin birbirinden ayrılarak, neredeyse sonsuz direnç göstermesiyle devre açık pozisyona gelir ve böylece iletkenler arası temas ortadan kalkar. Yüzeylerde bulunan pürüzlülük, sadece küçük pürüz tepelerinin temas etmelerine neden olur. İndüklenen direnç ve yüzeyler üzerinde bulunan film direnciyle birlikte toplam yüzey direncini (temas direncini) oluşturur (Tromans 2000).

Temas direnci, malzeme özellikleri, akım, kuvvet (F), yüzey durumu, yüzey temizliği ve ortam şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir (Ren ve diğ. 2013).

Yapılan matematiksel temas direnci hesaplamaları ve deneyler sonucu elde edilen temas direnci değerleri farklılık göstermektedir. Bunun en büyük nedeni yapılan matematiksel modellemede temas yüzeylerinin temiz olduğu varsayımıdır. Ancak gerçekleştirilen deneylerde, temas yüzeyleri üzerinde yağ, korozyon, kontaminatların olması, perçinler arası temas direncini etkilemektedir. Dış etkenler nedeniyle temas direncinin hesaplanan değerlerden daha yüksek olduğu yapılan deneysel çalışmalarda gözlemlenmiştir (Holm 1967).

3.3 Ark Oluşumu

Elektriksel erozyon, elektrikle temas eden malzemelerin yüzeyinde yayılan kümülatif ark enerjisi nedeniyle metal erimesi ve buharlaşmasının sonucudur (Wu ve diğ. 2018).

Kontaklar arasında ark oluştuğunda, kontakın yüzeyi voltaj ve akıma bağlı olarak birkaç bin santigrat dereceye maruz kalır. Temas yüzeylerinin hızlı ısıtılması, temas yüzeyi yapısına ve alttaki malzemeye bir termal şokla sonuçlanır. Isı aynı zamanda yüzeyin bir kısmının erimesine ve arkın sona ermesinden sonra yeniden katılaşmaya neden olur. Kontak yapısında anahtarlama arkının oluşturduğu gerilim, kontak yüzeyinin hızlı ısınmasıyla oluşan hasarın boyutuna ve ayrıca temas yüzeyindeki erime ve yeniden katılaşmanın derecesine bağlıdır (Lin ve diğ. 2019).

Temas malzemelerinin birleşme ve ayrılma sırasında ortaya çıkan enerjisi, anot üzerinde ortaya çıkan enerjinin katot üzerindeki kazanım enerjisine eşit olması beklenir. Elektron akışı, anot malzemesini buharlaştırarak, buharlaşan ürünlerin katot üzerinde toplanmasına neden olur. Rezistif devrelerde, malzeme transferinin anottan katoda doğru olmasının nedeni budur (Jemaa ve diğ. 1998).

Otomotiv güç rölelerinde, anottan katoda malzeme transferi kısa ark altında meydana gelmektedir (Leung ve Lee 1992).

AgCdO tipi kontaklar, endüktif devrelerde düşük malzeme transferi sağlaması nedeniyle tercih edilir. Rezistif devrelerde malzeme transferi çok daha belirgindir. Bu durum rezistif devrelerde malzemenin daha önemli bir yer edindiğinin göstergesidir. Kadmiyum (Cd), nikel (Ni) ve türevleri malzemelerin kanserojen etkisinin bilinmesinden sonra AgCdO kullanımında sınırlamalara gidilerek, yerine aynı performansları gösterebilecek alternatif malzeme çalışmalarına başlanmıştır (Jemaa ve diğ. 1998).

AgSnO₂, dirençli devrelerde iyi bir performans göstermektedir. Ancak dirençli devrelerdeki performansını endüktif devrelerde tam olarak yerine getirmemektedir. Endüktif devrelerde malzeme aktarımı yüksektir ve bu durum da AgCdO'nun yerini almasına tam olanak sağlamamaktadır. İki ana performans kriteri olarak, hem endüktif devrelerde hem de rezistif devrelerde kontak ayırımı işlemi sırasında, minimum malzeme transferi ve düşük temas direnci görülmektedir (Jemaa ve diğ. 1998).

Endüktif yük altındaki kontak ayırma işleminde, malzeme transferi değişiklik göstererek, arkın meydana geldiği süreçte oluşmaktadır (Jemaa ve diğ. 1998).

Malzeme transferi, erken ark oluşumuna bağlı anodik fazda ya da katodik fazda meydana gelmektedir. Katodik ark, elektrotlar arasındaki mesafe 10-20 mikrometreden fazla olduğunda ortaya çıkar. Bu koşullar altında, malzemenin katottan anoda geçişi sırasında elektronlar plazmada bulunan atomları iyonize eder ve böylece üretilen iyonlar daha sonra ısınacak olan katoda çarparlar. Katot buharlaşır ve buharlaşan ürünler anot üzerinde birikir. Böylece katottan anoda malzeme transferi gerçekleşir. Ancak malzeme transfer yönünün tam olarak belirlenemediği durumlar

mevcuttur ve malzeme transfer yönü, kullanılan kontak malzemelerine göre değişiklik göstermektedir (Jemaa ve diğ. 1996).

4. DENEYSEL ve NÜMERİK ÇALIŞMALAR

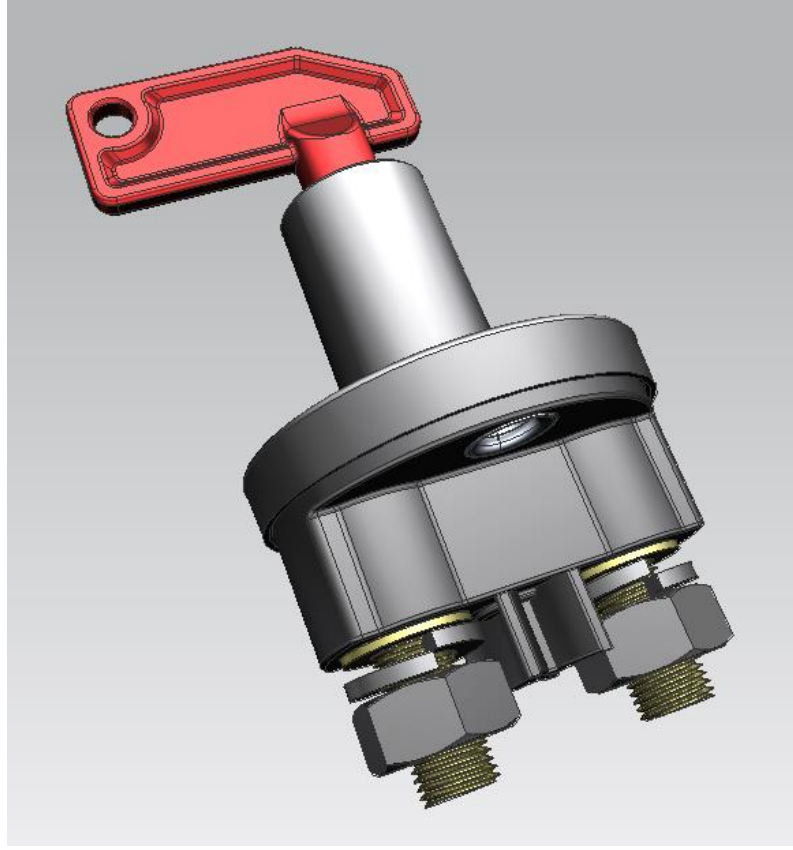
4.1 Nümerik Analiz

Ürün geliştirme sürecinde, hem zamandan tasarruf etmek hem de gereksiz harcamaların önüne geçerek maliyeti minimum düzeyde tutulabilmek için sonlu elemanlar metodu kullanılarak nümerik analize başvurulmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen nümerik çözümlemede, farklı malzeme türleri ve farklı temas yüzeylerine sahip perçin gruplarının analizleri gerçekleştirilmiştir. Belirli elektriksel ve mekanik şartlar altında gerçekleştirilen analiz sonuçları baz alınarak, deneysel çalışma için gerçekleştirilecek testlerde malzeme çeşitliliği azaltılmıştır. Bu durum, uzun süreli gerçekleştirilen deneysel testlerde zaman, enerji, ekipman ve farklı malzeme yatırımı için gerekli maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

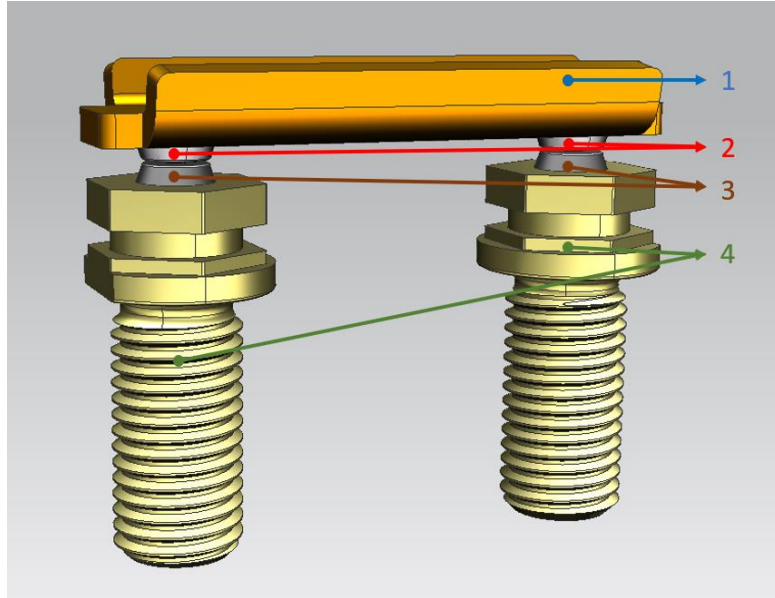
4.1.1 3D CAD Geometrisi Hazırlama

Analizi yapılacak devre kesici, Siemens Unigraphics NX 12 programı kullanılarak bilgisayar ortamında 3D olarak modellenmiştir. Modellenen devre kesici Nesan Otomotiv A.Ş. firmasında üretilerek, deneysel analizi yapılacak ürün ile aynı boyutlardadır. 3D modelleme ile deneysel analizde kullanılacak ürünlerin aynı ölçülerde olması, yapılacak simülasyonun daha yakın sonuçlar vermesini sağlayacaktır.

Modellenen devre kesicinin 3D görüntüsü Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Analizi yapılacak devre kesicinin genel olarak kabuk kısımları aynı kullanılacaktır. İletim elemanı olarak kullanılan perçin grupları değişiklik göstermektedir. Şekil 4.2'de devre kesicinin, elektrik akımını üzerinden geçiren iletim organları gösterilmektedir. Yürütülecek analizlerde sadece perçinler değiştirilerek geri kalan kısım aynı şekilde kullanılacaktır.



Şekil 4.1: Devre Kesici 3D görüntüsü



Şekil 4.2: Devre kesici iletim bölgelerinin 3D modellemesi

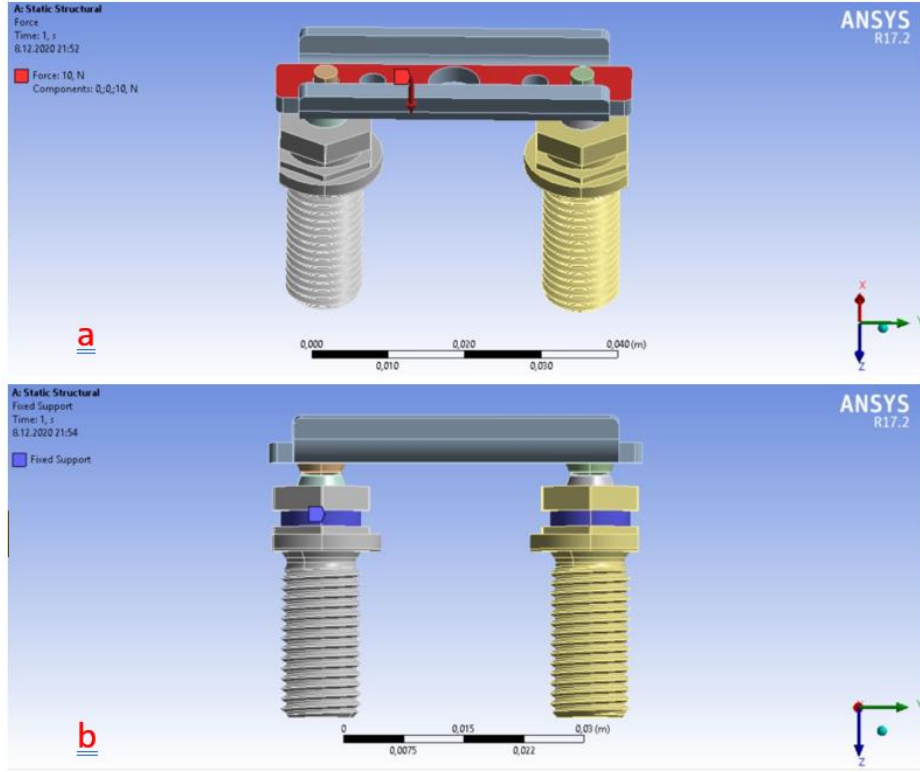
(1-Devre Plakası 2-Üst Perçin Grubu 3-Alt Perçin Grubu 4-İnsert Saplama Grubu)

4.1.2 Analiz Modellemesi

3D modellemesi gerçekleştirilen devre kesicinin analizinde sadece iletim organları analiz edilmektedir. Diğer geri kalan kısımlar plastik malzeme ve sadece perçinlerin temas hareketinde rol oynadığı için iletim sistemine doğrudan etkileri yoktur. Bu durumda analizin daha az elemanla gerçekleştirilmesi, hem doğru sonuca daha yakın değerler bulmamıza, hem de gereksiz zaman kaybı yaşanmasına engel olacaktır.

Analiz, Ansys Workbench R17.2 programı kullanılarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Analizi gerçekleştirmek için devre kesicinin araç üzerindeki davranışları baz alınarak simülasyon kurgulanmıştır. Araç üzerine bağlanan devre kesicinin perçin gruplarının birbirine temasını sağlamak için gerekli olan yay kuvveti ve üzerinden geçirdiği akım-voltaj değerleri uygulanmıştır. Araç üzerindeki kurgunun gerçekleştirilebilmesi için öncelikle yay kuvvetini sağlayan F kuvveti devre plakasına tanımlanmış, aynı zamanda araç üzerine montaj konumunda sabit kalması için gereken bağlantı yerleri insert saplama grubunda bağlanmıştır. Gerçekleştirilen kuvvet ve bağlantı bölgeleri Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

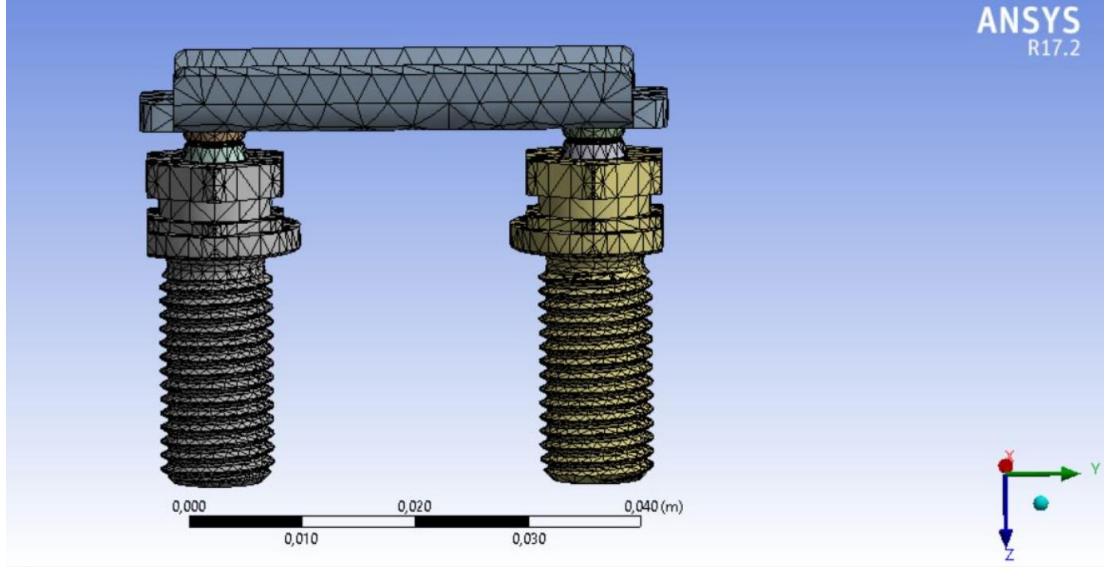
Statik yapı analizinden çıkan sonuçlar, elektrik analizinin modellemesi ile birleştirilerek iki analiz birlikte yürütülmüştür. Yapı analizinin sonuçları, direkt olarak elektrik analizi modellemesi ile birleştirildiği için ayrıca bir modelleme yapmaya gerek yoktur.



Şekil 4.3: Statik Yapı modellemesi a) Devre plakasına uygulanan kuvvet b) Ürün bağlantı yerleri

4.1.3 Mesh Yapısı

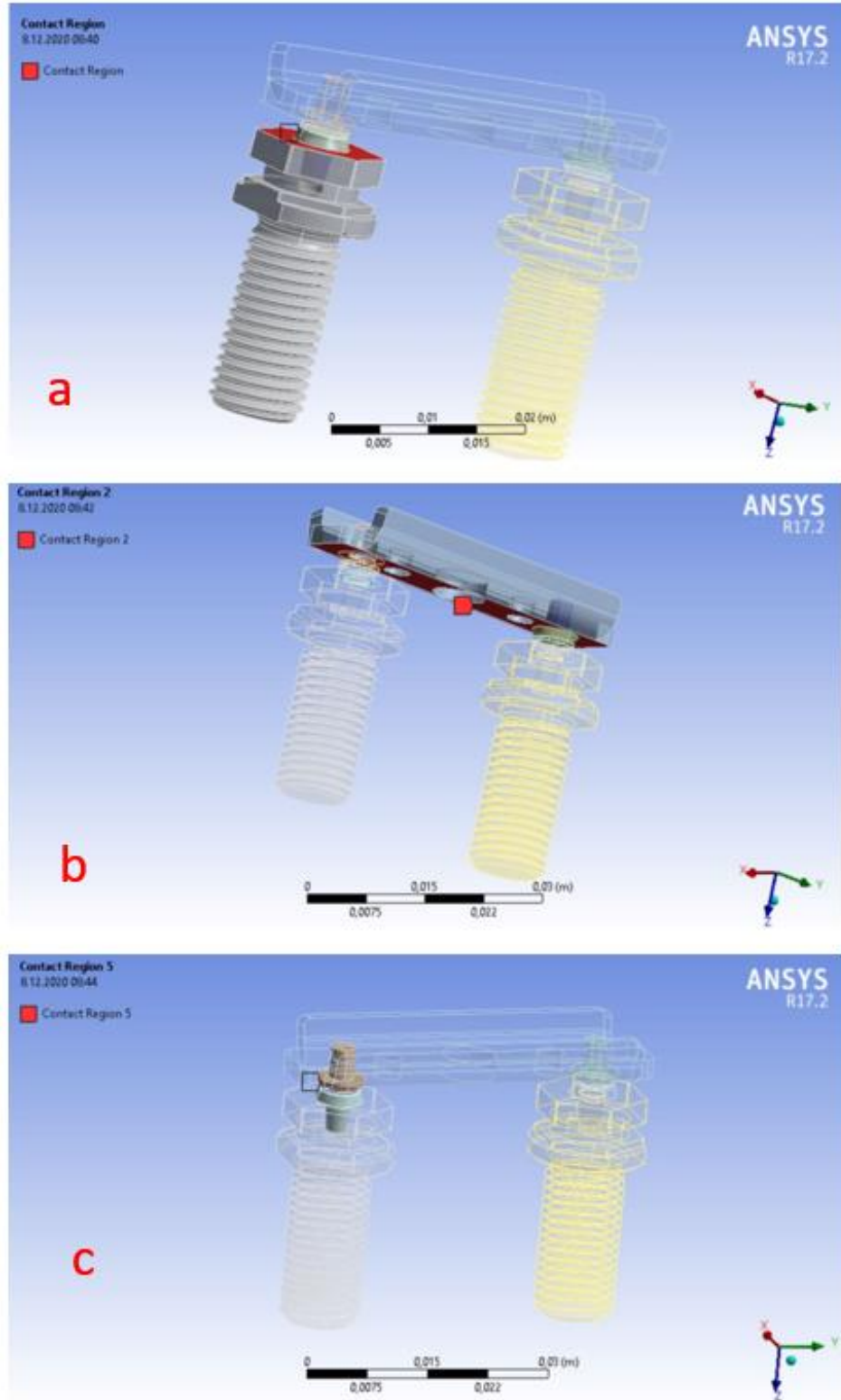
İmport edilen 3D modele mesh işlemi uygulanır. Mesh işlemi, geometri ve sınır şartları değiştirilmeden farklı versiyonlarda gerçekleştirilir. Geometrinin ne kadar çok sıklıkla dokunması yani mesh yoğunluğu, yapılacak analizin daha doğru sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Aynı zamanda mesh yoğunluğunun artmasıyla, yapılacak analizin süresi de artmaktadır. Bunun için optimal mesh yoğunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Sonlu elemanlar ağı analiz sonuçlarının, mesh yoğunluğuna bağlı kalmadığı nokta belirlenerek (meshten bağımsız bölge) analiz gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonuçları kontak bölgelerinin daha yoğun mesh yapısına sahip olduğu yerlerde optimal sonucu verdiği için, perçin grupları daha yoğun mesh yapısına sahipken, akımın devamlılığını sağladığı bölgelerde daha büyük mesh yapıları kullanıldı. Şekil 4.4'te uygulanan mesh yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Mesh yapısı

4.1.4 Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Analizin gerçekleşmesini ve doğruluğunu belirleyen en önemli parametrelerden birisi olan sınır şartlarının belirlenmesi Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Uygulanan akım ve voltajın analiz üzerinde devreyi tamamlayabilmesi için tüm iletim organlarının hangi bölgeden birbirine temas ettiği belirlenmektedir. Analizlerde birbirine temas eden farklı perçin yapıları (düz-düz, düz-küre, küre-küre) kullanıldığı için, temas geometrilerinin önemi, belirlenen sınır şartları ile ilişkilidir.



Şekil 4.5: Sınır şartları a) İnsert saplama - Alt perçin grubu b) Devre plakası - Üst perçin grubu
c) Alt perçin grubu - Üst perçin grubu

4.1.5 Malzeme Modelleri Tanımlama

Üretimi yapılan devre kesici, iletim malzemesi olarak kullanılan elemanları üzerinden geçireceği elektriksel ve aynı zamanda mekanik özelliklerini karşılayabilir yapıda olmalıdır. Gerçekleştirilen analizde kullanılan perçin malzemelerinin elektriksel şartlara bağlı olarak termal değerleri belirleneceği için farklı malzeme çeşitleri denenmiştir. Şekil 4.2’de gösterilen iletim elemanlarına tanımlanan malzemeler aşağıdaki gibidir.

- | | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| 1- Devre plakası | : Bakır (Cu) |
| 2- Üst Perçin Grubu | : AgSnO ₂ - AgCdO - AgNi |
| 3- Alt Perçin Grubu | : AgSnO ₂ - AgCdO - AgNi |
| 4- İnsert Saplama Grubu | : Pirinç (Gümüş Kaplama) |

Analizde kullanılan her bir malzeme, üretici firmanın belirlediği yapısal, elektriksel ve termal değerleri kullanılarak tanımlanmıştır. Tanımlanan malzeme dosyası Ansys kütüphanesine aktarılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

4.2 Deneysel Çalışma

4.2.1 Test Numunesinin Hazırlanması

Test gerçekleştirilmeden önce, devre kesici araç üzerine montaj edilebilecek şekline getirilerek son ürün olarak test cihazına bağlanmıştır. Devre kesicinin montajı öncesi iletim elemanları üzerinde oluşabilecek yağ, pas, cila oluşumuna karşı 10 dakika süre ile ultrasonik dalgalar vasıtasıyla metil alkol içerisinde yıkanmıştır. Havada ve tozsuz bir ortamda kurutma işlemi yapıldıktan sonra montaj işlemi gerçekleştirilmiştir.

Test numunesi, yüksek akım ömür çevrim cihazına bağlanırken, insert saplama ayaklarından bir tanesi cihazın anot kutbuna ve diğer insert saplama ayağı test cihazının katot kutbuna bağlanmıştır. Devre kesicinin tetikleme anahtarı, kurulmuş yaydan aldığı kuvvet ile hareket edebilen döner tabla üzerine oturtularak tetikleme

işlemi sağlanmaktadır. Bu durumda devre kesici anahtarı, döner tabladan aldığı hareket ile iletim perçinlerinin temas edip ayrılmasına neden olarak devre kesici üzerinden akımın geçmesinde/kapanmasında rol oynayacaktır.

4.2.2 Test Ekipmanı

Test ekipmanı, devre kesicinin araç üzerindeki çalışmasını gösterecek şekilde Nesan Otomotiv A.Ş. tarafından tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Test ekipmanı, araç üzerindeki gerekli olan akım ve voltaj değerlerini sağlayarak, sistem tetiklemesini belirlenen süreler içerisinde otomatik olarak gerçekleştirmektedir. İnsan faktöründen arındırılarak tam otomatik olarak çalışan test ekipmanı, üzerinde bulunan sigortalar ve emniyet valfleri ile olası bir kaza durumunda kendiliğinden besleme gücünü kesmektedir.

Test ekipmanı, genel hatlarıyla üç ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım, devre kesicinin araç üzerindeki istenilen voltaj-akım değerlerinin sağlandığı enerji bölümüdür. İkinci kısım, devre kesici perçin gruplarının birbirine temasını sağlayan ve istenilen durumda teması kesmeye yarayan (açma/kapama) tetikleme devresidir. Üçüncü kısım ise, devre üzerinden geçen akımın ve voltaj değerlerinin görüldüğü, devre kesicinin ve sistem tetikleme sayılarının gösterildiği gösterge paneli bölümüdür. Şekil 4.6'da test ekipmanı görülmektedir.

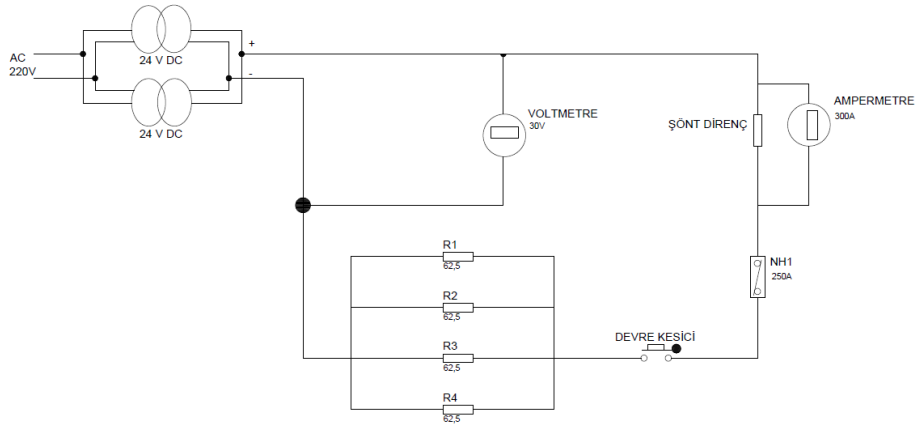


Şekil.4.6 Test ekipmanı

4.2.2.1 Enerjinin Sağlanması

220V-AC besleme gerilime sahip test cihazında 2 adet 24V-125A güç kaynağı bulunmaktadır. Güç kaynakları birbirine paralel bağlı olup toplamda 24V-250A değerlerini sağlar. Sistem için gerekli olan akım ve voltaj değerleri güç kaynaklarından karşılanmaktadır. Herhangi bir olumsuz duruma karşı güç kaynaklarına seri bağlı bulunan C6 tipi sigorta ile sistem güvenliği sağlanmıştır. Güç kaynağı çıkışına NH1 sigorta bağlanarak 250A akım ana devreye verilmiştir. Ana devre akımına seri olarak şönt direnç bağlanır. Şönt direncin amacı, devre üzerinden geçen akımın değerinin, gösterge paneli üzerinde bulunan ampermetrede doğru olarak okunmasıdır. Şönt dirençte oluşan gerilim düşüşü orantılanarak ampermetrede sistemden çekilen akım miktarı görülmektedir.

Güç kaynağının diğer çıkış ünitesine 300x50 mm'lik bakır baralar yerleştirilerek, enerji alt sistemde bulunan direnç devresine aktarılır. Direnç devresinde 62,5 Ω değerinde 4 adet telli direnç bulunmaktadır. 4 adet direnç birbirine paralel bağlı olup üzerinden 250 A akım geçişi sağlar. Güç ünitesinin direnç devresi üzerinden akım geçirmesi aynı zamanda sistemin rezistif yük altında çalışmasını göstermektedir. Direnç devresinden geçen “-” uç, test numunesinin insert saplama ayaklarından bir tanesine bağlanır. Bağlanan bu bölge, devre kesici üzerinde anot kutbu olarak belirlenir. İncert saplama ayaklarının açıkta kalan diğer ucu ise şönt direnç çıkışına bağlanmaktadır. Bağlanan bu kısım “+” ucu oluşturur ve sistemin katot kutbunu gösterir. Şekil 4.7’de test düzeneğinin enerji besleme şeması görülmektedir.



Şekil 4.7 Besleme Devresi şematığı

4.2.2.2 Tetikleme Devresi

Ana hava hattından gelen hava, kurutucu ve şartlandırıcıdan geçerek regülatör vasıtasıyla 6 bar hava basıncına düşürülür. Şartlandırılan hava 24 VDC selenoid valfe giriş yaparak, çift zaman ayarlı flaşör röle vasıtasıyla tetikleme sağlanır. Tetikleme sağlanan hava, 5/3 yön valfine alınarak, havanın döner tabla girişlerine hava vermesini sağlar. Döner tabla üzerinde bulunan çift girişi sayesinde, 90°'lik açı imkanı sağlayarak üzerinde bulunan devre kesici anahtarının tetiklenmesini sağlar. Döner tablanın üzerinde bulunan yay, devre kesici anahtarına baskı kuvveti uygulayarak, daima birlikte çalışmasını sağlar. Çift zaman ayarlı flaşör röle vasıtasıyla, döner tablanın konumu istenilen sürelerde ayarlanabilir. Bu durum ise devre kesicinin üzerinden geçireceği akım süresini ve devreyi açma süresini belirler.

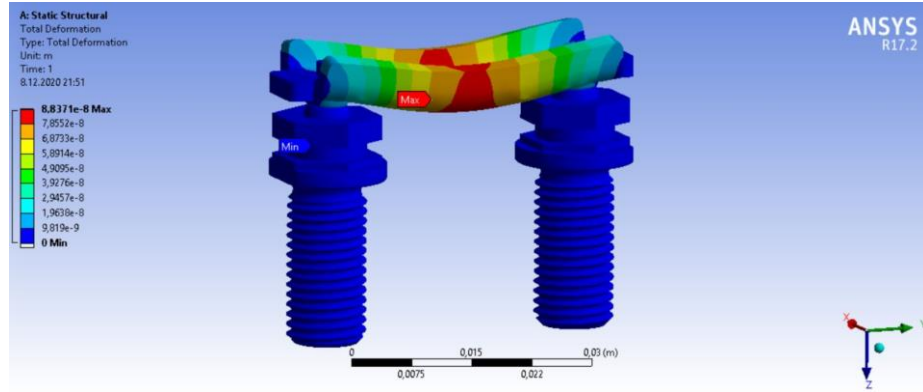
4.2.2.3 Gösterge Paneli

Gösterge paneli üzerinde voltmetre, ampermetre, çift zaman ayarlı röle ve otomatik sayıcı bulunmaktadır. Voltmetre ve ampermetre ile sistem güç değerleri kontrol edilir. Çift zamanlı röle ile tetikleme ayarı yapılarak, döner tablanın pozisyonu ve süreleri tayin edilir. Böylece devre kesicinin açık/kapalı kalma süreleri belirlenir. Çift zamanlı röleye bağlı olan otomatik sayıcı, devre plakasının tetiklenme sayısını gösterir.

5. BULGULAR

5.1 Nümerik Bulgular

Analiz modellemesi, yapısal analiz sonuçlarının elektrik analizi ile birleştirilmesiyle oluşturulduğu için ilk etapta yapısal analiz sonuçları ele alınacaktır. Devre plakası üzerine uygulanan 10 N değerindeki yük miktarı, devre kesici anahtarının devreyi kapatması durumunda perçin gruplarının birbirine temasını sağlayan yaydan kaynaklı kuvvet miktarını göstermektedir. Saplama yüzeylerinden ürünün sabitlenmesiyle, devre plakasına bağlı olan üst perçin grubu, alt perçin grubuna temas ederek iletim sağlanmış olur. İki perçin grubunun temasından kaynaklı devre plakasında esneme görülmektedir. Oluşan esneme Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Yapısal analiz sonucu görseli

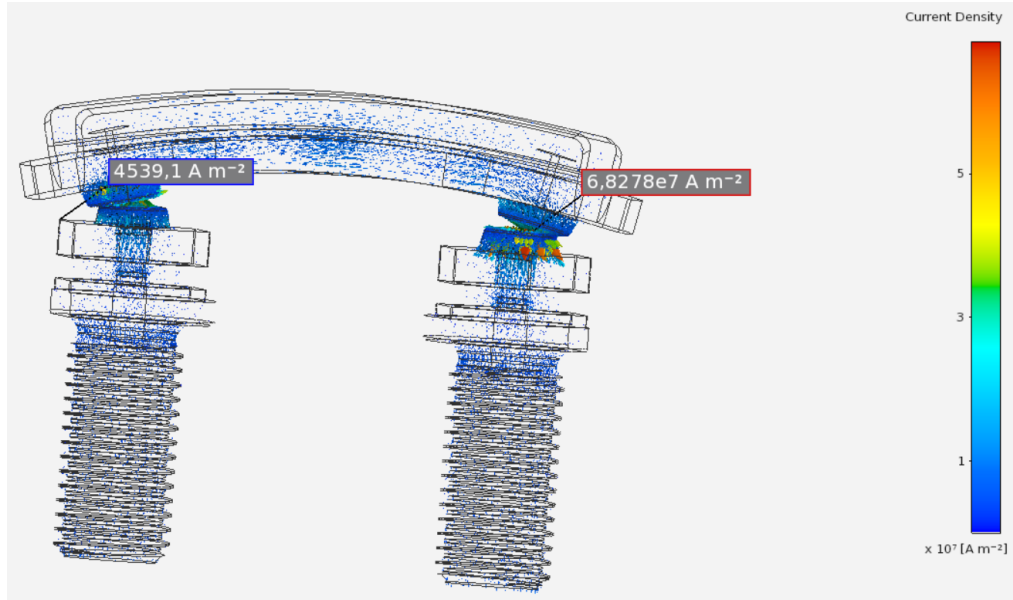
Şekilde görülebileceği gibi, meydana gelen esneme miktarı 10 N kuvvet değeri için $8,83 \times 10^{-3}$ mm'dir. Bu değerın sistem çalışmasına etkisinin çok düşük olmasından kaynaklı, sadece perçin gruplarının birbirine teması için gerekli olan kuvvet olarak nitelendirebiliriz.

Yapısal analiz sonucu elektrik analizi gerçekleştirilen iletim elemanlarında gözlemlenmek istenen, araç üzerinde çalışma sınır şartları içerisinde temas malzemesinde meydana gelecek sıcaklık artışının sonuçlarıdır. Bunun için farklı malzemelerden perçin grupları kullanılmıştır. Analiz için kullanılacak perçin gruplarının malzeme ve özellik listesi Tablo 5.1’de görülmektedir.

Tablo 5.1: Malzeme Özellikleri Tablosu

Özellikler	AgCdO	AgSnO ₂	AgNi
% Ag Oranı	88	88	90
Metal Oksit / Metal	12%	12%	10%
İletim Katsayısı ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	3,3	3,3	1,88
Sertlik (HB)	100	100	90
Yoğunluk (kg/m^3)	10,1	9,9	10,1
ρ Malzeme Direnci ($10^{-8}\Omega\text{m}$)	5,7	1,8	3,6
α Isı Katsayısı ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	0,002	0,002	0,0035
λ Termal İletkenlik ($\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$)	313	307	350
T _m Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	875	961	961
Elektriksel İletkenlik ($\text{m}/(\Omega\text{mm}^2)$)	48	35	54

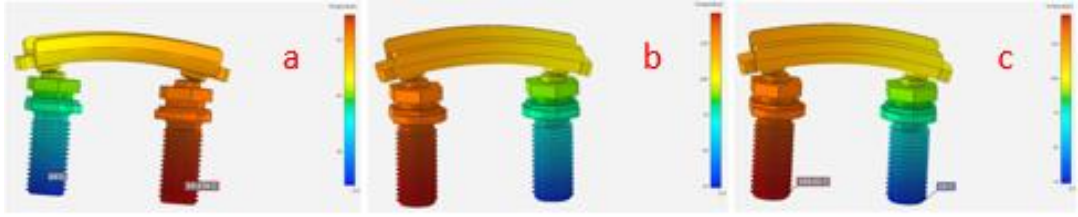
Elektriksel analiz, iş makinelerinde kullanılacak maksimum elektriksel değerleri karşılar nitelikte olmalıdır. Bunun için test 24V-250A altında gerçekleştirilmiştir. Dış ortam sıcaklığı 24°C olarak belirlenmiştir. Sistem rezistif yük altında çalıştığı için, akım ve voltaj 90° faz farkıyla devreyi tamamlamaktadır. Oluşan faz farklılığından kaynaklı saplama ayaklarının bir ucuna 24 V gerilim, diğer ucuna 250 A akım tanımlanmıştır. Şekil 5.2’de akım yoğunluğu ve devreyi tamamlama yönü gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Sistem akımı yoğunluğu ve yönü

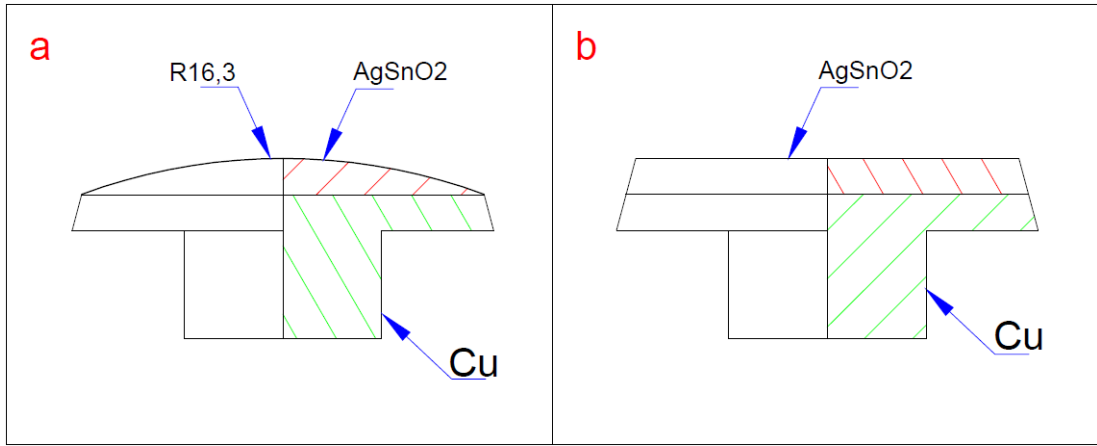
Farklı malzemelerden imal edilmiş perçinler için belirtilen özellikler, üretici firmaları tarafından sağlanmıştır. Analizi gerçekleştirilecek perçin grupları, spesifik malzemeler olduğu için Ansys malzeme kütüphanesinde bulunmaktadır. Elektriksel

analizin gerçekleştirilmesi için gerekli olan malzeme özellikleri kütüphaneye tanıtılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.3'te analiz sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Nümerik Analiz Sonuçları a) AgSnO₂ b) AgCdO c) AgNi

Malzeme özellikleri dışında perçinlerin temas yüzey geometrileri de analiz sonuçlarını etkileyen faktörler içerisinde yer almaktadır. Perçinlerin temas geometrisi düz-düz ve düz-bombeli olacak şekilde analizler gerçekleştirilmiştir. Düz-bombeli perçin birleşmesinde anahtar sistemine bağlı olan hareketli perçin grupları bombeli temas yüzeyinde olurken, insert saplama üzerinde bulunan perçinler düz temas yüzeyine sahiptir. Şekil 5.4'de bombeli ve düz perçinlere ait görseller bulunmaktadır.



Şekil 5.4: AgSnO₂ malzemeye ait perçin görselleri a) Bombeli perçin b) Düz perçin

Farklı malzeme ve temas yüzey şekilleri ile yürütülen analiz sonucunda; AgSnO₂ ve AgCdO malzemelerinden yapılmış her iki ürünün düz-düz ve düz-bombeli temas yüzeyi birleşmeleriyle oluşan sıcaklık değerleri AgNi malzemesine göre çok daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu duruma neden olarak AgNi malzemesinin diğer malzemelere oranla iletim katsayısının daha düşük, ısı katsayısının daha yüksek olması gösterilebilir. Tablo 5.2'de analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri gösterilmektedir.

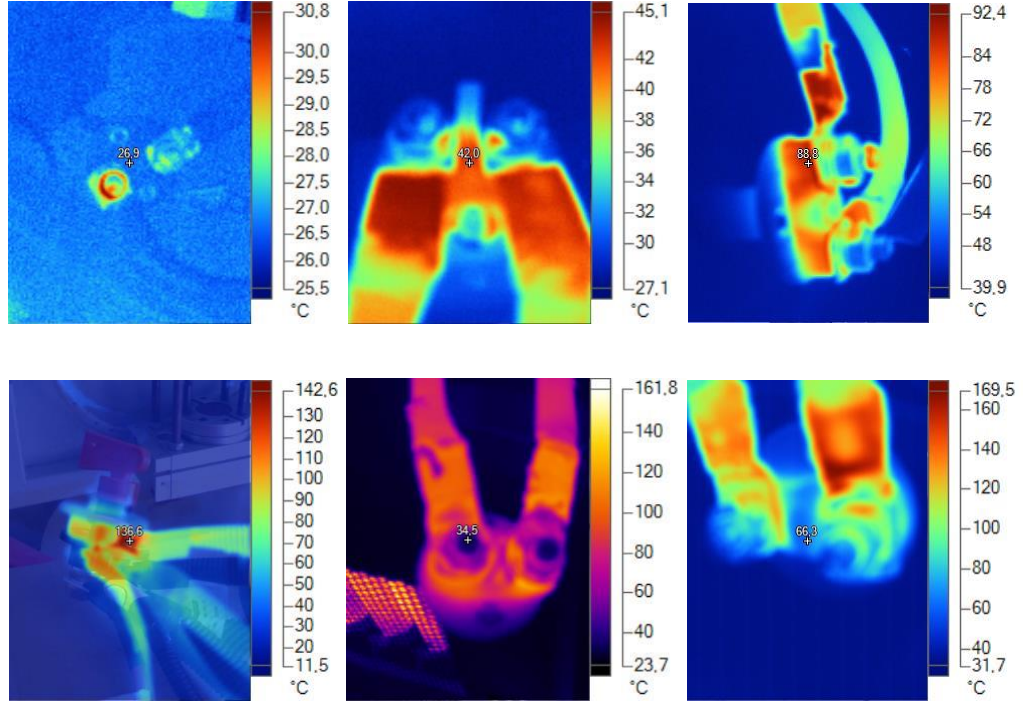
Tablo 5.2: 24V-250A altında gerçekleştirilen analizde perçin gruplarının sıcaklık değerleri

Malzeme \ Temas Şekli	Düz - Düz	Düz - Bombeli
AgSnO ₂	146,02°C	54,436°C
AgCdO	161,27°C	56,048°C
AgNi	512,33°C	152,36°C

5.2 Deneysel Bulgular

Devre kesicilerin testleri, deneysel yöntem bölümünde anlatılan yüksek akım ömür test cihazında gerçekleştirilmiştir. Devre kesici, test bölgesine bağlanarak, döner tabla ile tetikleme sağlanmıştır. Araç üzerinde maksimum güç şartlarını karşılaması için, 24V-250A ile beslenmiştir. Yüksek yük şartlarında test edilen ürünler için, ömür çevrim sayısı 20000 çevrim olarak belirlenmiştir. Kumanda mekanizmasında bulunan tetikleme rölesinden selenoid valfe zaman ayarı yapılarak, devre kesicinin 30 saniye süre ile devreyi kapatması, 5 saniye süre ile açık devre konumuna gelmesi sağlanmıştır. Devre kapalı konumda iken perçinler birbirine temas ederek üzerinden akım geçmesini sağlamaktadır. Açık devre pozisyonunda perçinler birbirine temas etmez ve iletim kesilmiş konuma gelir. Sistemin kendini açıp kapatması toplamda 35 saniye sürerek bir çevrim gerçekleşmektedir. 20000 çevrim gerçekleştirilmesi yaklaşık 8 günlük bir süre ile perçinlerin test edileceğini göstermektedir.

Teste bağlanan devre kesicilerin ısı kontrolleri 07:30-17:30 saat dilimleri arasında her bir saatte olacak şekilde “Fluke TiS60+” marka termal kamera ile ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Alınan ölçümler test kontrol çizelgesine işlenerek 8 gün boyunca günlük 11 kez ölçüm yapılarak kayıt altına alınmıştır. Şekil 5.5’de termal kamera ile alınan görüntülerden bazıları gösterilmektedir.



Şekil 5.5: Farklı sıcaklıklarda termal kamera ölçümleri

Mekanik çevrim ömür test cihazında, $AgSnO_2$ ve $AgCdO$ malzemelerine ait perçin grupları kullanılmıştır. $AgNi$ malzemesine ait yapılan nümerik analiz sonucu yüksek sıcaklık değerlerine ulaşıldığı için, ömür testi gerçekleştirilmemiştir. Analiz sonucu daha az sıcaklık değerlerine ulaşılan $AgSnO_2$ ve $AgCdO$ malzemelerine ait farklı temas yüzeyleri ile test gerçekleştirilmiştir. Her iki malzemenin üretilmiş perçinlerin ölçüleri aynı olacak şekilde test gerçekleştirilmiştir. Malzemenin yüksek akıma ve gerilime bağlı ısıl değerleri incelenirken, aynı zamanda perçin gruplarının temas yüzeyi şekil özellikleri de incelenmektedir. Bunun için her iki malzeme grubundan düz-düz ve düz-bombeli olacak şekilde perçin grupları test edilmiştir.

5.2.1 Perçinler Arası Ark Oluşumu

Devre kesicinin her açılıp kapanmasında, ani birleşmeden kaynaklı perçinler arası ark oluşumu gözlemlenmektedir. Şekil 5.6'da oluşan ark gösterilmektedir. Perçinlerin birbirine yaklaşması ve ayrılırken uzaklaşması durumunda perçinler arası elektron atlamasından kaynaklı oluşan ark, kaplama yüzeylerine ciddi hasarlar

vermektedir. Oluşan her ark, kaplama yüzeyinden parça kopararak, perçin yüzeylerinin deforme olmasına neden olmaktadır. Rezistif yükte test edilen devre kesicinin, direnç devresine bağlı olan insert saplama ayağı anot ucunu göstermektedir. Testlerden çıkan ürünler incelendiğinde anot uca bağlı olan perçin yüzeyindeki kaplamanın erozyona uğradığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuç, rezistif yükte elektron akışına bağlı olarak oluşan arkın, anot yüzeyler üzerinden parça kopardığını ve katot perçin yüzeylerinde birikim yaptığını göstermektedir.



Şekil 5.6: Perçinler arası ark oluşumu

6. METALOGRAFİK ANALİZ

AgSnO₂ ve AgCdO kaplama malzemelerinden daha önceden testi gerçekleştirilmiş kontak perçinlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri incelenmiştir. Görüntüleme işlemi ZEISS SUPRA 40 VP cihazı ile yapılmış ve ESPRİT 2 programı kullanılmıştır.

6.1 EDS Analizi

6.1.1 AgSnO₂ Kaplama Malzemesi Perçin Grubu

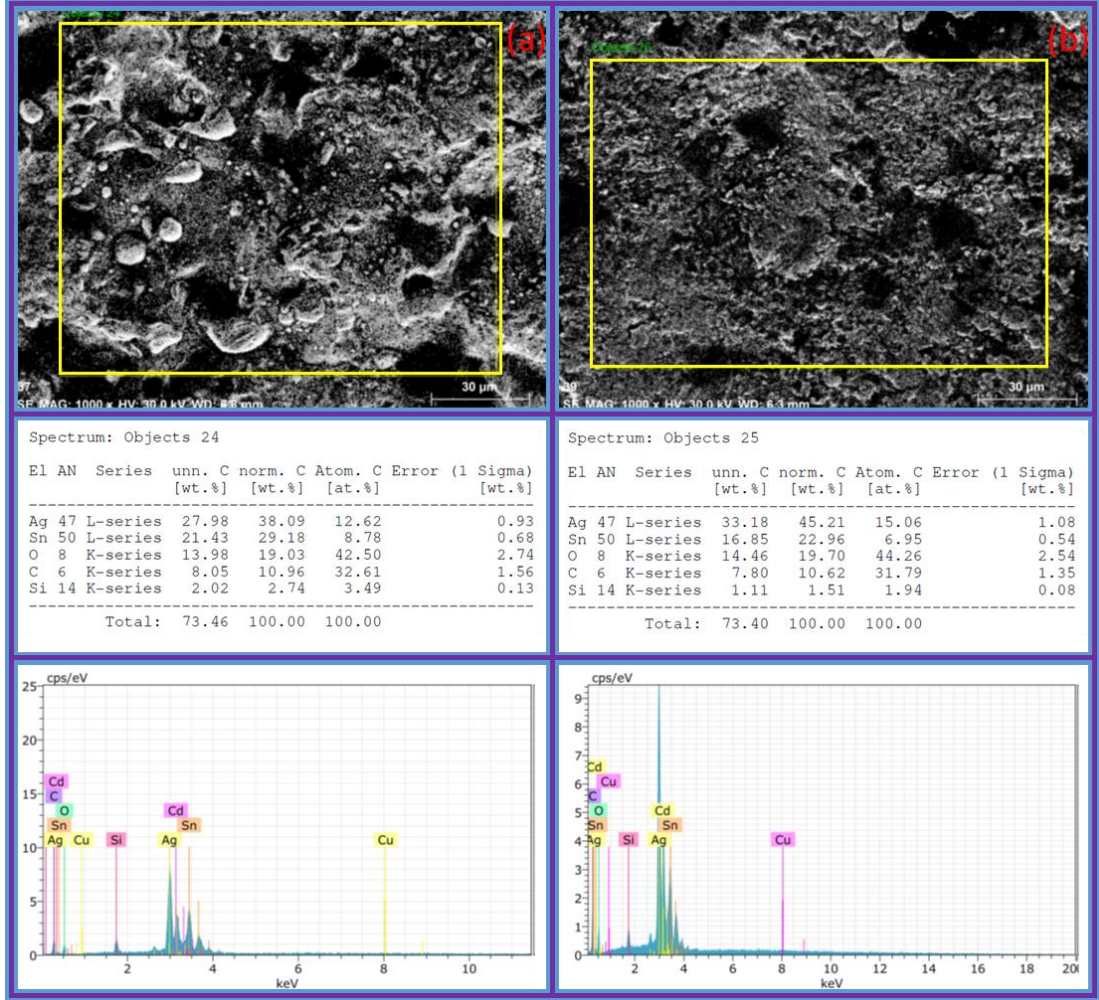
Şekil 6.1’de AgSnO₂ kaplama malzemesine ait Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (EDS) için alınmış SEM görüntüleri gösterilmiştir. Şekil 6.1 (a) AgSnO₂ kaplamalı kontak çiftlerinden katot perçinini göstermektedir. Şekil 6.1 (b), AgSnO₂ kaplamalı kontak çiftlerinden anot perçinini göstermektedir.

Şekil 6.2 makro çekim XS Pro 1 Multi Digital UV görüntüleme cihazı ile yapılan görüntülemeyi göstermektedir. Görüntüleme işlemi perçin çiftlerinin ömür testi sonrası deforme olan kaplama yüzeylerinden gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.2 (a) görseli AgSnO₂ kaplamalı kontak çiftlerinden katot perçinini göstermektedir. Şekil 6.2 (b) görseli AgSnO₂ kaplamalı kontak çiftlerinden anot perçinine ait görüntüdür.

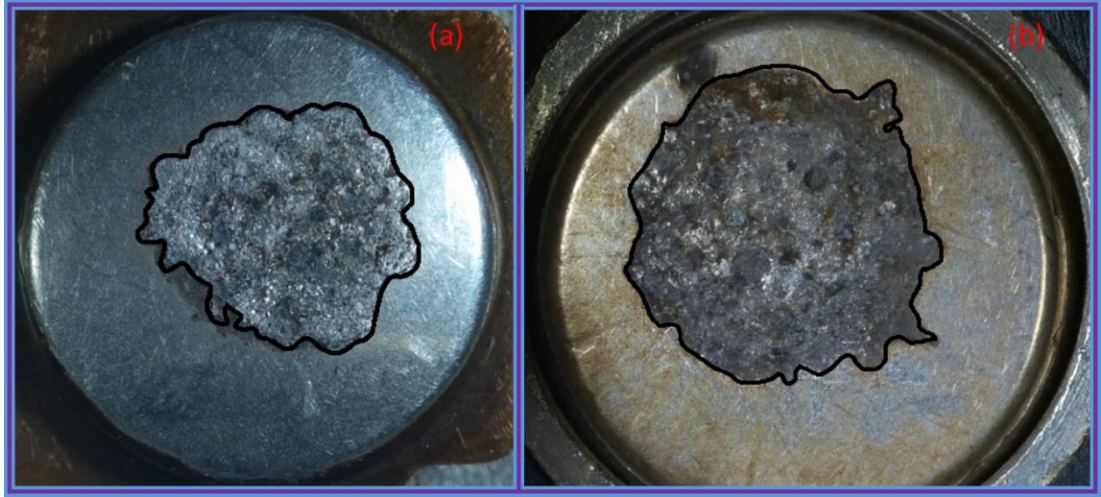
Gerçekleştirilen makro çekimde perçin yüzeylerinde oluşan arka bağlı deformasyonlar görülmektedir. Perçin çiftleri üzerindeki deformasyon alanları incelendiğinde AgSnO₂ kaplamalı katot perçin için 15,7 mm²’dir. Deformasyon alanı anot perçin için 17,4 mm²’dir. Yüzey alanlarında da görülebileceği gibi, kontak işlemi sırasında oluşan arka bağlı perçin çiftleri üzerindeki deformasyon alanları birbirini tamamlar özellik ve boyuttur. Görüntülerden de anlaşılabilceği gibi, katot perçin grubu üzerinde birikmelere bağlı tepecik ve pipler oluşurken, anot perçin yüzeyinde erozyona bağlı aşınmalar ve çukurlar görülmektedir.

EDS için alınmış SEM görüntüleri incelendiğinde birikim gözükken katot kontak perçini kütlice %38,09 Ag, %29,18 Sn, %19,03 O, %10,96 C ve %2,74 Si elementleri içermektedir. Kaplama yüzeyi üzerinde erozyon gözlemlenen anot kontak

perçini için ise kütlece element analizi %45,21 Ag, %22,96 Sn, %19,7 O, %10,62 C ve %1,51 Si olarak görülmektedir.



Şekil 6.1: EDS İçin Alınmış SEM Görüntüsü (AgSnO₂) a) Katot Perçin b) Anot Perçin



Şekil 6.2: AgSnO₂ Perçin Grubuna Ait Makro Görünüm a) Katot Perçin b) Anot Perçin

Tablo 6.1: EDS Analiz Sonuçları (AgSnO₂)

	%Wt Katot Perçin	%Wt Anot Perçin	Wt Fark	Ergime Sıcaklığı
Ag	38,09	45,21	7,21	961,8°C
Sn	29,18	22,96	6,22	231,9°C
O	19,03	19,7	0,67	-218°C*
C	10,96	10,62	0,34	3700°C**
Si	2,74	1,51	1,23	1414°C

*Atmosferde gaz halde bulunur.
** Süblimleşme derecesi (10Mpa basınç altında).

Tablo 6.1’de anot ve katot kontak perçinlerine ait kütlece yüzde element analizleri, her iki perçin için kütlece yüzdelik farkları ve içinde barındırdıkları elementlerin ergime sıcaklığı gösterilmektedir. Lin ve diğerleri, perçinlerin birbirine teması ve ayrılması durumunda oluşan arka bağlı ani sıcaklık artışları birkaç yüz santigrat dereceleri bulduğunu belirtmişlerdir. Bu durum akım, kuvvet ve malzemeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Lin ve diğerleri, 2019).

Elementler arasında kütlece en yüksek farkın Ag ve Sn elementlerine ait olduğu tabloda görülmektedir. Diğer elementlere oranla daha düşük ergime sıcaklıkları da Ag ve Sn elementlerine aittir. Bu durum, perçin kaplamalarında oluşan erozyon ve birikimin Ag ve Sn elementleri arasında olduğunu göstermektedir. Perçinlerin teması

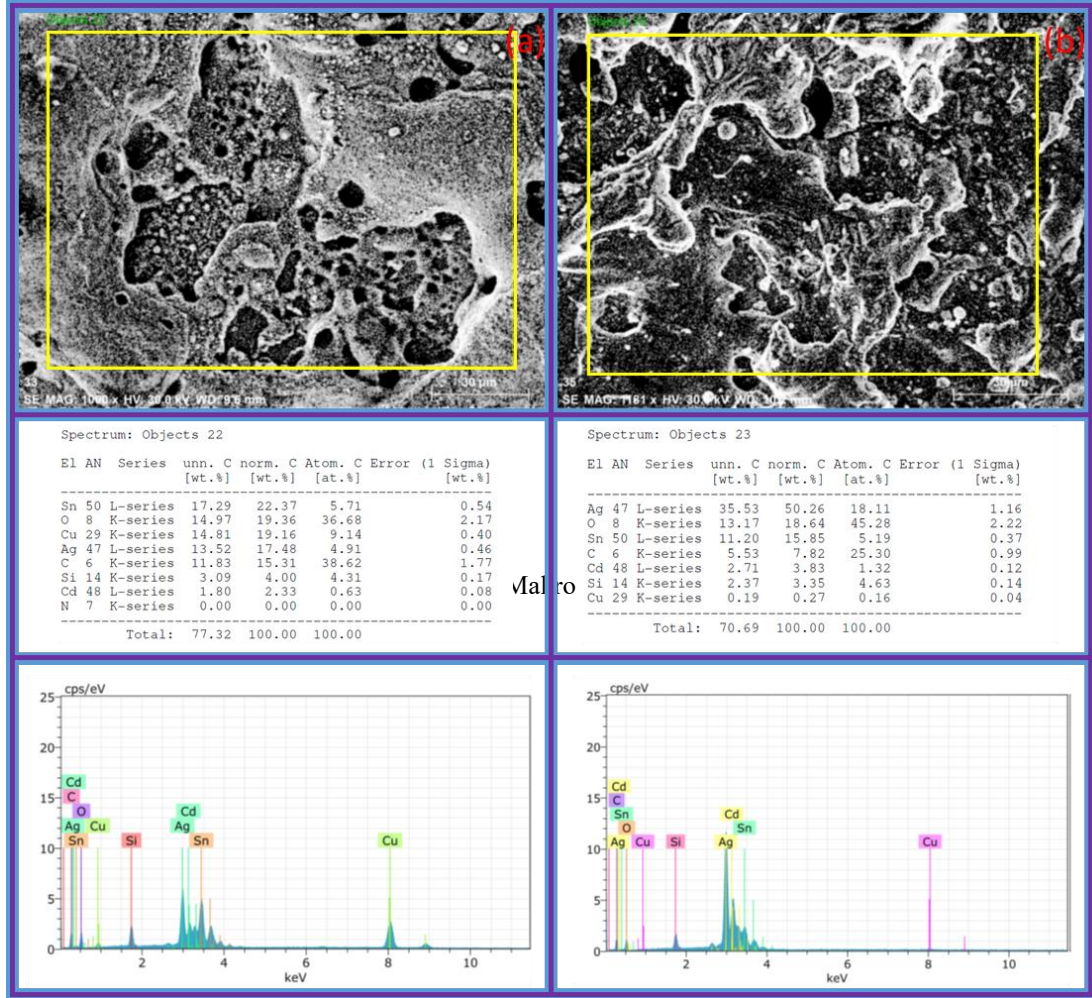
ile oluşan arka bağı yüksek sıcaklık, ergime noktası diğer elementlere oranla daha düşük olan Ag ve Sn elementlerin erimesine yol açarak, perçinler arasında kütle difüzyonunu sağlamaktadır. Temas malzemelerinin birleşme ve ayrılma sırasında ortaya çıkan enerjisi, anot üzerinde ortaya çıkan enerjinin katot üzerindeki kazanım enerjisine eşit olması beklenir. Elektron akışı, anot malzemesini buharlaştırarak, buharlaşan ürünlerin katot üzerinde toplanmasına neden olur.

6.1.2 AgCdO Kaplama Malzemesi Perçin Grubu

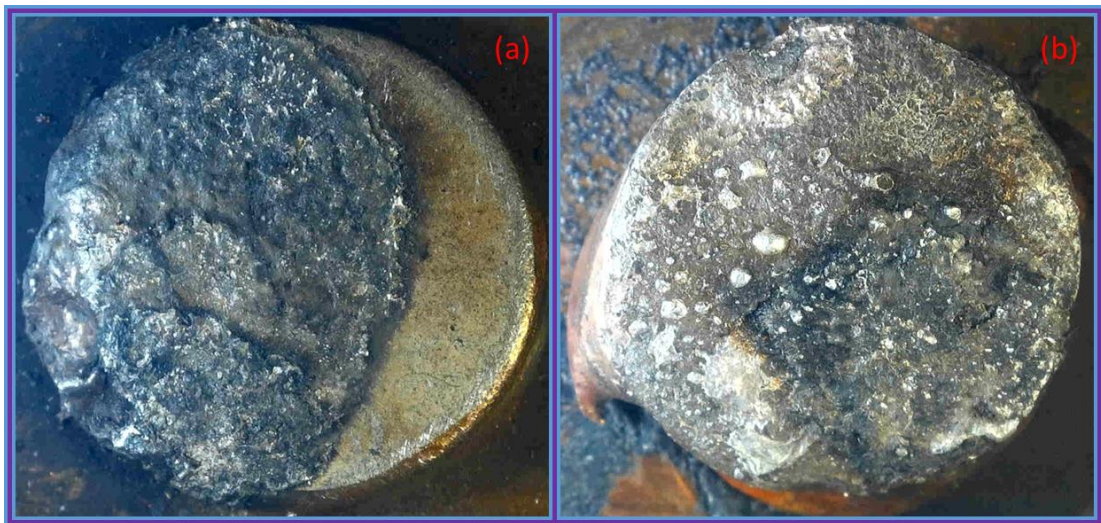
Şekil 6.3’de AgCdO kaplama malzemesine ait Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (EDS) için alınmış SEM görüntüleri gösterilmiştir. Şekil 6.3 (a) AgCdO kaplamalı kontak çiftlerinden katot perçinini göstermektedir. Şekil 6.3 (b), AgCdO kaplamalı kontak çiftlerinden anot perçinini göstermektedir

Şekil 6.4 makro çekim XS Pro 1 Multi Digital UV görüntüleme cihazı ile yapılan görüntülemeyi göstermektedir. Görüntüleme işlemi perçin çiftlerinin ömür testi sonrası deforme olan kaplama yüzeylerinden gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.4 (a) görseli AgCdO kaplamalı kontak çiftlerinden katot perçinini göstermektedir. Şekil 6.4 (b) görseli AgCdO kaplamalı kontak çiftlerinden anot perçinine ait görüntüdür.

Gerçekleştirilen makro çekimde perçin yüzeylerinde oluşan arka bağı deformasyonlar görülmektedir. Perçin çiftleri üzerindeki deformasyon alanları incelendiğinde AgCdO kaplamalı katot perçin için $30,2 \text{ mm}^2$ ’dir. Deformasyon alanı anot perçin için neredeyse yüzeyin tamamında görülmekte ve $38,7 \text{ mm}^2$ ’dir. Yüzey alanlarında da görülebileceği gibi, kontak işlemi sırasında oluşan arka bağı perçin çiftleri üzerindeki deformasyon alanları birbirini tamamlar özellik ve boyuttur. Görüntülerden de anlaşılabilceği gibi, katot perçin grubu üzerinde birikmelere bağı tepelik ve pikler oluşurken, anot perçin yüzeyinde erozyona bağı aşınmalar ve çukurlar görülmektedir.



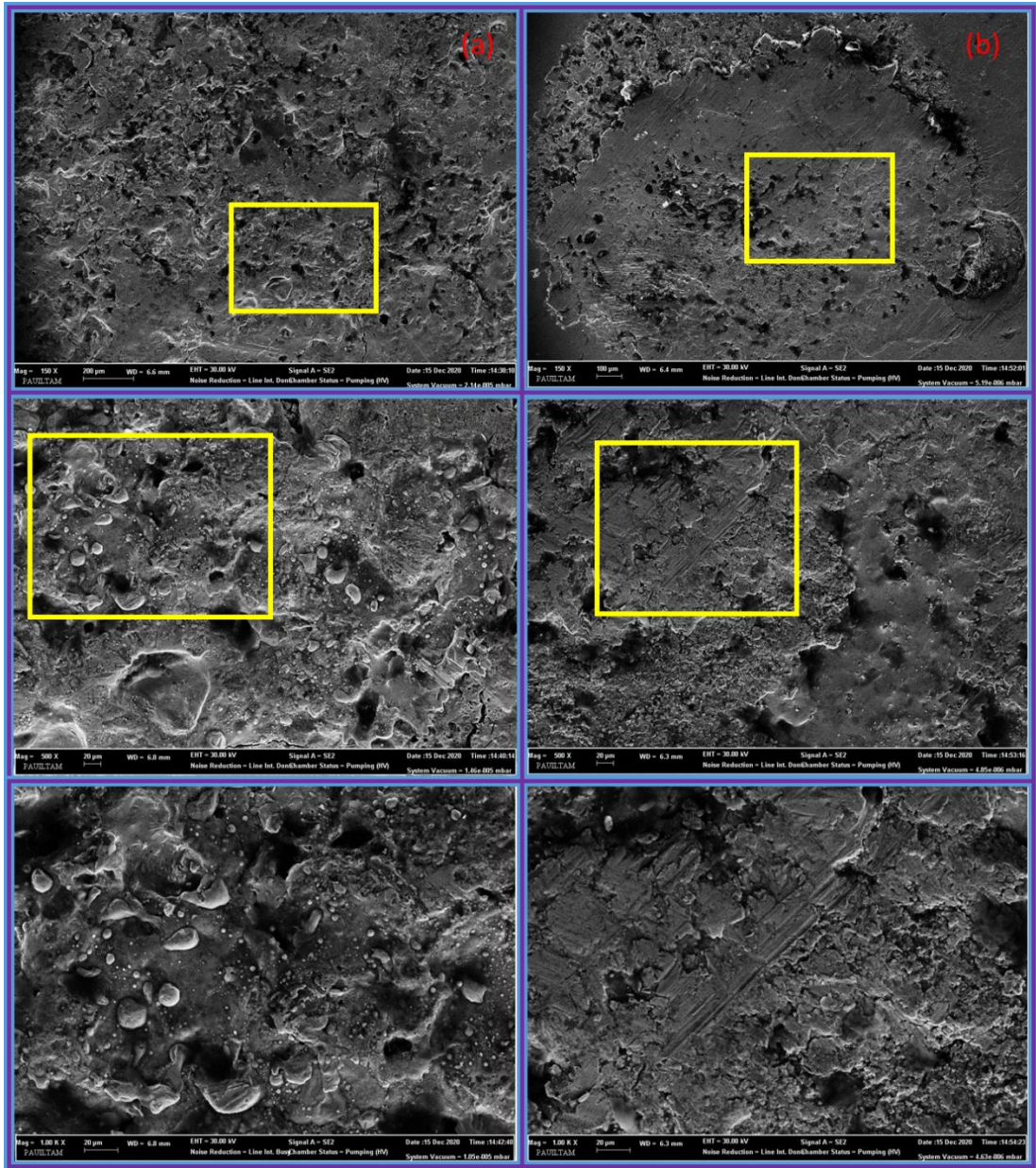
Şekil 6.3: EDS İçin Alınmış SEM Görüntüsü (a) Katot Perçin (b) Anot Perçin



Şekil 6.4: AgCdO Perçin Grubuna Ait Makro Görünüm (a) Katot Perçin (b) Anot Perçin

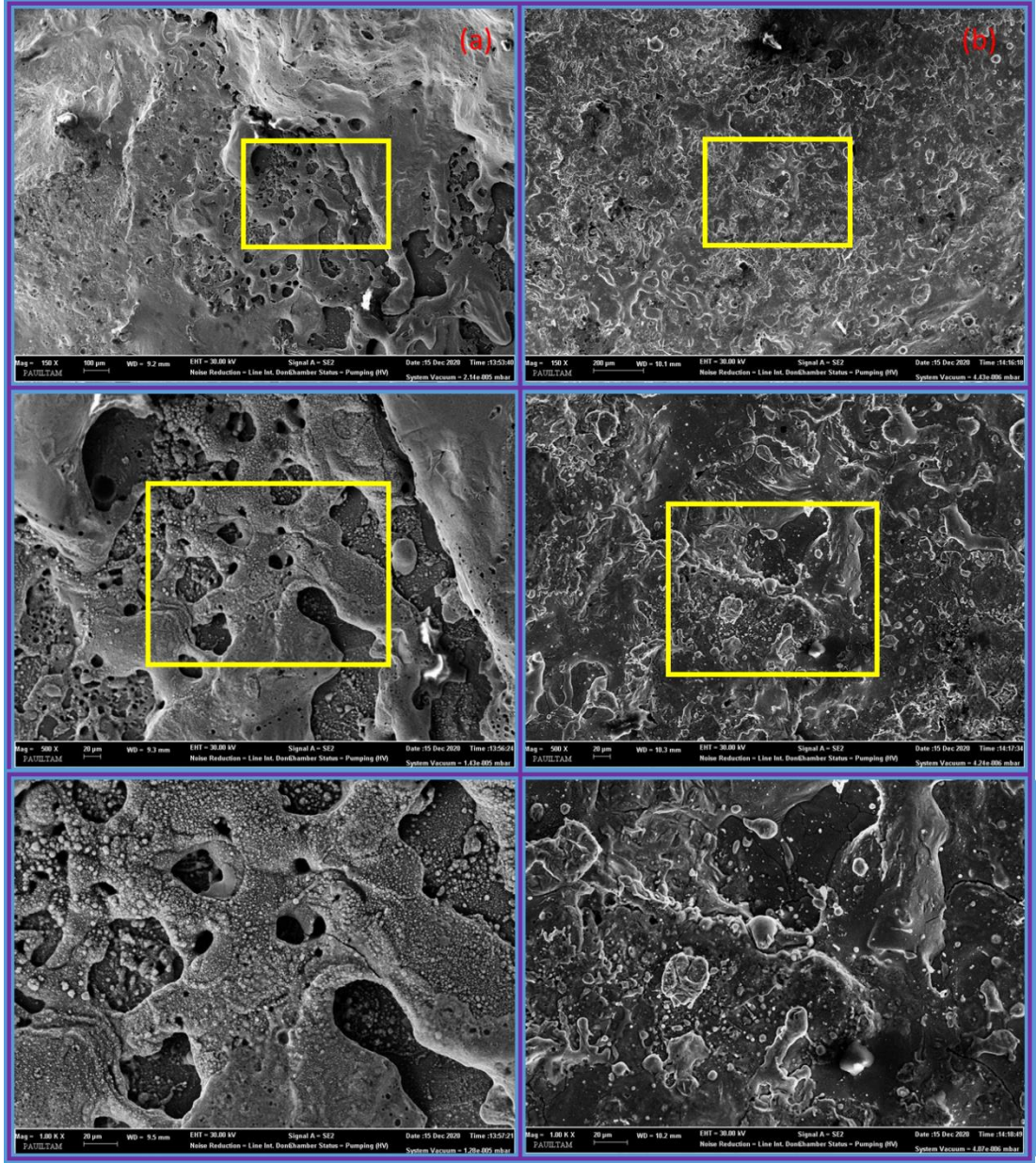
EDS için alınmış SEM görüntüleri incelendiğinde birikim gözlemlenen katot kontak perçini kütlece %17,48 Ag, %22,37 Sn, %19,39 O, %15,31 C, %4,0 Si, %19,16 Cu ve %2,33 Cd elementleri içermektedir. Kaplama yüzeyi üzerinde erozyon gözlemlenen anot kontak perçini için ise kütlece element analizi %50,26 Ag, %15,85 Sn, %18,64 O, %7,82 C, %3,35 Si, %0,27 Cu ve %3,83 Cd olarak görülmektedir.

6.2 SEM Görüntüleri



Şekil 6.5: AgSnO₂ Kontak Perçinine Ait Sem Görüntüsü a) Katot Perçin b) Anot Perçin

Ömür testi sonrası perçin yüzeylerinde oluşan deformasyonların daha iyi anlaşılabilmesi için, test numuneleri ve referans olabilecek aynı malzemeden yapılmış, teste girmeyen ürünlerinin SEM görüntüleri alınmıştır. Görüntüleme işlemi ZEISS SUPRA 40 VP cihazı kullanılarak 30,00 kW EHT enerji düzeyi ve SE2 elektronları ile gerçekleştirilmiştir. Görüntüleme işlemleri sırasıyla, X150 – X500 – X1000 yaklaşıma oranları ile gerçekleştirilmiştir.

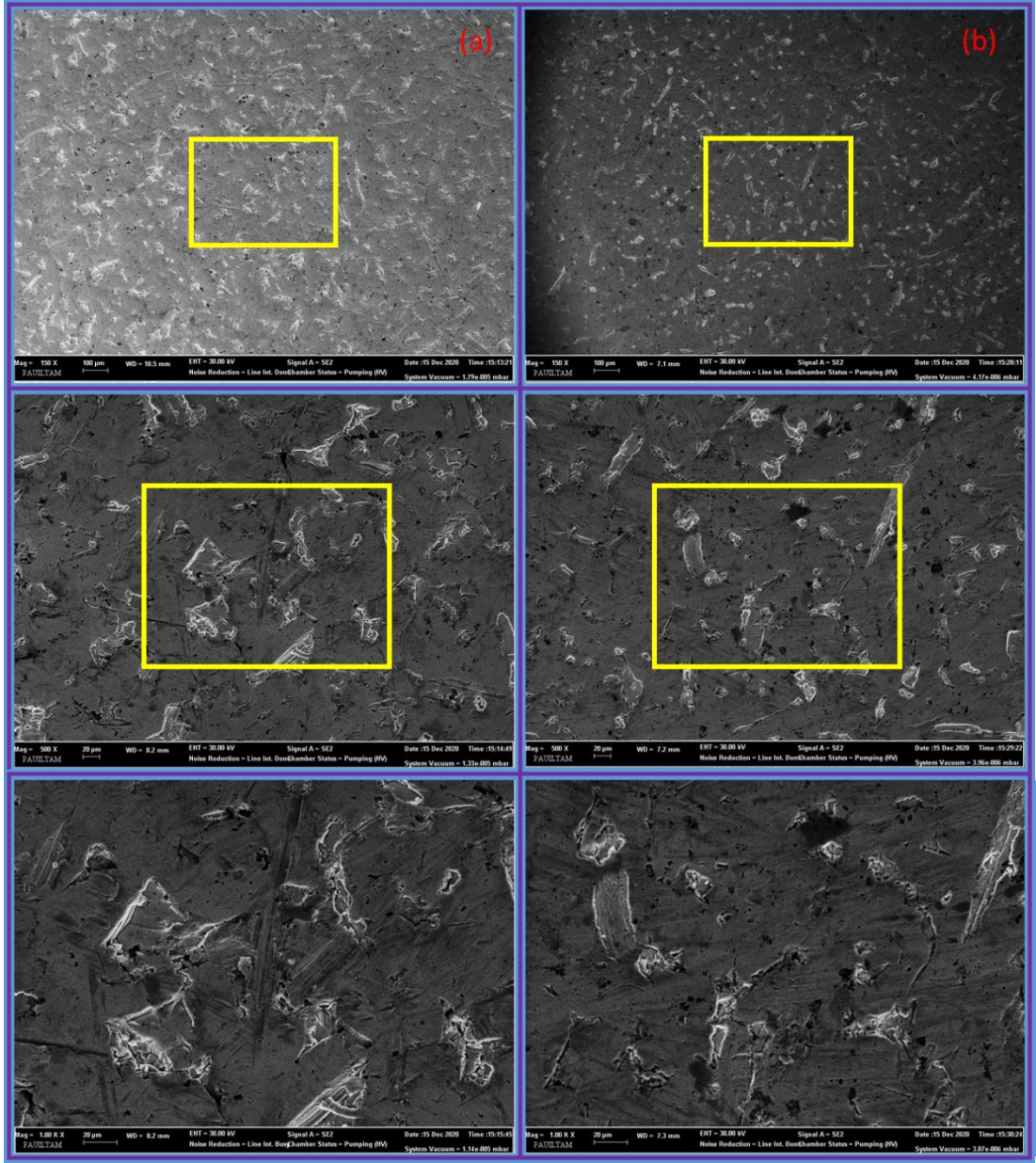


Şekil 6.6: AgCdO Kontak Perçinine Ait Sem Görüntüsü a) Katot Perçin b) Anot Perçin

Şekil 6.5 (a)'da AgSnO₂ kaplama malzemesine ait katot perçin, Şekil 6.5 (b)'de ise AgSnO₂ kaplama malzemesine ait anot perçin SEM görüntüleri gösterilmektedir.

Perçin çiftleri 10000 çevrim yapacak şekilde ömür test cihazını başarı ile tamamlamıştır. Test sonrası perçin yüzeylerinde deformasyon olduğu gözlemlenmiştir. Katot perçin SEM görüntüleri incelendiğinde, kendine ait kaplaması üzerinde birikim yaparak, tepeciklerin olduğu gözlemlenmektedir. Anot perçin SEM görüntüsü incelendiğinde, yer yer kaplamanın kalktığı ve çukurların olduğu görülmektedir. Test sırasında perçinler arası oluşan arka bağlı, anot perçin grubundan malzeme taşınarak, katot perçinleri üzerinde birikim yaptığı SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Katot malzeme üzerindeki tepeciklerin keskin köşe olmayan oval formunda da anlaşılabilceği üzere, elementlerin ergime noktalarına yaklaşan sıcaklık değerlerine ulaşıldığı yorumlanabilir. Anot perçin üzerinde görülen izler, ergime fazının tam olarak oluşmadığını, mekanik temas etkisi sonucu oluştuğunu göstermektedir.

Şekil 6.6 (a)'da AgCdO kaplama malzemesine ait katot perçin, Şekil 6.6 (b)'de ise AgCdO kaplama malzemesine ait anot perçin SEM görüntüleri gösterilmektedir. Perçin çiftleri, 10000 çevrim yapacak şekilde ömür test cihazına bağlanmış ve yaklaşık 7000 çevrim sonucunda yüksek sıcaklığa bağlı olarak, perçinlerin birbirine kaynak olmasından dolayı başarısız olmuştur. Test sonrası perçinler üzerinde yapılan SEM görüntüleme işleminde her iki perçin yüzeyinde de yüksek oranda deformasyon gözlemlenmiştir. Katot perçin üzerinde biriken malzeme incelendiğinde, kaplama malzemesinin arka bağlı oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle ergidiği ve sıvılaşıma olduğu görülmektedir. Yer yer sıvılaştıran bölgelerde köpürmelerin başladığı gözlemlenmiştir. Anot perçin üzerinde kaplama malzemesi incelendiğinde ise çukurların oluşumu rahatlıkla görülebilmektedir. Kaplama malzemesinde oluşan erozyona bağlı olarak, kaplamanın neredeyse tamamen kalktığı ve ana malzeme olan Cu elementine ulaşıldığı görülmektedir. AgSnO₂ kaplama malzemesinde görülen mekanik izlerin burada görülmediği aşıkardır. Bu durumun ergime sonrası oluşan sıvılaşımadan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

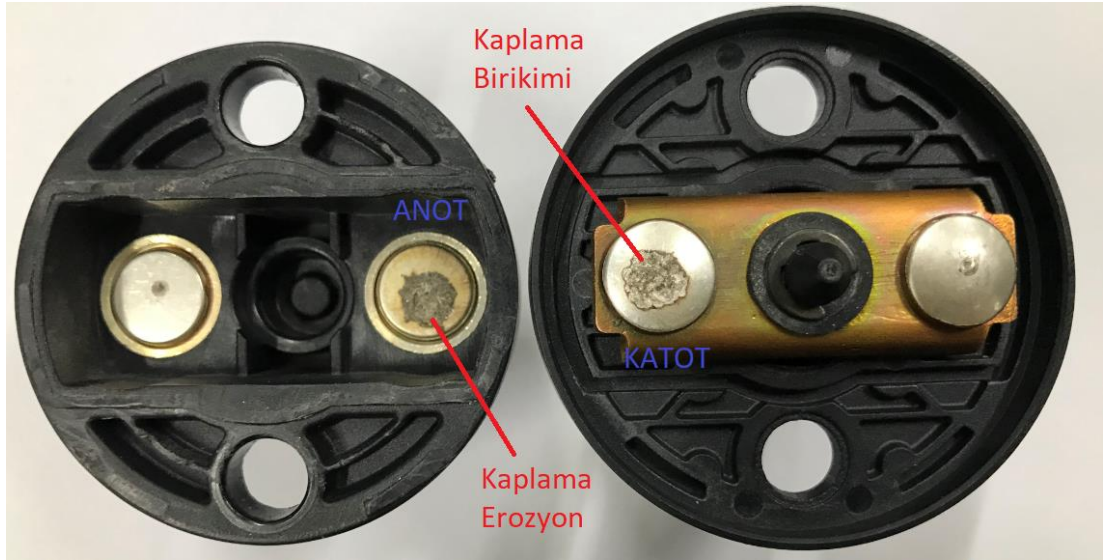


Şekil 6.7: Referans Perçinlere Ait SEM Görüntüleri a) AgSnO₂ b) AgCdO

Şekil 6.7 (a)'da AgSnO₂ kaplama malzemesine ait referans perçin, Şekil 6.6 (b)'de ise AgCdO kaplama malzemesine ait referans perçin SEM görüntüleri gösterilmektedir. Şekilde gösterilen perçinlere hiç bir işlem ve test uygulanmamıştır. Her iki perçin farklı kaplama malzemesine sahip olsalar da, SEM görüntülerinden de anlaşılabilirdiği gibi Ag malzemesi içerisinde diğer elementlerin homojen şekilde dağıldığı görülmektedir. Kaplama yüzeylerinde herhangi bir birikim sonucu oluşmuş tepecik ya da erozyon bağlı çukurlaşma görülmemektedir. Sadece üretim operasyonuna bağlı kılcal çizikler gözlemlenmiştir.

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Testler AgSnO_2 ve AgCdO malzemesinin farklı yüzey temas şekilleri ile gerçekleştirilmiştir. AgSnO_2 malzemesi her iki birleşme yüzeyi şeklinde 20000 çevrimi tamamlamıştır. Termal kamera ile gözlemlenen sıcaklık değerlerinde düz-bombeli birleşme sonucu ortaya çıkan sıcaklık değerlerinin düz-düz birleşmeye oranla daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Günlük ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında düz-bombeli birleşmede oluşan maksimum sıcaklık değeri $72,84^\circ\text{C}$ olur iken, düz-düz temas yüzeyi birleşmesinde oluşan maksimum sıcaklık değeri $154,49^\circ\text{C}$ 'dir. Elde edilen maksimum sıcaklık değerlerinin düz-bombeli birleşme yüzeyi için 7. günde, düz-düz birleşme için 8. günde olduğu gözlemlenmiştir. Test sonrası demonte edilen devre kesicilerin perçin grupları incelendiğinde, düz-düz birleşme yüzeylerinin anot bölümünde, bombeli-düz birleşmeye oranla çok daha fazla erozyona uğradığı tespit edilmiştir. Bombeli-düz birleşmede erozyona uğrayan anot kısmının, katot bölümüne birikim olarak aktırıldığı görülmüştür. Bu durum perçin gruplarının birbirinden ayrılması sırasında anot üzerinden parça kopararak, katot üzerinde birikim yaptığını kanıtlamaktadır. Bu durum Şekil 7.1'de görülmektedir.



Şekil 7.1: Test sonrası AgSnO_2 perçin grupları

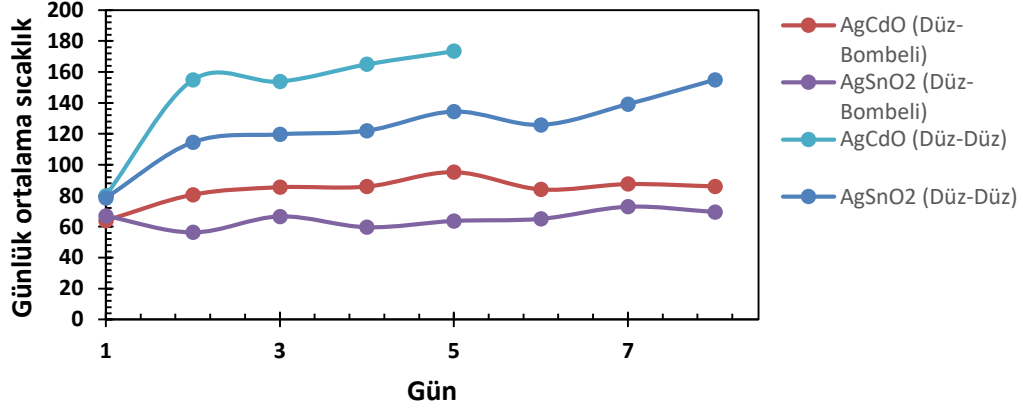
AgCdO malzemesi için her iki birleşme yüzeyinde testler gerçekleştirilmiştir. Termal kamera ile gözlemlenen sıcaklık değerlerinde düz-bombeli birleşme sonucu

ortaya çıkan sıcaklık değerlerinin düz-düz birleşmeye oranla daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Günlük ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında düz-bombeli birleşmede oluşan maksimum sıcaklık değeri 95,27°C olur iken, düz-düz temas yüzeyi birleşmesinde oluşan maksimum sıcaklık değeri 173,39°C'dir. Düz-bombeli birleşme için elde edilen maksimum günlük ortalama sıcaklık değeri 5. günde gerçekleşmiştir. Düz-düz yüzey teması birleşmesi için test olumsuzlukla sonuçlanmıştır. 5. gün kontrolleri gerçekleştirilirken, anot grubu perçinin baskı sırasında katot grubu perçine kaydığı gözlemlenmiştir. Test durdurularak ürün demonte edilmiş ve perçinler incelenmiştir. İnceleme sonucunda temas eden iki perçin grubunun kaplama yüzeylerinin büyük bir deformasyona uğradığı tespit edilmiştir. Kaplama yüzeylerinde oluşan deformasyon sonucunda perçinlerin birleşme dirençleri artarak, üzerinden geçen akıma bağlı yüksek sıcaklık artışları meydana gelmiştir. Perçinlerin birbirinden ayrılması durumunda oluşan ark neticesinde, ani sıcaklık artışlarıyla kaplama malzemesinin ergime sıcaklığına kadar yükselerek temas anında birbirine yapışmasıyla ve ark ani sıcaklık değerinin süreye bağlı azalmasıyla iki perçin grubunun birbirine kaydığı düşünülmektedir. Oluşan yüksek sıcaklık neticesinde, iletim organları etrafındaki plastik gövde elemanlarının eridiği tespit edilmiştir. Deforme olmuş plastik grupları ve ark sonrası oluşan yüksek sıcaklık nedeniyle birbirine kaynayan perçinler Şekil 7,2'de gösterilmektedir.



Şekil 7.2: Test sonrası AgCdO perçinlerinin kaynaması

Aynı elektriksel ve ortam şartlarında gerçekleştirilen iki tür malzemeden üretilmiş iletim perçinlerinin, test süresi boyunca elde edilen günlük ortalama sıcaklık değerleri Şekil 7.3’de gösterilmektedir.



Şekil 7.3: Malzeme ve Temas Yüzeyine Bağlı Test Sonuçları

Grafikten elde edilen veriler doğrultusunda AgSnO₂ malzemesi düz-bombeli birleşme durumunda, istenilen elektrik özellikleri altında en iyi sonucu gösteren perçin grubu olarak gösterilebilir. Yüksek akım ve voltaj değerleri için malzeme özellikleri dışında, yüzey temas geometrisinin de büyük öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı malzeme ve yüzey temas şekilleriyle gerçekleştirilen analiz ve testler birbirini destekler niteliktedir. Yapılan analizlerde düz-düz birleşmenin düz-bombeli birleşmeye göre daha fazla ısı artışına neden olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen yüksek akım ömür testinde ise bu durum analizi doğrular niteliktedir. AgSnO₂ malzemesinin düz-bombeli birleşmesinde analiz sonucunda maksimum 54,4 °C' ye ulaşılmışken, gerçekte yapılan testlerde maksimum sıcaklık değeri günden güne artış göstererek, 6. gün sonunda 72,84 °C olarak ölçülmüştür. Gerçekte yapılan testler ile analiz farklılığı, test cihazına bağlı olan perçin çiftinin oluşan ark nedeniyle kaplama yapısında bozulmalardan kaynaklı, direncinin artması ve bu durumda sıcaklık artışına neden olmasıdır. Test sonuçları incelendiğinde, ortalama sıcaklık değerlerinin zamana bağlı artış gösterdiği görülmektedir.

AgCdO malzemesinin düz-düz temas birleşmesi testinde, oluşan ark sebepli kaplama formunun tamamen bozulduğu tespit edilmiştir. Perçinler üzerinde kaplamanın kalmaması durumunda, perçin ham malzemesi olan bakıra (Cu) kadar inildiği ve ani oluşan ark sebepli bakır metalinin ergime noktasına kadar sıcaklık artışı olarak, alt ve üst perçin gruplarının birbirine kaydığı gözlemlenmiştir.

Kontaklar arası ark oluşumuna bağlı ısı artışlarının minimum seviyelerde tutulabilmesi için, elektrik iletkenliği daha düşük temas malzemeleri kullanılarak farklı malzemeler çalışılabilir. Arka bağlı oluşan kontak yüzeylerindeki deformasyonlar nedeniyle perçin iç dirençlerinde artış meydana gelmektedir. Oluşan direnç artışı, perçinler üzerinde geçen akım şiddetine bağlı olarak sıcaklık artışına neden olmaktadır. Perçinler üzerinde iletimin daha iyi sağlanması için kullanılan kaplama malzemesine katkı maddeleri katılarak, kaplamanın deformasyon olması engellenebilir. Böylelikle akıma bağlı ısı artış miktarında azalma gözlenebilir.

Kontak temas yüzeylerinde farklı geometrilere birleşme sağlanarak perçinlerin birbirine temasında meydana gelen ark oluşumu engellenerek, perçinler arası malzeme taşınımı minimum seviyede tutulabilir. Yapılan çalışmada düz-düz temas yüzeyi birleşmesinin düz-bombeli temas yüzeyi birleşmesine oranla daha fazla deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir. Perçinlerin temas düzlemi hep sabit

tutularak, bombeli-bombeli birleşmenin ark oluşumunda etkisi araştırılabilir. Farklı perçin boyutları ve kaplama kalınlığı üzerinde araştırmalar yapılabilir.

9. KAYNAKLAR

Chen, Z. K., Arai, K. ve Sawa, K., "Influence of oxygen concentration on contact resistance behaviours of Ag and Pd materials in DC breaking arcs.", *EICE Transactions on Electronics*, 79, (1994).

Chen, Z. K. ve Sawa, K., "Effect of Oxide Films and Arc Duration Characteristics on Ag Contact Resistance Behavior.", *IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology Part A*, 18, 409, doi:10.1109/95.390325, (1995).

Jemaa, N. B., Morin, L., Benhenda, S. ve Nedelec, L., "Anodic to cathodic arc transition according to break arc lengthening.", *IEEE transactions on components, packaging, and manufacturing technology*, 21, 599, doi:10.1109/95.740051, (1998).

Jemaa, N. B., Nedelec, L., Benhenda, S. ve Neveu, J., "Anodic and cathodic erosion of Ag, Ag alloys and Ag-MeO contact 3.1 materials in energy range below 10 joules.", *Electrical Contacts, Proceedings of the Annual Holm Conference on Electrical Contacts*, 70, doi:10.1109/holm.1996.557181, (1996).

Leung, C. H. ve Lee, A., "Electric Contact Materials and Their Erosion in Automotive DC Relays.", *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, 14, 101–108, doi:10.1109/33.142887, (1992).

Lin, Z., Fan, S., Liu, M., Liu, S., Li, J. G., Li, J., "Excellent anti-arc erosion performance and corresponding mechanisms of a nickel-belt-reinforced silver-based electrical contact material.", *Journal of Alloys and Compounds*, 788, 163–171, doi:10.1016/j.jallcom.2019.02.085, (2019).

Miyanaga, K., Kayano, Y., Inoue, H. ve Takagi, T., "Arc characteristics on dissymmetric contact pair of Ag based materials at slowly breaking.", *IET Conference Publications*, doi:10.1049/cp.2012.0656, (2012).

Ozerdem, M. S., "Artificial neural network approach to predict the electrical conductivity and density of Ag-Ni binary alloys.", *J. Mater. Process. Technol.*, 208, 470–476, doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.01.016, (2008).

Rehani, B., Joshi, P. ve Khanna, P., "Fabrication of Silver-Graphite Contact Materials Using Silver Nanopowders.", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 19, 64–69, doi:10.1007/s11665-009-9437-3, (2010).

Ren, W., Chen, Y., Cao, S., Cui, L. ve Liang, H., "A new automated test equipment for measuring electrical contact resistance of real size rivets." *Proceedings of the 59th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, HOLM 2013*, doi:10.1109/HOLM.2013.6651396, (2013).

Swingler, J. ve Sumption, A., "Arc erosion of AgSnO₂ electrical contacts at different stages of a break operation.", *Rare Metals*, 29(3), 248, doi:10.1007/s12598-010-0043-1, (2010).

Tromans, G., "Contacts materials performances under break arc in automotive applications.", *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 23(2), 367, doi:10.1002/0470033991.ch13, (2000).

Wintz, J.L. ve Hardy, S., "Reduction of AgSnO₂ contact resistance by changing the brazing method and corresponding improvement of an 18.5kW contactor." *Electrical Contacts, Proceedings of the Annual Holm Conference on Electrical Contacts, 2015*, 6–10, doi:10.1109/HOLM.2014.7031014, (2015).

Wu, C., Yi, D., Chen, J., Chao, Li, J., Liu, H., "Internal oxidation thermodynamics and microstructures of Ag-Y alloy.", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 232–237, doi:10.1016/S1003-6326(07)60082-X, (2007).

Wu, C., Yi, D., Weng, W., Li, S., Zhou, J. ve Zheng, F., "Arc erosion behavior of Ag/Ni electrical contact materials.", *Materials and Design*, 511–519, doi:10.1016/j.matdes.2015.06.142, (2015).

Wu, C., Zhao, Q., Li, N., Wang, H., Yi, D. ve Weng, W., "Influence of fabrication technology on arc erosion of Ag/10SnO₂ electrical contact materials.", *Journal of Alloys and Compounds*, 766, 161–177, doi:10.1016/j.jallcom.2018.06.317, (2018).

Yang, F., Zhao, Q., Xu, C., Zou, Y., Dong, H., Zheng, Y. ve Hu, W., "Unveiling the Switching Riddle of Silver Tetracyanoquinodimethane Towards Novel Planar Single-Crystalline Electrochemical Metallization Memories.", *Advanced Materials*, 28, 7094–7100, doi:10.1002/adma.201600902, (2016).

Yang, X. C., Huang, J., Li, Z. B., Liu, J. Y., Wang, Q. ve Hasegawa, M., "The Preceding Voltage Pulse and Separation Welding Mechanism of Electrical Contacts.", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 846–853, doi:10.1109/TCPMT.2016.2552202, (2016).

Zhang, M., Wang, X., Yang, X., Zou, J. ve Liang, S., "Arc erosion behaviors of AgSnO₂ contact materials prepared with different SnO₂ particle sizes." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26, 783–790, doi:10.1016/S1003-6326(16)64168-7, (2016).

Kubono, T., Mogami, M., "Sticking troubles on AgCdO contacts mounted on relays to make and/or break a dc 30V/10 A resistive circuit", *17th Int. Conf. Elect. Contacts*, 577–583, (1994).

Holm, R., *Electrical contacts theory and application*, 4th ed, (2002).

Bizjak, M., "Contact materials for low-voltage power switching devices", *MIDEM*, 40, 93-100, (2010) .

Krätzschmar, A., Herbst, R. T., Mützel, R., Niederreuther, P., Braumann, Q., "Basic investigations on the behavior of advanced Ag/SnO₂ materials for contactor applications", *Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Charleston, SC, USA, 7-11, (2010).

Toshiyuki, O., Koji, H., Toru K., *Production of fine wire for producing Ag-tin oxide base electrical contact*, (1996).

10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Kalkanlı

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli / 15.11.1993

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi / Teknoloji
Fakültesi / Otomotiv Mühendisliği
Bölümü (2013-2017)

Y. Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi / Fen Bilimleri
Enstitüsü / Otomotiv Mühendisliği Ana
Bilim Dalı (2017-2021)

Elektronik posta : ahmetkalkanli20@gmail.com

İletişim Adresi : Kuruçeşme Mah. Metin Göktepe Cad.
No:19 D:7 Buca / İZMİR

Cep Telefonu : 0 537 448 09 20