T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UÇAK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BONDING JUMPER ÜRETİMİ VE ANALİZİ

Hazırlayan
Faruk KOCA

Danışman
Doç. Dr. Veysel ERTURUN

Yüksek Lisans Tezi

Ekim 2024
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UÇAK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BONDING JUMPER ÜRETİMİ VE ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Faruk KOCA

Danışman
Doç. Dr. Veysel ERTURUN

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2023- 13313 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ekim 2024
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Faruk KOCA

“Bonding Jumper Üretimi ve Analizi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Faruk KOCA	Doç. Dr. Veysel ERTURUN

Uçak Mühendisliği ABD Başkanı

Doç. Dr. Murat AYDIN

TEŞEKKÜR

Bana lisansüstü eğitimim ve çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Veysel ERTURUN'a, kendi doktora çalışmalarının arasında bana zaman ayırarak yardımını esirgemeyen değerli yol arkadaşım Sayın Burak GÜLER'e, kaplama konusunda çok kıymetli destekleri olan Sayın Kemal Mert SONGÜR'e, desteklerini esirgemeyen ekip arkadaşım Holart Mimarlık Kurucu Başkanı Sayın Refik Buğrahan ER'e, çalışmaya rehberlik eden kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Murat AYDIN'a, yöntem kısmında çok kıymetli destekleri olan Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden kıymetli hocalarım Sayın Prof. Dr. Temel VAROL'a ve Sayın Arş. Gör. Serhatcan Berk AKÇAY'a, yerli üretim kısmında çok kıymetli destekleri olan TUSAŞ Hangar Kampüs İnovasyon Programı kapsamında başta program sorumluları Sayın Erdem ÇORAPÇIOĞLU, Sayın Onur JANE, Sayın Asım Aspur GÖKSEL, mentorümüz Sayın Ozan EMİR olmak üzere tüm TUSAŞ ailesine, yerli üretimde tel tedariği sağlayan başta Megametal Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Cüneyt Ali TURGUT, Megametal Yönetim Kurulu Üyesi Sayın İhsan Ahmet TURGUT, Megametal Yurtiçi Satış Yöneticisi Sayın Kaan ÇANKAYA, Mukel Mimarlık Satın Alma Müdürü Sayın Ertunç ÇAVUŞ, Yazaki Turkey Üretim ve Tasarım Mühendisi Sayın Cihan KARATEPE olmak üzere tüm Megametal ailesine, yerli üretimde örgü işlem desteği sağlayan başta Megeteknik Genel Müdürü Sayın Onur DEMİR ve Megeteknik Arge Müdürü Sayın Berk YERALTI olmak üzere tüm Megeteknik ailesine, ithal numune tedariğinde destek olan başta THY Teknik Genel Müdürü Sayın Mikail AKBULUT, Sayın Mustafa BÜYÜKBOYACI, Sayın Süleyman BEŞLİ olmak üzere tüm THY Teknik ailesine; manevi destek olan Sayın Nadiriye ŞAHİN'e ve bu tez çalışmasını FYL-2020-10093 kodlu proje ile destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi'ne teşekkür ederim.

Faruk KOCA

Ekim 2024, KAYSERİ

BONDING JUMPER ÜRETİMİ VE ANALİZİ

Faruk KOCA

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2024
Danışman: Doç. Dr. Veysel ERTURUN

ÖZET

Hava aracı parçaları arasında elektrik iletimini sağlayarak hava aracını yıldırımdan koruyan yapılara "bonding jumper" denir. Bu yapılar, yüzlerce telin bir araya getirilmesiyle üretilmektedir. Bonding jumper'ın hava aracında kullanılabilmesi için EN-4199 standardına uygun olması gerekmektedir. Bu çalışmada bonding jumperın ülkemizde yerli imkanlarla üretilmesi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda tedarik edilen bakır teller önce kalay ile kaplanmış ve sonrasında örülerek bonding jumper numuneleri üretilmiştir. Aynı zamanda THY Teknik A.Ş.'den A320 dar gövde yolcu uçağında kullanılan ithal bonding jumperlar tedarik edilmiştir. Bu çalışmada üretilen yerli bonding jumper numuneleri ile ithal bonding jumperlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada kullanmak için hem ithal hem de yerli numunelere FESEM görüntüleme, çekme testi ve elektrik direnç testleri yapılmıştır. Test sonuçları, yerli numunelerin ithal numunelere göre birbirine yakın kalay kaplama oranı, çekme dayanımı ve elektrik direnci değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

Ayrıca uluslararası alanda önde gelen firmaların bonding jumper katalogları incelenerek bu kataloglardaki değerler ile yerli numuneler karşılaştırılmıştır. İncelenen 2 firmadan birinin bonding jumper çekme dayanımı değerinin yerli numunelerin değerleriyle aynı olduğu, diğer firmanın ise daha düşük bir değere sahip olduğu görülmüştür. İncelenen 4 firmadan birinin bonding jumper elektrik direnç değerinin yerli numunelerin değerleriyle aynı değerde olduğu, birinin daha düşük bir değere sahip olduğu, ikisinin daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre bonding jumperın EN-4199 havacılık standardına uygun bir şekilde Türkiye'de üretilebileceği kanıtlanmıştır ve analizlerinin yapılabileceği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bonding jumper, yerli üretim, yıldırımdan koruma, akımsız kaplama, kalay kaplı bakır tel

BONDING JUMPER PRODUCTION AND ANALYSIS

Faruk KOCA

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, October 2024
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Veysel ERTURUN

ABSTRACT

The structures that protect the aircraft from lightning by providing electrical conduction between aircraft parts are called “bonding jumpers”. These structures are produced by combining hundreds of wires together. In order for the bonding jumper to be used in the aircraft, it must comply with the EN-4199 standard. In this study, the production of bonding jumper in our country with domestic facilities was evaluated. In this context, the copper wires supplied were first coated with tin and then knitted to produce bonding jumper samples. At the same time, imported bonding jumpers used in A320 narrow body passenger aircraft were procured from THY Teknik A.Ş. In this study, the domestic bonding jumper samples and imported bonding jumpers were compared. FESEM imaging, tensile test and electrical resistance tests were performed on both imported and domestic samples for comparison. The test results show that the domestic samples have similar tin coating ratio, tensile strength and electrical resistance values compared to the imported samples.

In addition, the bonding jumper catalogs of leading international companies were examined and the values in these catalogs were compared with the domestic samples. It was observed that the bonding jumper tensile strength value of one of the 2 companies examined was the same as the values of the domestic samples, while the other company had a lower value. It was seen that one of the 4 companies examined had the same value of bonding jumper electrical resistance value with the values of domestic samples, one of them had a lower value, and two of them had a higher value. According to these results, it has been proved that the bonding jumper can be produced in Turkey in accordance with the EN-4199 aviation standard and it is emphasized that its analysis can be carried out.

Keywords: Bonding jumper, domestic production, lightning protection, electroless plating, tin-plated copper wire

İÇİNDEKİLER

BONDING JUMPER ÜRETİMİ VE ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1. Bonding Jumper 2
1.2. Günümüzdeki Durum 6
1.3. Bonding Jumper Standardı 6
1.3.1. Sinüzoidal ve Rastgele Titreşim Testi 7
1.3.2. Mekanik Yorgunluk/Yorulma Testi 9
1.3.3. Tuz Buharı Testi 10
1.3.4. Sıcaklık Dayanıklılık Testi 11
1.3.5. Sıcaklık ve Akım Döngüsü ile Terminal Yaşlanması Testi 11
1.3.6. Voltaj Düşüş Testi 12
1.3.7. Çekme Testi 13
1.3.7. Havacılık Yakıtı Direnç Testi 14
1.4. Ülkemizde Bonding jumper Üretme Kabiliyeti 15

2. BÖLÜM
YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem 16
2.2. Kullanılan Teller 16

2.3. Akımsız Kalay Kaplama 19
2.4. Halat Tipi (Rope) Bükülü Teller 19
2.5. Tellerin Örülmesi 20
2.6. Numuneler 21
2.7. Çekme Testi 23
2.8. Numune Kesme 25
2.9. Bakalit/Kalıba Alma 26
2.10. Parlatma 28
2.11. FESEM Analizi 29
2.12 Elektrik Direnç Testi 30

3. BÖLÜM
SONUÇ VE TARTIŞMA

3.1. FESEM Sonuçları 31
3.2. EDX/EDS Sonuçları 35
3.3. SEM-Mapping Sonuçları 44
3.4. Çekme Testi Sonuçları 47
3.5. Elektrik Direnç Testi Sonuçları 55
3.2.Tartışma ve Öneriler 61
KAYNAKÇA 64
ÖZGEÇMİŞ 68

KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
EDS/EDX	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
FESEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Bonding jumper ve bağlantı elemanlarının malzeme uyumu 5
Tablo 2.1. Kalay kaplama solüsyonunda kullanılan malzemeler 19
Tablo 2.2. Numunelerin özellikleri 21
Tablo 3.1. 1 nolu numunenin element dağılım oranları 36
Tablo 3.2. 2 nolu numunenin element dağılım oranları 38
Tablo 3.3. 3 nolu numunenin element dağılım oranları 40
Tablo 3.4. 4 nolu numunenin element dağılım oranları 42
Tablo 3.5. 4 numunenin element dağılım oranlarının karşılaştırması 43
Tablo 3.6. Numunelerin elementel faz analizi karşılaştırması 47
Tablo 3.7. Numunelerin çekme testi sonuçlarının karşılaştırması 52
Tablo 3.8. Numunelerin elektrik direnci karşılaştırması 58
Tablo 3.9. Cabletec bonding jumper özellikleri 59
Tablo 3.10. Glenair bonding jumper özellikleri 60
Tablo 3.11. R&B Electronics bonding jumper özellikleri 61
Tablo 3.12. International Wire Group bonding jumper özellikleri 61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bonding jumper teknik resmi 2
Şekil 1.2. Düz (halat) örgü tip bonding jumper (A) çapraz örgü tip bonding jumper (B) 3
Şekil 1.3. Bonding jumper ve bağlantı elemanları 5
Şekil 1.4. Bonding jumper terminal türleri 5
Şekil 1.5. Sinüzoidal test sinyali 7
Şekil 1.6. Rastgele test sinyali 8
Şekil 1.7. Mekanik yorgunluk test düzeneği 9
Şekil 1.8. Tuz buharı test örneği 10
Şekil 1.9. Sıcaklık dayanıklılık testi örneği 11
Şekil 1.10. Voltaj düşüş testi örneği 13
Şekil 1.11. Gerilme-gerinim eğrisi örneği 14
Şekil 2.1. 0,20 mm çapındaki bakır teller 17
Şekil 2.2. Tel çekme işlemi 18
Şekil 2.3. 0,12 mm çapındaki bakır teller 18
Şekil 2.4. 0,20 mm çapındaki bakır teller 20
Şekil 2.5. Örgü makinesi 20
Şekil 2.6. Örülmüş bonding jumper yapısı 21
Şekil 2.7. 4 farklı numune görüntüsü 22
Şekil 2.8. Shimadzu marka AG-X 50kN model test cihazı 24
Şekil 2.9. Numune çekme testi 25
Şekil 2.10. Numune kesme işlemi 26
Şekil 2.11. Struers LaboPress 1 model bakalit alma cihazı 27
Şekil 2.12. Bakalite alınmış numuneler 28
Şekil 2.13. Numune parlatma işlemi 29
Şekil 2.14. Megger DLRO10HD model DC Miliohmmetre 30
Şekil 3.1. 1 nolu numunenin 250X FESEM görüntüsü 32
Şekil 3.2. 2 nolu numunenin 250X FESEM görüntüsü 33
Şekil 3.3. 3 nolu numunenin 250X FESEM görüntüsü 34
Şekil 3.4. 4 nolu numunenin 250X FESEM görüntüsü 35

Şekil 3.5. 1 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü 36
Şekil 3.6. 1 nolu numunenin element dağılım grafiği 37
Şekil 3.7. 2 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü 38
Şekil 3.8. 2 nolu numunenin element dağılım grafiği 39
Şekil 3.9. 3 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü 40
Şekil 3.10. 3 nolu numunenin element dağılım grafiği 41
Şekil 3.11. 4 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü 42
Şekil 3.12. 4 nolu numunenin element dağılım grafiği 43
Şekil 3.13. 1 nolu numunenin SEM-Mapping görüntüsü 44
Şekil 3.14. 2 nolu numunenin SEM-Mapping görüntüsü 45
Şekil 3.15. 3 nolu numunenin SEM-Mapping görüntüsü 46
Şekil 3.16. 4 nolu numunenin SEM-Mapping görüntüsü 46
Şekil 3.17. 1 nolu numunenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği 48
Şekil 3.18. 1 nolu numunenin elastik bölge gerilme-birim şekil değiştirme grafiği 48
Şekil 3.19. 2 nolu numunenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği 49
Şekil 3.20. 2 nolu numunenin elastik bölge gerilme-birim şekil değiştirme grafiği 49
Şekil 3.21. 3 nolu numunenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği 50
Şekil 3.22. 3 nolu numunenin elastik bölge gerilme-birim şekil değiştirme grafiği 51
Şekil 3.23. 4 nolu numunenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği 51
Şekil 3.24. 4 nolu numunenin elastik bölge gerilme-birim şekil değiştirme grafiği 52
Şekil 3.25. 1 nolu numunenin elektrik direnç testi 55
Şekil 3.26. 2 nolu numunenin elektrik direnç testi 56
Şekil 3.27. 3 nolu numunenin elektrik direnç testi 57
Şekil 3.28. 4 nolu numunenin elektrik direnç testi 58

GİRİŞ

Hava araçlarını yıldırımdan koruyan yapılara bonding jumper denilmektedir. Bu yapılar günümüzde yurtdışından tedarik edilmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında şimdiye kadar Türkiye'de üretilmemiş olan bu yapıların tamamen yerli imkanlarla üretilmesi amaçlanmaktadır. Ürünün havacılık standartlarındaki testlerinin de tamamen yerli imkanlarla yapılabileceği vurgulanmaktadır.

Hava aracının neredeyse her parçasında kullanıldığı için bir dar gövde yolcu uçağında yaklaşık 6000 adet bonding jumper mevcuttur. İthal edilen bu ürünün birim fiyatı ortalama 30 dolardır. Ürünün kullanıldığı çevre şartlarından dolayı ortalama 12 ayda bir değiştirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde bu ürünü üretebilecek ve havacılık standardındaki testlerini yapabilecek kurumlar mevcuttur. Bu kurumların teşvik edilip Türkiye'nin yerli ve milli gücü artırılmalıdır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Bonding Jumper

Uçak endüstrisindeki elektrik bağlantıları ve devrelerin birbiriyle etkileşimi son derece önemlidir. Bu noktada 'bonding jumper' adı verilen bağlantı elemanları devreler arasındaki elektriksel bütünlüğü sağlamak ve elektriksel potansiyel sorunlarını önlemek amacıyla tasarlanmıştır. Bonding jumperlar sayesinde uçağın içinde yer alan sayısız farklı elektrik aksamı ve alt sistemlerinin koordineli çalışması sağlanmakta, yıldırım çarpması sırasında oluşabilecek arıza riskleri en aza indirgenebilmektedir. Havacılık gibi yüksek güvenlik gerektiren bir alanda elektrik bağlantılarının sorunsuz işleyişi hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda bonding jumperlar uçak mühendisliği açısından oldukça kritik ve etkili bağlantı elemanları olarak tasarlanmışlardır [1].

Şekil 1.1'de temel bir bonding jumperın teknik çizimi gösterilmiştir.

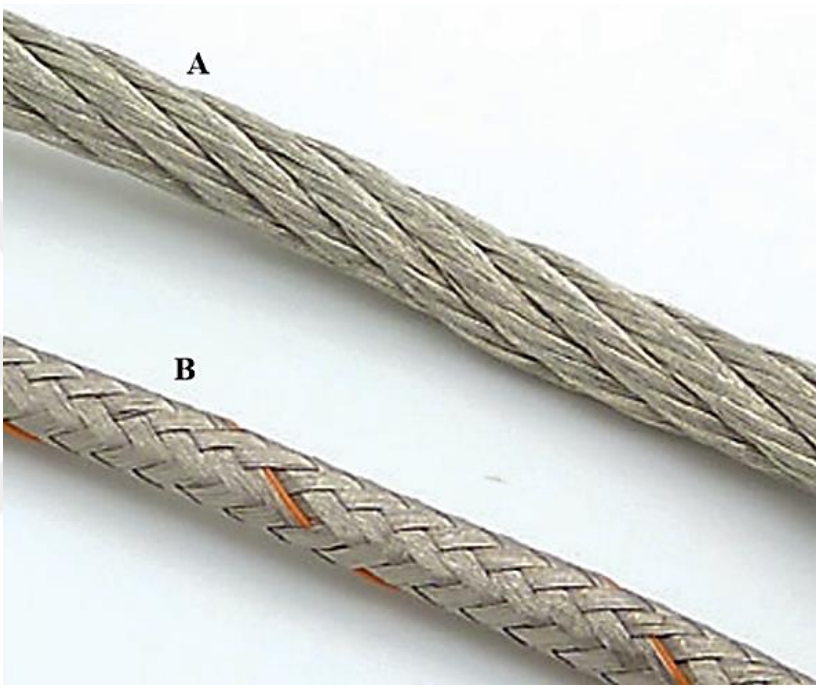


Şekil 1.1. Bonding jumper teknik resmi [2]

Genellikle ince elektrik tellerinden örülerek oluşturulan bu bağlantı elemanları, örgü desenine göre farklı tiplerde üretilebilmektedir. Örneğin düz (halat tip) veya çapraz örgülerle flat, round veya strip biçiminde imal edilebilen bonding jumperlar; uçaktaki tüm

elektrik devrelerinin birbirine sürekli iletkenlik sağlamaktadır. Bu sayede uçak sisteminin elektriksel bütünlüğü korunmakta, herhangi bir kopma veya arıza anında etkilenen bölgenin tecrit edilmesi amaçlanmaktadır. Özellikle yüksek voltaj uygulamalarında bu tür bağlantı parçalarının kullanımı önem taşımaktadır [3].

Şekil 1.2'de düz ve çapraz örgü tipte bonding jumper gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Düz (halat) örgü tip bonding jumper (A) çapraz örgü tip bonding jumper (B) [2]

Bonding jumperların üretiminde kullanılan ince elektrik iletken malzemeleri ise yapının işlevine uygun olarak seçilmektedir. Bunlar genellikle bakır gibi iyi iletken malzemelerden imal edilmektedir.

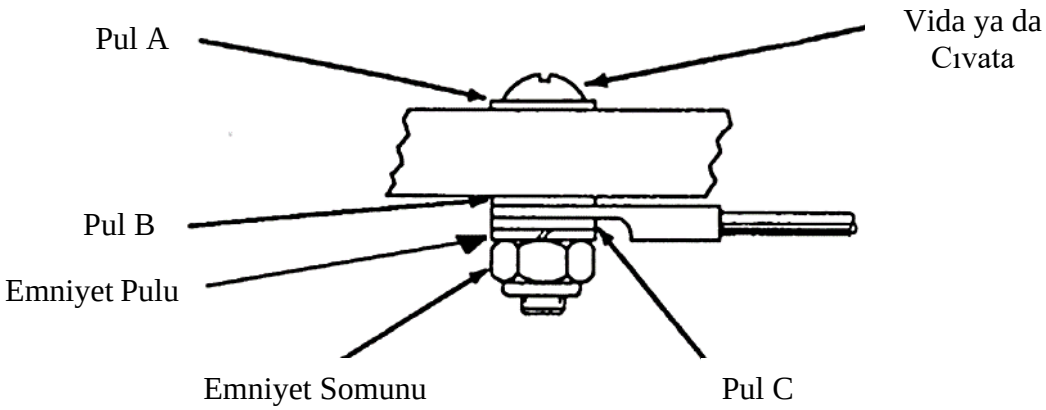
Havacılık endüstrisinde kullanılan hava araçları, oldukça karmaşık elektrik sistemlerine sahiptir. Aynı zamanda yıldırım gibi elektrostatik boşalmalara maruz kalma riski taşıyan kritik sistemleri barındırmaktadırlar. Bu durum elektriksel arızaları ve potansiyel tehlike oluşturabilecek durumları tetikleyebilmektedir. Risklerin azaltılması amacıyla kullanılan önemli bileşenlerden biri de bonding jumper yapılarıdır. Bu elemanlar, güvenlik açısından önem arz eden elektriksel bağlantıları sağlarken, elektrostatik boşalmalar kaynaklı riskleri de en aza indirme görevini üstlenmektedirler. Böylece uçuş emniyeti artırılmaktadır. Hızlı uçuş esnasında sürtünme gibi aviyonik etkiler sebebiyle hava

araçları üzerinde statik elektrik birikimi meydana gelmektedir. Bu birikim aviyonik sistemler, seyrüsefer, iletişim ve navigasyon cihazlarında parazit oluşturmaktadır. Bonding jumperlar sayesinde statik elektrik atmosfere boşaltılmak üzere statik boşalma püsküllerıyle hava aracından uzaklaştırılmaktadır. Böylece aviyonik sistemler parazitten korunmuş olmaktadır [4].

Havacılıkta kullanılan yakıt tankları ve yakın çevrelerinde statik elektrik ile yıldırım kaynaklı olayların önlenmesi, bonding jumper yapılarının üstlendiği görevlerden birini oluşturmaktadır. 17 Temmuz 1996 tarihinde meydana gelen bir olay incelendiğinde, TWA 800 sefer sayılı bir kazada uçağın yakıt tankında meydana gelen patlamanın sebebinin statik elektrik olabileceği ileri sürülmüştür. Bu kazada ne yolcu ve mürettebatın kurtulanı olmuştur. Kazadan sonra yapılan uzun soluklu araştırmalarda, yakıt tankı içerisinde kullanılan bonding jumper sistemlerinin kontrolü ve kullanımına daha fazla dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Böylece gelecekte benzer olayların önlenmesi hedeflenmiştir [5].

Bonding jumper yapılarının bakım ve değişim süreçleri, yetkili havacılık bakım teknisyenleri tarafından yürütülmektedir. Isı, kimyasal etmenler gibi çevresel faktörlere bağlı olarak bonding jumperlarda zamanla hasarlar meydana gelebilmekte, bu durumlar havacılık bakım belgelerinde tanımlanan tolerans sınırları dâhilinde değerlendirilmektedir. Bonding jumper ile uçak gövdesi arasındaki elektriksel direnç seviyesinin düşük tutulması emniyet açısından kritik önem taşımaktadır. Bakım sırasında değiştirilen Bonding jumper parçaları için, yetkili teknisyenler tarafından Bondingmetre ya da Miliohmmetre gibi ölçüm cihazları kullanılarak, gövde ile arasındaki direnç değerinin belirtilen sınırlar içinde olduğuna dair kontroller yapılmaktadır. Böylelikle emniyetli uçuş şartları sağlanmaktadır [6].

Şekil 1.3'te bonding jumper, bağlantı elemanları ve hava aracı gövdesinin çizimi gösterilmiştir. Tablo 1.1'de ise şekil 1.3'te belirtilen yapıların arasındaki elektrik potansiyel farkını en aza indirgemek için kullanılacak malzemelerin uyumuna dikkat edildiği gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Bonding jumper ve bağlantı elemanları [7]

Tablo 1.1. Bonding jumper ve bağlantı elemanlarının malzeme uyumu [7]

Kalay Kaplı Bakır Terminal ve Jumper					
Hava Aracı Yapısı	**Bağlantı Elemanı (Vida ya da Cıvata)**	**Emniyet Somunu**	**Pul A**	**Pul B**	**Pul C**
Alüminyum Alaşımı	Kadmiyum Kaplı Çelik	Kadmiyum Kaplı Çelik	Kadmiyum Kaplı Çelik	Alüminyum Alaşımı	Kadmiyum Kaplı Çelik
Magnezyum Alaşım	-	-	-	-	-
Kadmiyum Kaplı Çelik	Kadmiyum Kaplı Çelik	Kadmiyum Kaplı Çelik	Kadmiyum Kaplı Çelik	-	Kadmiyum Kaplı Çelik
Paslanmaz Çelik	Paslanmaz Çelik ya da Kadmiyum Kaplı Çelik	Kadmiyum Kaplı Çelik	Paslanmaz Çelik	-	Kadmiyum Kaplı Çelik

Kullanılacak alana ve bağlantı şekline göre terminal şekli değişebilmektedir. Şekil 1.4'te farklı terminal şekilleri gösterilmiştir.



Yüzük Çatal Yalıtımlı Baskılı Hızlı Bağlantı

Şekil 1.4. Bonding jumper terminal türleri [8]

1.2. Günümüzdeki Durum

Günümüze kadar bonding jumper Türkiye'de üretilmemiştir. Bu sebeple yurtdışından tedarik edilmektedir. İthal bonding jumperlar farklı malzeme, çap ve boyda olmaktadır ve ortalama 30 dolar birim ücreti mevcuttur. Bir dar gövde yolcu uçağında ortalama 6000 adet bonding jumper mevcuttur [9, 10].

Savunma sanayi kuruluşları üretim yaptıkları hava, kara, deniz ve uzay platfomlarında bonding jumper kullanılmaktadır [11]. Bu kuruluşlarda kullanılan bonding jumper ürünleri yurtdışından tedarik edilmektedir. Ülkemizde 60 adet Part 145 onaylı hava aracı kuruluşları mevcuttur [12]. Bu kuruluşlarda kullanılan bonding jumper ürünleri yurtdışından tedarik edilmektedir. Ülkemizde aynı zamanda havayolu şirketleri Airbus ve Boeing kuruluşları başta olmak üzere satın aldıkları hava araçlarında yurtdışından tedarik edilen bonding jumper ürünleri kullanılmaktadır. Aynı zamanda Part 145 onaylı hava aracı kuruluşları bakım yaptıkları hava araçlarında değiştirdikleri bonding jumper ürünleri yine yurtdışından tedarik edilmektedir.

1.3. Bonding Jumper Standardı

Havacılıkta kullanılan bonding jumper ürünleri EN-4199 standartlarına tabidir. Bu standarda göre Bonding Jumper 8 adet teste tabi tutulur. Bu testler şunlardır [2, 11]:

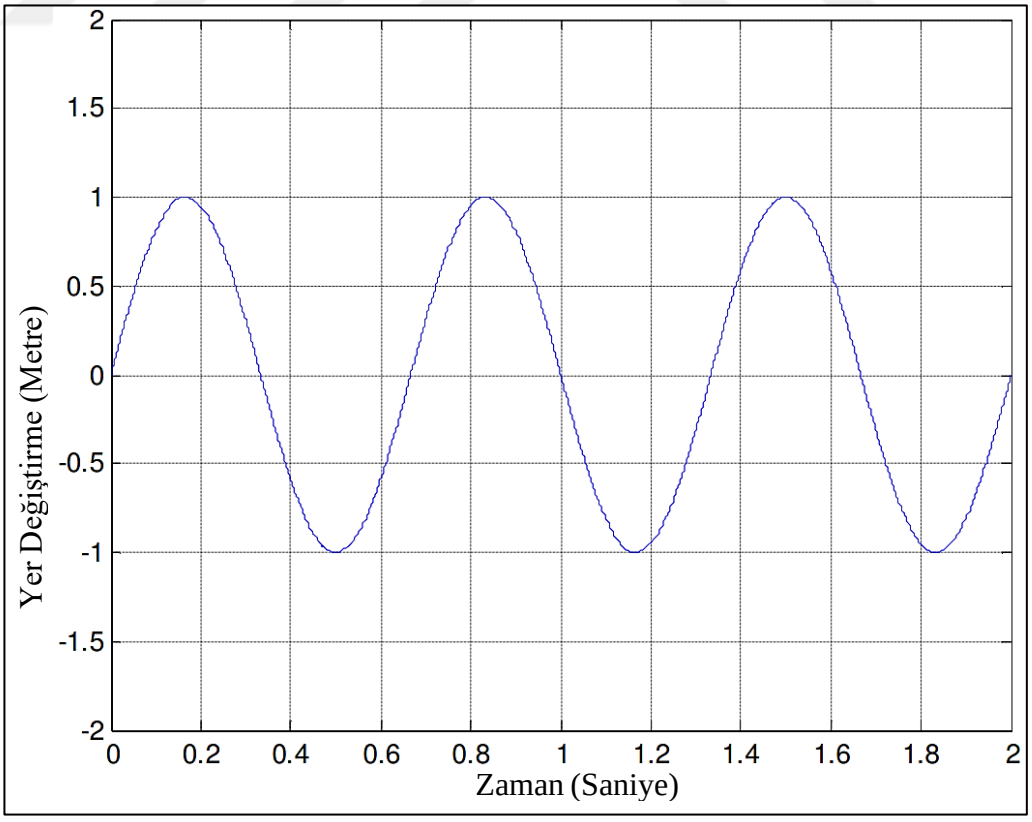
- Sinüzoidal ve Rastgele Titreşim (Sinusoidal and Random Vibration)
- Mekanik Yorgunluk/Yorulma (Mechanical Fatigue)
- Tuz Buharı (Salt Mist)
- Sıcaklığa Dayanıklılık (Temperature Endurance)
- Sıcaklık ve Akım Döngüsü Ile Terminal Yaşlanması (Terminal Ageing by Temperature and Current Cycling)
- Voltaj Düşüş (Voltage Drop)
- Çekme Dayanımı (Tensile Strength)
- Havacılık Yakıtı Direnci (Aviation Fuel Resistance)

1.3.1. Sinüzoidal ve Rastgele Titreşim Testi

Sinüzoidal titreşim testi, bir ürünün belirli şartlar altında yer değiştirme-salınım hareketlerine karşı dayanıklılığını test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu testte ürün, belirli bir frekans aralığında ve belirli bir ivme değerinde sinüzoidal şeklinde titreşime maruz bırakılır. Genellikle bu testler ürünün maruz kalacağı gerçek kullanım koşullarında oluşabilecek maksimum titreşim şartlarının üzerinde yapılır [13].

Test sırasında ürünün farklı eksenler boyunca titreşim frekansı ve ivmesi artırılarak arttırılır. Ürün bu şartlar altında hasar görüp görmediği, parçalarının gevşeyip gevşemediği kontrol edilir. Böylece ürünün belirli frekans ve ivme değerlerine karşı dayanım sınırı anlaşılmış olur. Test sonuçlarına göre ürünün mukavemeti artırılıp artırılamayacağına ve kullanım alanının genişletip genişletilemeyeceğine karar verilebilir [14].

Şekil 1.5'te sinüzoidal test sinyali verilmiştir ve bu testte sinyalin sürekliliğinin önemli olduğu görülmektedir [15].

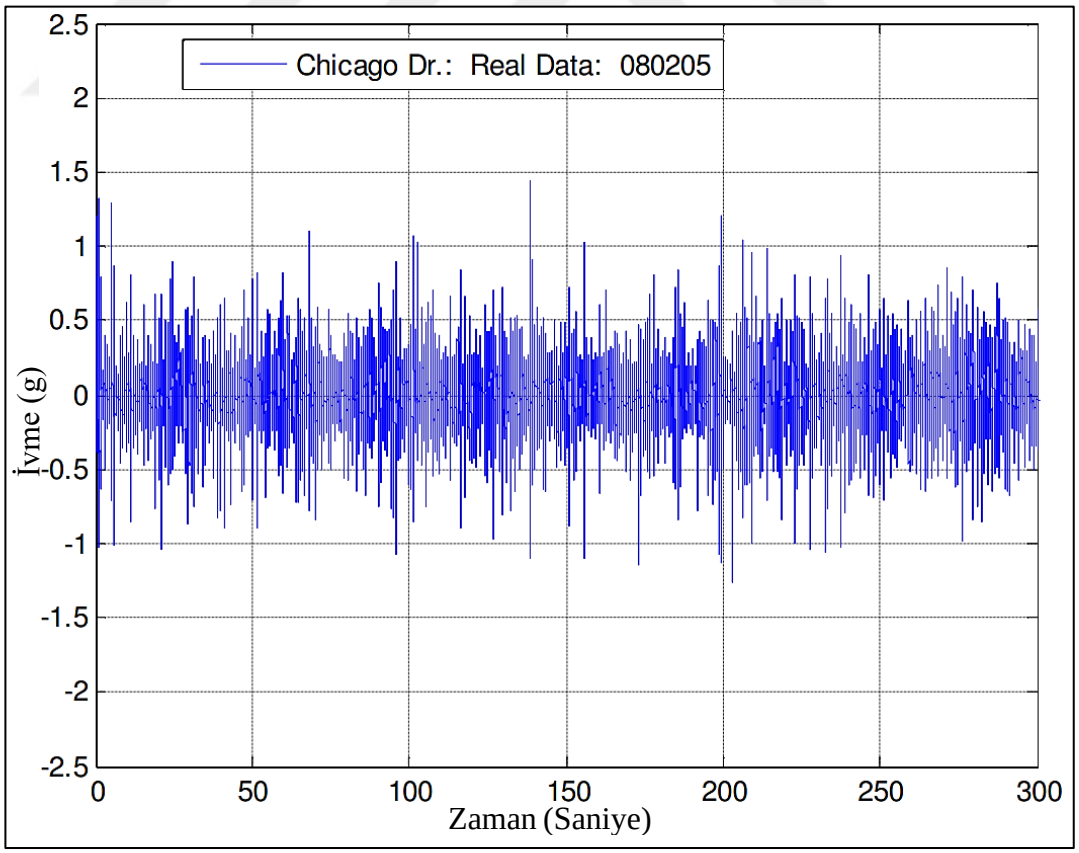


Şekil 1.5. Sinüzoidal test sinyali [15]

Random (rastgele) titreşim testi, bir ürünün belirli zaman aralığında rasgele dağıtılmış frekans ve şiddette meydana gelen titreşimlere karşı dayanıklılığını ölçmek için kullanılan bir test yöntemidir. Rastgele titreşim testinde, ürünün maruz kalacağı gerçek hayattaki titreşim şartlarını daha iyi yansıtması için titreşim frekansı, ivmesi ve şiddeti rastgele değişkenlik gösterir. Farklı eksenler boyunca ürün sabit aralıklarla rasgele belirlenen parametre değerlerine göre sallanır [13].

Test süresince ürünün farklı noktalarından gelen geri besleme sensörleri sayesinde o anki titreşim koşulları ölçülür ve kaydedilir. Böylece ürün nasıl bir titreşim deneyiminden geçtiğine dair veriler elde edilir. Test sonunda ürünün rastgele titreşime dayanıklılık sınırı ve oluşabilecek hasarlar belirlenmiş olur. Ürünün fiziksel dayanımının gerçek kullanım koşullarını daha iyi yansıtan rastgele test yöntemi yaygın olarak tercih edilir [16].

Şekil 1.6'da rastgele test sinyali verilmiştir ve bu testte anlık sinyal verilerinin önemli olduğu görülmektedir [15].



Şekil 1.6. Rastgele test sinyali [15]

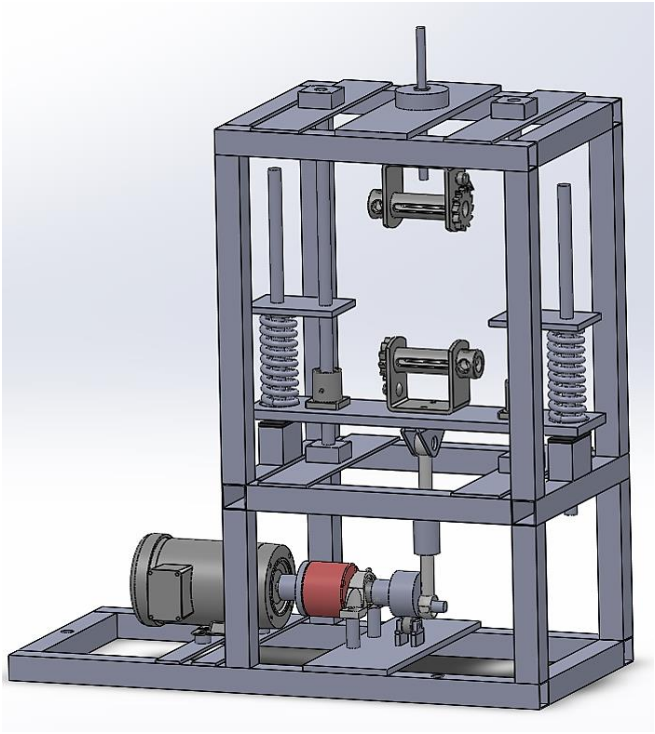
1.3.2. Mekanik Yorgunluk/Yorulma Testi

Mekanik yorgunluk testi, bir malzemenin belirli sayıda yükleme-boşaltma döngüsüne maruz bırakılarak yorgunluk dayanımının belirlendiği bir test yöntemidir. Bu testte malzemenin üzerine bir yük uygulanarak belirli sayıda gerilme-gerilme kaybı döngüsü oluşturulur. Malzemeye uygulanan gerilme seviyesi o malzemenin kırılma dayanımından daha düşük tutulur. Malzemenin döngüsel yüklemelere karşı verdiği tepkiler incelenir [17].

Test süresince malzemenin istenmeyen davranışlar gösterip göstermediği, mikro çatlakların oluşup oluşmadığı, plastik veya elastik deformasyon geçirip geçirmediği kontrol edilir. Belirli döngü sayısında malzemenin bozulmaya başlaması o malzemenin yorgunluk dayanımı olarak kabul edilir. Test sonuçları ile malzemenin tasarım sürecindeki dayanım özellikleri hakkında bilgi elde edilir [18].

EN 4199-001 standardına göre bir bonding jumper numunesine 250.000 döngü ile 1.000.000 döngü arasında mekanik yorgunluk testi yapılmaktadır [19].

Şekil 1.7'de mekanik yorgunluk test düzeneği örneği verilmiştir [20].



Şekil 1.7. Mekanik yorgunluk test düzeneği [20]

1.3.3. Tuz Buharı Testi

Tuz buharı (salt mist) testi, bir ürünün tuzlu atmosfere karşı korozyon direncini belirlemek için kullanılan bir test yöntemidir. Test kapsamında ürün, tuz içeren bir suda ultrasonik dalgalar yardımıyla ince tuz parçacıkları halinde püskürtülen bir ortama maruz bırakılır. Bu sayede gerçek yaşam koşullarına yakın bir tuzlu/korozif ortam oluşturulur [21].

Test süresince ürün belirli sürelerle bu ortama bırakılır. Ardından incelenerek herhangi bir korozyon belirtisi, paslanma, cilt hasarı olup olmadığı kontrol edilir. Genellikle deniz kıyısında veya yüksek tuz oranına sahip bölgelerde kullanılacak ürünlerin korozyon dayanımları bu test ile değerlendirilir. Test sonuçlarına göre ürünün korozif ortamlara uygunluğu anlaşılmış olur. Test, ürünün gerçek kullanım koşullarına en yakın tuzluluk ortamını simüle ederek korozyon direncini güvenilir biçimde tahmin etmemizi sağlar [22].

Bonding jumper, EN 4199 standardına göre 500 saat tuz buharı testine maruz bırakılır [19].

Şekil 1.8'de bir tuz buharı test örneği gösterilmektedir [23].



Şekil 1.8. Tuz buharı test örneği [23]

1.3.4. Sıcaklık Dayanıklılık Testi

Sıcaklık Dayanıklılık Testi ya da Termal Dayanıklılık Testi, bir ürünün belirli sıcaklık aralıklarında kalma kabiliyetini ve performansını etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla yapılan bir testtir. Test kapsamında ürün, vakumlu ortamda gerçek kullanım koşullarına yakın sıcaklık aralıklarında belirli sürelerle bekletilir. Genelde üst ve alt sıcaklık limitleri arasında farklı zaman aralıklarında gidip gelen ısı değişimlerine maruz bırakılır [24].

Test sırasında ürünün malzeme özelliklerinde, mekanik dayanımında, elektriksel performansında herhangi bir değişiklik olup olmadığı kontrol edilir. Ayrıca ürünün çalışma sıcaklığında uzun süre kararlılığı gözlemlenir. Test sonuçlarıyla ürünün farklı sıcaklık değişimlerine uyarlığı, emniyet sınırları ve kullanım alanı hakkında bilgiler elde edilmiş olur. Test ürünün sıcak ortamlarda dayanımı hakkında fikir verir [25].

EN 4199 standardına göre yapılan sıcaklılık dayanıklılık testinde ASTMB33 standardına uygun üretilmiş kalay kaplı bakır tellerden oluşan bir bonding jumper -65°C ile 150°C arasında dayanıklı olması gerekmektedir [19].

Şekil 1.9'da sıcaklık dayanıklılık testi örneği mevcuttur [26].



Şekil 1.9. Sıcaklık dayanıklılık testi örneği [26]

1.3.5. Sıcaklık ve Akım Döngüsü ile Terminal Yaşlanması Testi

Sıcaklık ve Akım Döngüsü Ile Terminal Yaşlanması Testi, bir elektrik bağlantı terminalinin farklı sıcaklık ve akım değerlerine maruz kalması durumunda yaşlanma düzeyini belirlemek için kullanılan bir test yöntemidir. Test kapsamında terminal,

belirlenen üst ve alt sıcaklık sınırları arasında döngüsel olarak ısıtılıp soğutulur. Aynı zamanda farklı akım seviyeleri uygulanır [27].

Terminalin sıcak-soğuk ve yüksek-düşük akım geçişlerine karşı direncinin ne kadar zaman dayandığı gözlemlenir. Terminale mikroskop altında baktığında oksidasyon, paslanma, gevşeme vb. hasarlar aranır. Test sayesinde terminal bağlantılarının gerçek kullanım ömrü ve değişen çalışma koşullarına adaptasyon süresi hesaplanabilir. Yaşlanma eğiliminin sebepleri anlaşılarak daha sağlam tasarımlar geliştirilebilir [28].

Temperature Endurance Test (Sıcaklık Dayanıklılık Testi) ve Terminal Ageing by Temperature and Current Cycling Test (Sıcaklık ve Akım Döngüsü İle Terminal Yaşlanması Testi) birbirleriyle benzer olup bazı farklılıkları vardır. Temperature Endurance Test ürünün genel sıcaklık dayanımını test ederken, Terminal Ageing Test yalnızca terminal bağlantıların sıcaklık ve akıma karşı yaşlanma eğilimini ölçer. Temperature Endurance Test'te sadece sıcaklık değişkenlik gözetilir. Terminal Ageing Test'te hem sıcaklık hem de akım parametreleri birlikte değiştirilir. Temperature Endurance Test tüm ürünün performansını kontrol eder. Terminal Ageing Test yalnızca terminal bağlantılarının hasarlarına odaklanır. Temperature Endurance Test ürünün genel dayanım sınırlarını gösterir. Terminal Ageing Test ise terminal yaşam süreleri ve iyileştirilebilecek noktaları belirler.

EN 4199 standardına göre sıcaklık ve akım döngüsü ile terminal yaşlanması testinde, bir bonding jumper -65°C ile 175°C arasındaki sıcaklıklarda 50 döngüye maruz bırakılır [19].

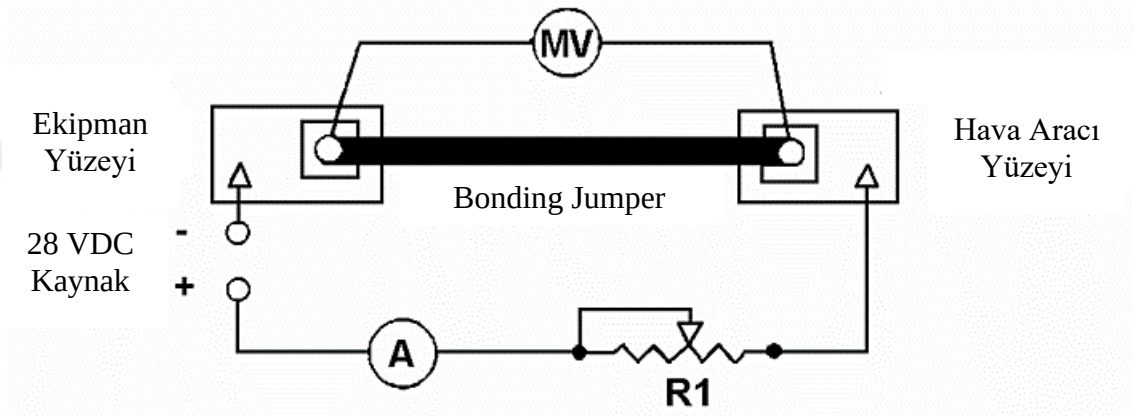
1.3.6. Voltaj Düşüş Testi

Voltaj düşüş testi, bir devrenin iç direnci ve kablolama hatası gibi faktörlere bağlı olarak kaynaklanan voltaj kayıplarını belirlemek amacıyla yapılan bir testtir. Test sırasında devreye bilinen bir voltaj uygulanır ve devrenin çıkışındaki voltaj ölçülür. Çıkış voltajı ile giriş voltajı arasındaki fark, devrenin iç direnci nedeniyle meydana gelen voltaj düşüşü olarak kaydedilir [29].

Farklı akım değerleri kullanılarak voltaj düşüş grafiği çıkarılır. Böylece devrenin düşük ve yüksek yük şartlarındaki performansı değerlendirilebilir. Ayrıca devrenin farklı

noktalarındaki voltaj düşüşleri ölçülerek, kablolama hatası vs. problemler tespit edilebilir. Test sonucu, devrenin iç direncinin seviyesi ve standartlara uygunluğu hakkında bilgi sağlar. Voltaj düşüş testiyle devresel sorunlar kolaylıkla saptanabilir. Test iletkenlik, bağlantı hatası gibi temel parametrelerin analizinde kullanılır [30].

Şekil 1.10'da bir bonding jumper üzerinde yapılan voltaj düşüş testi örneği verilmiştir [31].



Şekil 1.10. Voltaj düşüş testi örneği [31]

EN 4199 standardına göre voltaj drop testinde bir bonding jumper 5 döngü olacak şekilde test edilir [19].

1.3.7. Çekme Testi

Çekme testi, bir malzemenin çekme yükü altında kopmasına veya nihai deformasyonuna kadar dayandığı maksimum stresin ölçülmesidir. Çekme testi malzemenin dayanıklılık, kopma, uzama özellikleri hakkında bilgi sağlar. Metaller, polimerler, kompozitler gibi malzemeler için kullanışlı bir test yöntemidir [32, 40].

Çekme testi tipik olarak şu aşamalardan oluşur [32, 41]:

1. Test edilecek numuneye kesme, çekme veya burkma kuvveti uygulamak için çekme makinesine sabitlenir.

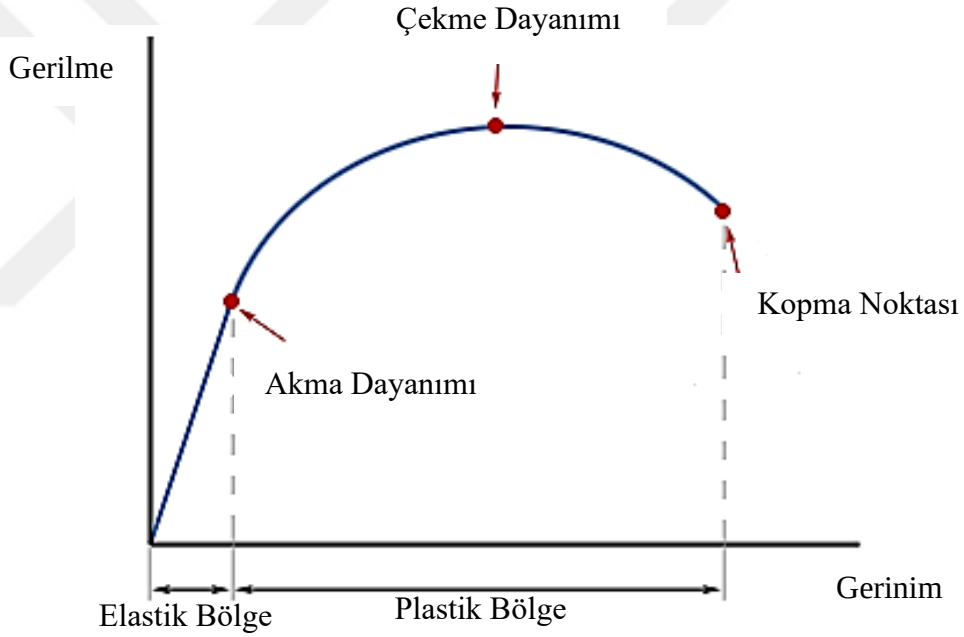
2. Makine yavaşça numuneyi çekmeye başlar. Numune üzerindeki yük ve deformasyon miktarı sürekli olarak kaydedilir.

3. Numune kopana veya maksimum mukavemet seviyesine ulaşana kadar çekme devam eder. Bu noktada test sonlandırılır.

4. Elde edilen veriler grafik olarak gösterilir. Maksimum noktadaki çekme dayanımı ve bununla ilişkili gerilme değeri hesaplanır.

5. Farklı sıcaklık, hız gibi değişkenler için test tekrarlanabilir.

Çekme testi sonucunda numunenin gerilme-gerinim eğrisi (stress-strain curve) elde edilir. Bu grafik numunenin çekme kuvveti altındaki plastic ve elastik davranışlarını inceler Şekil 1.11'de akademik bir çalışmadan elde edilmiş gerilme-gerinim eğrisi örneği mevcuttur [33].



Şekil 1.11. Gerilme-gerinim eğrisi örneği [33]

EN 4199 standardına göre çekme testinde bir bonding jumper -183 lbs ile 90 lbs ve 150 lbs ile 220 lbs arası çekme kuvvetlerine maruz bırakılır [19].

1.3.7. Havacılık Yakıtı Direnç Testi

Havacılık yakıtı direnç testi, havacılıkta kullanılan yakıtın çeşitli malzemelere etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir testtir. Test sonuçlarıyla havacılık endüstrisinde kullanılan malzemelerin bakımı/değişim sıklığı, yakıt sistemlerinde oluşabilecek hasarlar gibi konularda karar vermede yararlanılır. Malzemenin yakıta dayanım özelliği anlaşılmış olur [34].

Test genellikle şu aşamalardan oluşur [35]:

- Test edilecek malzemenin örnekleri hazırlanır. Malzeme tipik olarak polimer, kauçuk, elastomer gibi malzemelerden oluşur.
- Örnekler havacılık yakıtlarına maruz bırakılır. En yaygın kullanılan yakıtlar Jet A, Jet A1 ve JP-8 türündendir.
- Belli zaman aralıklarıyla (24 saat, 7 gün, 30 gün) örnekler incelenir. Yakıta maruz kalan yüzeylerdeki aşınma, şişme, yıpranma gibi değişimler araştırılır.
- Test sonunda malzemenin yakıta karşı direnci niceliksel olarak ifade edilir.

EN 4199 standardına göre havacılık yakıtı direnç testinde bir bonding jumper 20°C-25°C arasında 168 saat havacılık türbin yakıtında bekletilir [19].

1.4. Ülkemizde Bonding jumper Üretme Kabiliyeti

Bonding Jumper sadece havacılık alanında değil aynı zamanda kara, deniz ve uzay platformlarında da kullanılmaktadır. Ülkemizde bu alanlardaki milli üretim yapan kurumlarımızın bu ürünü yurtdışından tedarik etmesi büyük bir sorundur. Daha uygun maliyetlerde daha güvenilir tedarik zincirleri ile bu sorun çözülebilmektedir.

Bonding Jumper üretimi için öncelikle ASTMB standartlarında tel üretilmesi gerekmektedir. Daha sonra bu standartlarda tellerin örülerek son ürün haline getirilmesi gerekmektedir. Sonrasında asıl ürünün EN-4199 standartlarında testlere tabi tutulması gerekmektedir [2, 11].

Ülkemizde havacılık standardında tel üretimi yapabilecek kabiliyette olan önde gelen 7 adet kurum mevcuttur. Ülkemizde bu tarz kuruluşlar havacılık standardında tel üretimi yapabilmektedir. Ülkemizde havacılık standardında tel örgü işlemi yapabilecek kabiliyette olan önde gelen 11 tane kurum mevcuttur. Ülkemizde EN-4199 standartları gereği yapılan testleri gerçekleştirebilecek 3 adet kuruluş mevcuttur. Bu sonuçlardan yola çıkılarak ülkemizin bonding jumper üretebilecek kabiliyette olduğu görülmektedir. Daha az maliyetle, daha etkin tedarik yollarıyla ülkemizde ürünün yerli olarak üretilmesi elzemdir. Aynı zamanda yerli üretimle ürünün ihracatı yapılarak milli gelir elde edilmesi amaçlanmaktadır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Bu bölümde bu tez çalışması kapsamında elde edilen numunelerin üretim yöntemlerinden bahsedilmiştir.

2.1. Yöntem

Bu yüksek lisans tez çalışmasında kalay kaplı bakır tellerden üretilen bonding jumper isimli hava aracı parçasının ülkemizde ilk defa yerli olarak üretilmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla 0,2 mm çapındaki bakır teller tedarik edilmiştir. Daha sonrasında bu teller Bonding Jumper standardı için tel çekme yöntemiyle 0.12 mm çapına düşürülmüştür. Sonrasında bakır teller akımsız kaplama yöntemiyle kalay ile kaplanmıştır. Megametal firmasında halat tipi (rope) şeklinde bükülmüş kalay kaplı bakır teller tedarik edilmiştir. Megeteknik firmasında tedarik edilen rope tellerin üzerine bu çalışmada akımsız olarak kaplanan kalay kaplı bakır teller ile 3 kat çapraz şekilde örülerek ürün elde edilmiştir. Daha sonrasında elde edilen ürünün çekme ve görüntüleme analizleri yapılmıştır.

2.2. Kullanılan Teller

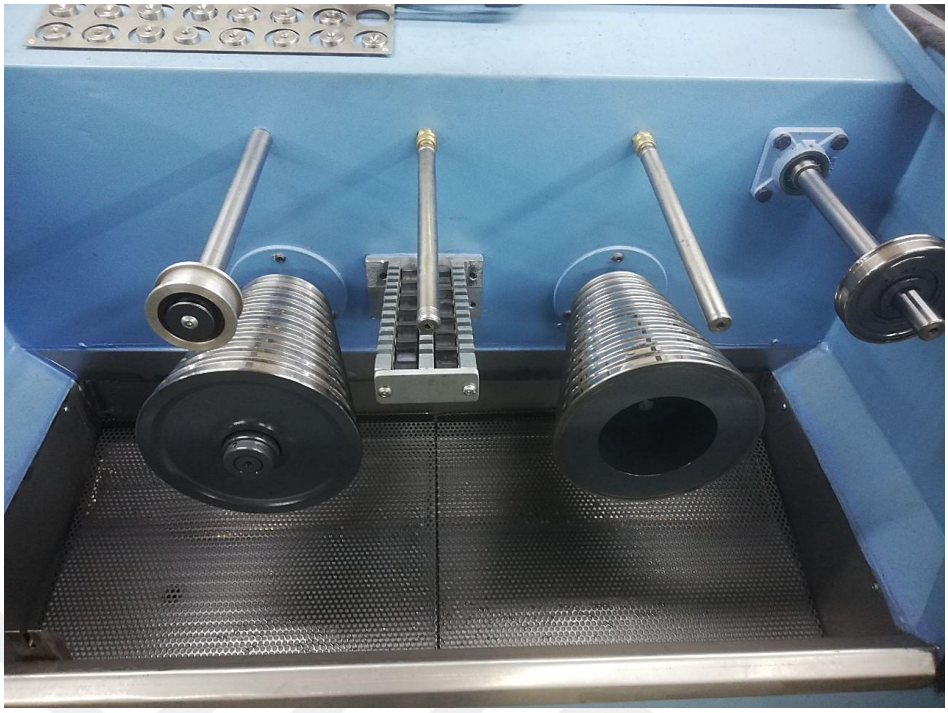
Elde edilen bakır teller %99,55 saflıkta ve 0,2 mm çapındadır. Şekil 2.1'de 0.2 mm çapındaki tel numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1. 0,20 mm çapındaki bakır teller

Bonding Jumper havacılık standardına göre tellerin 0.12 mm çapında olması gerekmektedir. Bu yüzden 0.2 mm çapındaki teller tel çekme yöntemiyle 0.12 mm çapına düşürülmüştür. Şekil 2.2'de tel çekme işlemi gösterilmektedir.





Şekil 2.2. Tel çekme işlemi

Şekil 2.3'te 0.12 mm çapındaki tel numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 2.3. 0,12 mm çapındaki bakır teller

2.3. Akımsız Kalay Kaplama

0.12 mm çapındaki bakır teller akımsız olarak kalay ile kaplanmıştır. Kaplama için öncelikle 0,5 gr/L oranında metan sülfonik asit 200 ml saf suda çözdürülmüştür. Çözünen karışıma 0,5 gr/L oranında kalay klorür eklenerek çözünene kadar karıştırılmıştır. Akımsız kaplama solüsyonu için 9 gr tiyoüre bu karışıma eklenmiştir. Hazırlanan solüsyon 500 rpm oda sıcaklığında (25 °C) yaklaşık 20 dk karıştırılmıştır. Hazır olan kaplama solüsyonuna 5 gr 0.12 mm çapındaki bakır teller daldırılmıştır. Daldırılan teller yaklaşık 20 dk sonra çıkarılarak etil alkol ile yıkanmış ve vakumlu etüv fırında 10 dk kurutulmuştur. Bu kaplama değerleri seçilirken literatürdeki akımsız kalay kaplama çalışmalarından faydalanılmıştır [36, 37].

Tablo 2.1'de kalay kaplama solüsyonunda kullanılan malzemelerin listesi ve malzemelerin kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 2.1. Kalay kaplama solüsyonunda kullanılan malzemeler

Kalay Kaplama Solüsyonunda Kullanılan Malzemeler	
Kullanılan Sarf Malzeme	**Malzemenin Miktarı**
Saf Su	200 ml
Metan Sülfonik Asit	0,5 gr/L
Kalay Klorür	0,5 gr/L
Tiyoüre	9 gr

2.4. Halat Tipi (Rope) Bükülü Teller

Megametal firmasından kalay kaplı bakır tellerden oluşan 7x19x0,12 mm ölçülerinde halat tipi (rope) bükülü tel tedarik edilmiştir. Bükülü yapıda 7 demet (strand) mevcuttur. Her demette 19 adet 0,12 mm çapında kalay kaplı bakır tel mevcuttur. Tellerdeki kalay kalınlığı 0.3 µm'dir. Büküm yönü soldur. 20 °C'deki elektrik direnci 14,10 ohm/km'dir. Şekil 2.4'te halat tipi bükülü tel gösterilmektedir.

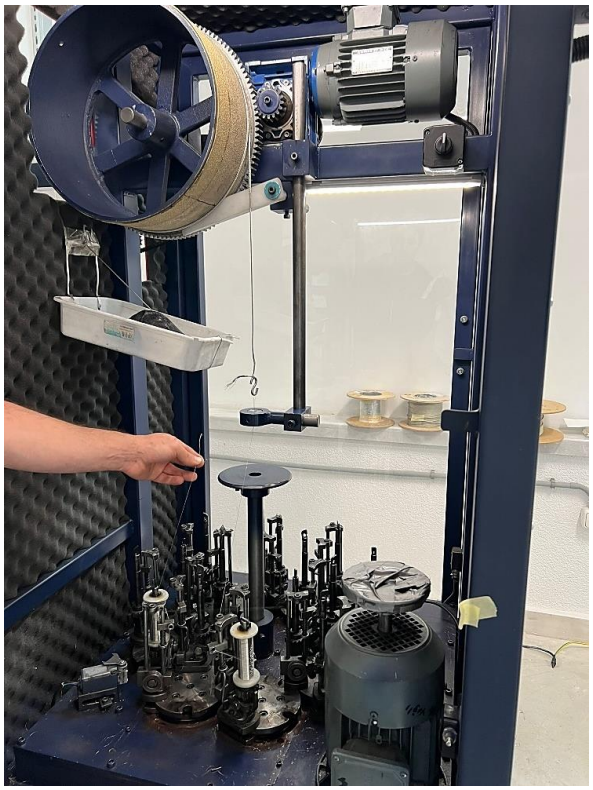


Şekil 2.4. 0,20 mm çapındaki bakır teller

2.5. Tellerin Örülmesi

Bükülü tellerin üzerine 0.12 mm çapındaki akımsız olarak kaplanan kalay kaplı bakır teller, Megeteknik firmasında örgü makinasıyla çapraz örgü şeklinde 3 kat örülmüştür. 1. kat örgüde bir demette 3 tel, 2. kat örgüde bir demette 6 tel ve 3. kat örgüde bir demette 7 tel mevcuttur.

Şekil 2.5'te Megeteknik firmasının örgü makinası (braiding machine) gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Örgü makinesi

Şekil 2.6'da çapraz şekilde örülmüş bonding jumper yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Örülmüş bonding jumper yapısı

2.6. Numuneler

Bu tez çalışmasında THY Teknik A. Ş.'den tedarik edilen 2 adet A320 tip yolcu uçağına ait ithal bonding jumper numuneleri karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Aynı zamanda bu numuneler ile yaklaşık olarak aynı ölçülerde bu tez çalışması kapsamında üretilen yerli bonding jumper numuneleri kullanılmıştır. Numuneler sayı ile kodlanmıştır ve Tablo 2.2'de özellikleri belirtilmiştir:

Tablo 2.2. Numunelerin özellikleri

Numune No	**Numune Tipi**	**Menşei**	**Çap (mm)**	**Boy (mm)**	**Kesit Alanı (mm^2)**
1	Çapraz Örgü	İthal	4,05	168	12,88
2	Halat Tipi Örgü	İthal	2,54	70	5,06
3	Çapraz Örgü	Yerli	4,03	61	12,75
4	Halat Tipi Örgü	Yerli	1,78	35	2,48

Şekil 2.7'de numunelerin fotoğrafları gösterilmektedir.



Şekil 2.7. 4 farklı numune görüntüsü

1 nolu numune, A320 tip yolcu uçağına ait E0091-10-280 parça numaralı bonding jumper numunesidir. Merkezde kalay kaplı bakır tellerden oluşan 7x19x0,12 mm ölçülerinde halat tipi bükülü tel kullanılmıştır. Merkezdeki halat tipi bükülü tel üzerine örgü makinasıyla çapraz örgü (braided) şeklinde 0,12 mm kalay kaplı bakır teller ile 3 kat örülmüştür. 1. kat örgüde bir demette 3 tel, 2. kat örgüde bir demette 6 tel ve 3. kat örgüde bir demette 7 tel mevcuttur. Numune 4,05 mm çapındadır ve 168 mm boyundadır.

2 nolu numune A320 tip yolcu uçağına ait BACJ40AD44-6 parça numaralı bonding jumper numunesidir. Numune, kalay kaplı bakır tellerden oluşan 7x19x0,12 mm

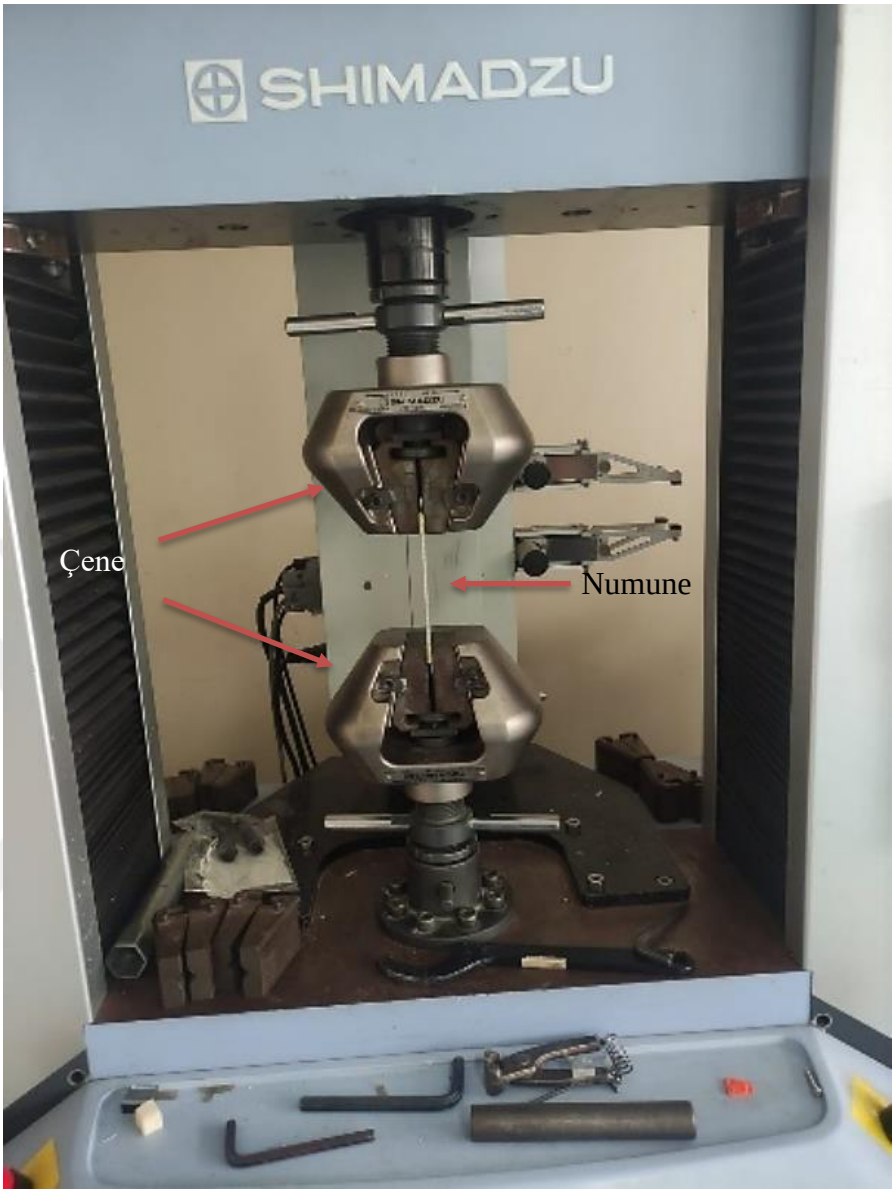
ölçülerinde halat tipi (rope) bükülü tel şeklindedir. Numune 2,54 mm çapındadır ve 70 mm boyundadır. 5,06 mm^2 kesit alanına sahiptir.

3 nolu numune, bu tez çalışması kapsamında elde edilen bonding jumper numunesidir. Merkezde kalay kaplı bakır tellerden oluşan 7x19x0,12 mm ölçülerinde halat tipi bükülü tel kullanılmıştır. Merkezdeki halat tipi bükülü tel üzerine örgü makinasıyla çapraz örgü şeklinde 0,12 mm kalay kaplı bakır teller ile 3 kat örülmüştür. 1. kat örgüde bir demette 3 tel, 2. kat örgüde bir demette 6 tel ve 3. kat örgüde bir demette 7 tel mevcuttur. Numune 4,03 mm çapındadır ve 61 mm boyundadır. 12,75 mm^2 kesit alanına sahiptir.

4 nolu numune, bu tez çalışması kapsamında elde edilen bonding jumper numunesidir. Numune, kalay kaplı bakır tellerden oluşan 7x19x0,12 mm ölçülerinde halat tipi bükülü tel şeklindedir. Numune 1,78 mm çapındadır ve 35 mm boyundadır. 2,48 mm^2 kesit alanına sahiptir.

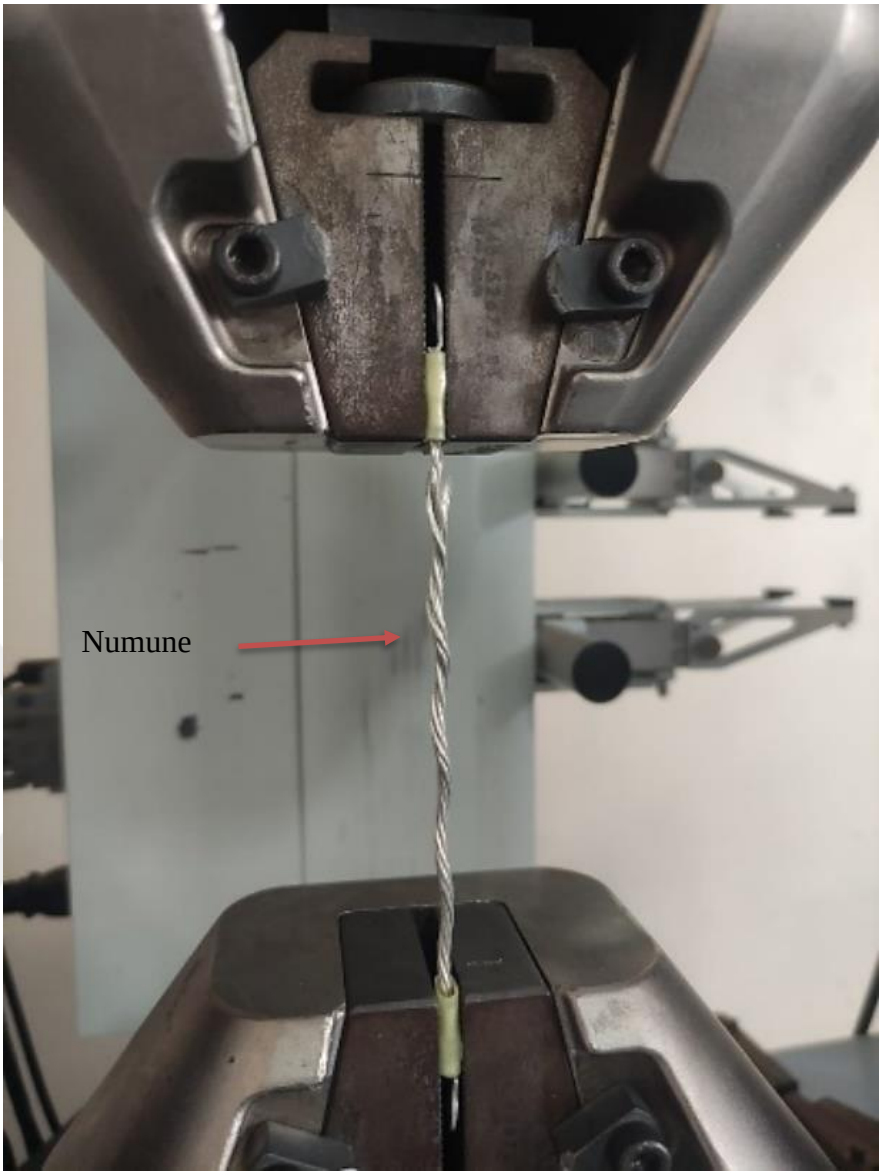
2.7. Çekme Testi

Ürünün çekme testi Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Shimadzu marka AG-X 50kN model test cihazıyla yapılmıştır. Şekil 2.8'de çekme testinin yapıldığı cihaz gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Shimadzu marka AG-X 50kN model test cihazı

Çekme testinde numunenin iki ucundan kontrollü bir şekilde çekerek elastik ve plastik davranışları, akma ve kopma noktaları belirlenmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında çekme hızı 1 mm/dakika alınmıştır. Şekil 2.9'da bu yüksek lisans tezi kapsamında elde edilen numunenin çekme testi yapıldığı an gösterilmektedir.

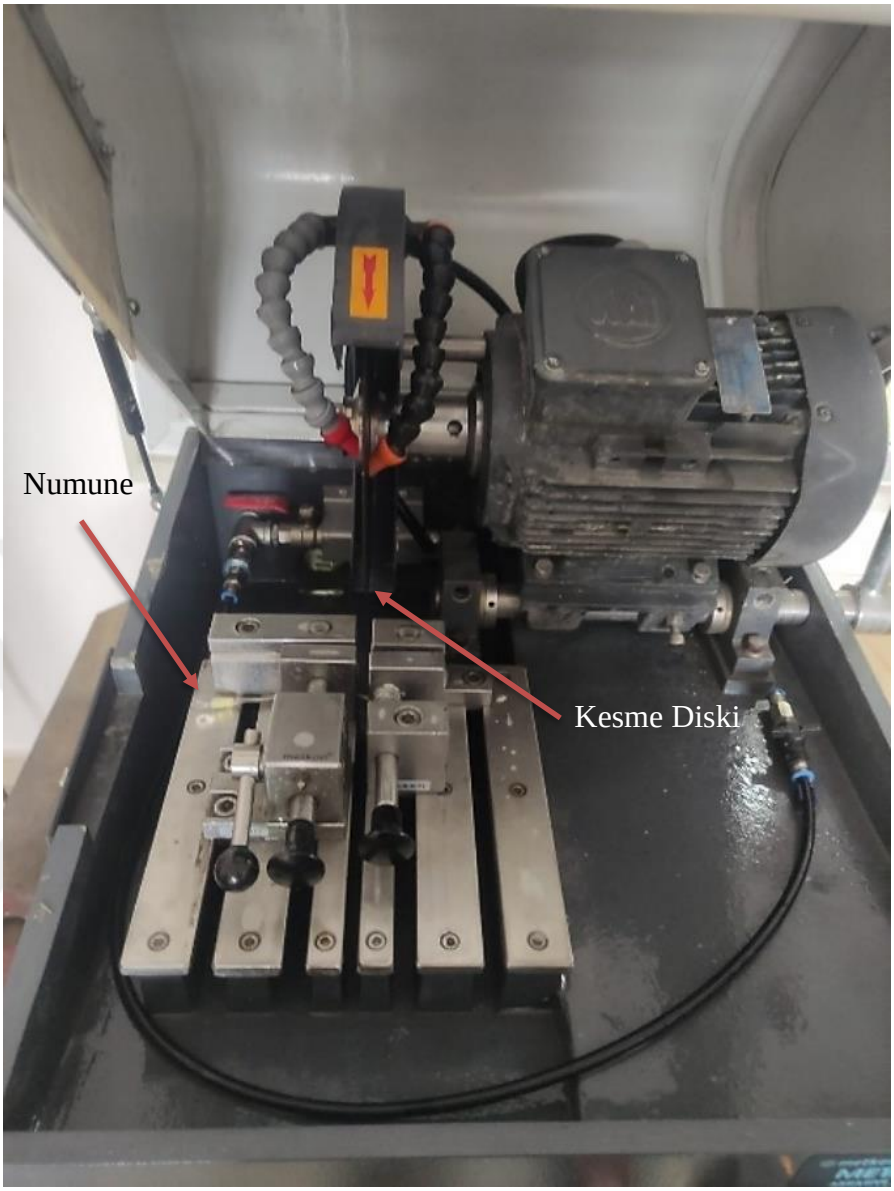


Şekil 2.9. Numune çekme testi

2.8. Numune Kesme

Numunemiz, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Metacut-251 model numune kesme cihazıyla numune kesme işlemi yapılmıştır.

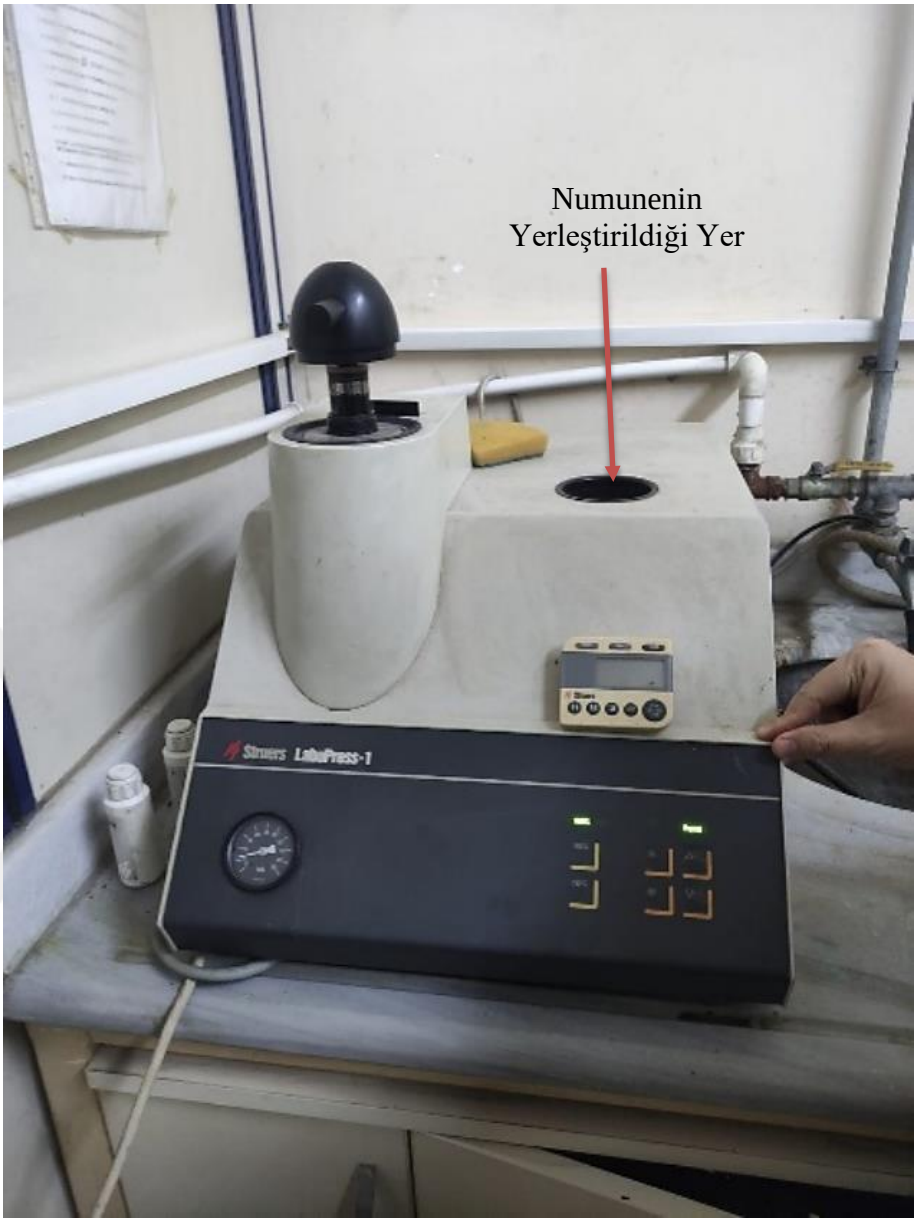
Görüntüleme testleri öncesinde numune kesme makinasında numune kesit alma işlemi yapılmaktadır. Bu işlemde numuneden yüksek sertlikte abrasif kesme diskleri vasıtasıyla mümkün olduğunca pürüzsüz kesit alınmaktadır. Şekil 2.10'da bu yüksek lisans tezi kapsamında elde edilen numunenin numune kesme işlemi yapıldığı an gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Numune kesme işlemi

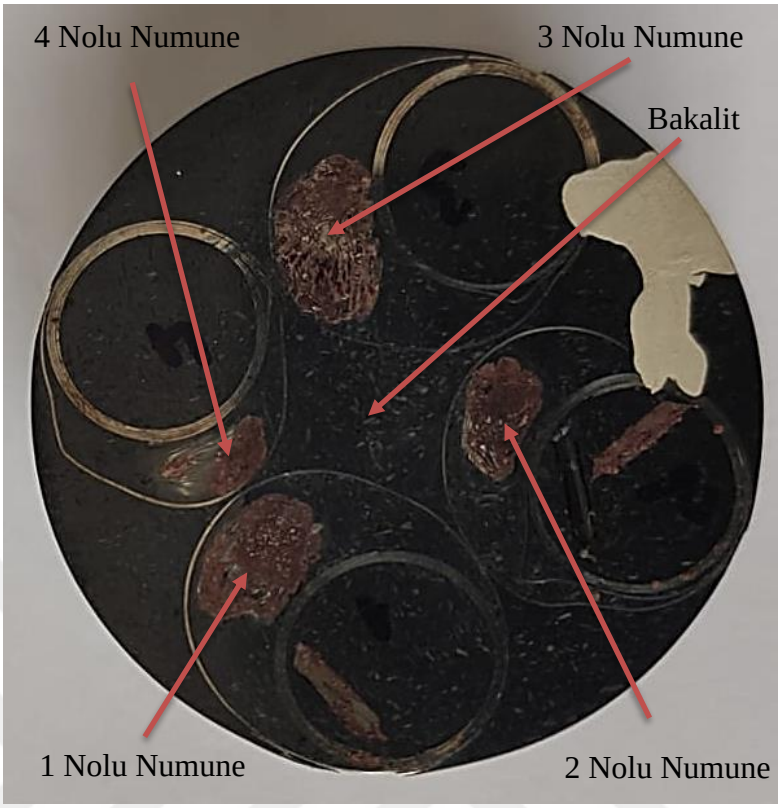
2.9. Bakalit/Kalıba Alma

Kesit alınan ürünümüz, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Struers LaboPress 1 model bakalit alma cihazıyla bakalite alınmıştır. Şekil 2.11'de bakalit alma işleminin yapıldığı cihaz gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Struers LaboPress 1 model bakalit alma cihazı

Bakalit/Kalıba alma işleminde kesit alınan numune temizlendikten sonra sıkıştırılıp reçine içerisinde bir kalıba alınır. Bu şekilde numune kesiti daha iyi bir şekilde görüntüleme testine tabi tutulur. Şekil 2.12'de bu yüksek lisans tezi kapsamında elde edilen numunenin bakalit alma işleminin yapıldığı an gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Bakalite alınmış numuneler

2.10. Parlatma

Numuneler, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Metkon Forcimat Specimen Mover model parlatma cihazıyla parlatma işlemi yapılmıştır. Numune kesit alma işlemi sırasında kesilen yüzey deforme olmaktadır. Bu deformenin düzeltilmesi için parlatma/zımparalama işlemi yapılmaktadır.

Şekil 2.13'te parlatma işleminin yapıldığı cihaz gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Numune parlatma işlemi

2.11. FESEM Analizi

FESEM (Field Emission Scanning Electron Microscope), Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobudur. Bu cihaz ince yapılı malzemelerin yüksek çözünürlüklü görüntülerini almaya yarayan bir taramalı elektron mikroskobudur [38].

Ürünün FESEM testi, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Zeiss marka Gemini 500 model test cihazıyla yapılmıştır.

EDX veya EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi demektir. EDX, bir maddeden yayılan karakteristik X-ışınlarının enerjilerini ölçmeye dayanan bir elementel analiz yöntemidir. İncelenen numuneden gelen X-ışınlarının enerjileri dedektör ile kaydedilir. Her elementin kendine özgü X-ışını emisyon spektrumu vardır. Böylece numuneden hangi elementlerin varlığı belirlenebilir [39].

2.12 Elektrik Direnç Testi

Elektrik direnci, bir malzemenin elektrik akımının geçişine karşı gösterdiği dirençtir. Elektrik direnci düşük olan malzemelerin elektrik iletkenliği yüksek iken elektrik direnci düşük olan malzemelerin elektrik iletkenliği düşüktür [43].

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında elde edilen numuneler, oda sıcaklığında (25°C) Megger DLRO10HD model DC Miliohmmetre ile elektrik direnç testine tabi tutulmuştur. Aynı zamanda direnç, kesit alanı ve uzunluk değerleri baz alınarak özdirenç değerleri hesaplanmıştır. Şekil 2.14'te elektrik direnç testinin yapıldığı cihaz gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Megger DLRO10HD model DC Miliohmmetre

DC Miliohmmetre, ölçüm yapılan numuneye doğru akım göndererek gerilim kaybını tespit etmekte ve bu yolla hassas bir şekilde direnç ölçümü yapabilmektedir.

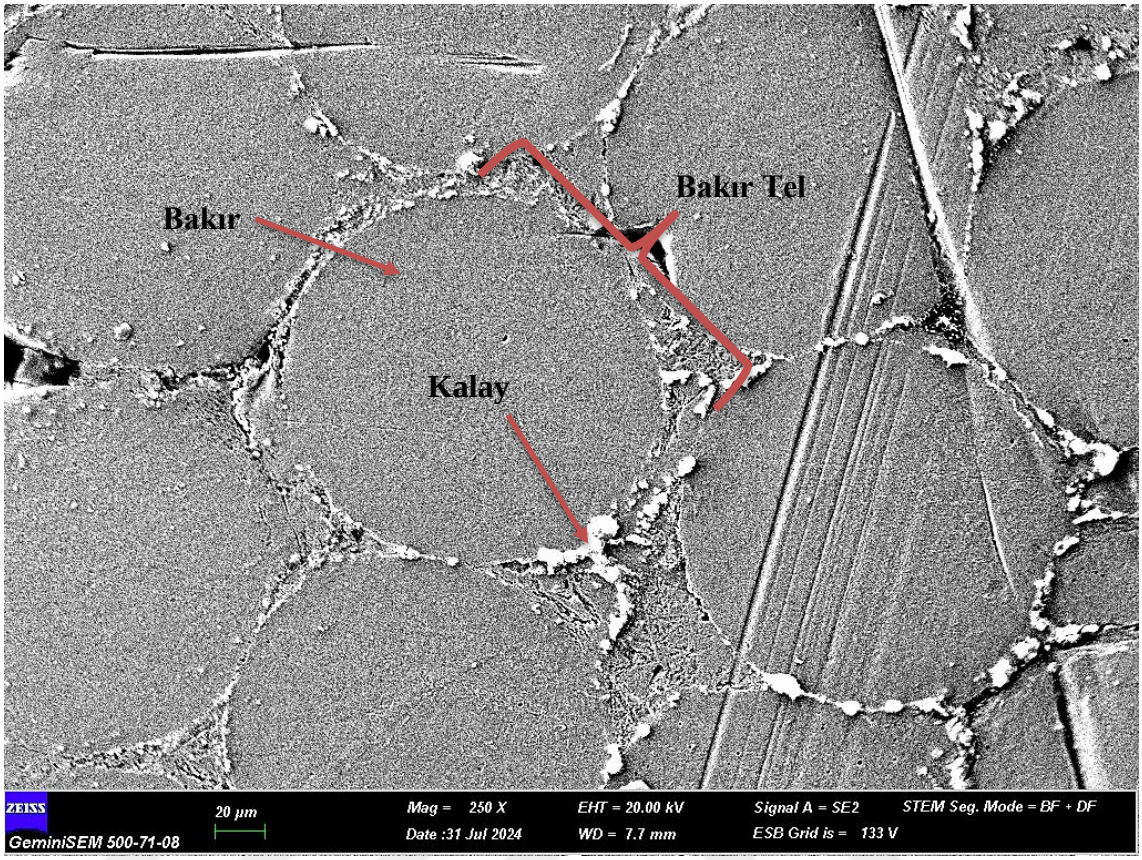
3. BÖLÜM

SONUÇ VE TARTIŞMA

3.1. FESEM Sonuçları

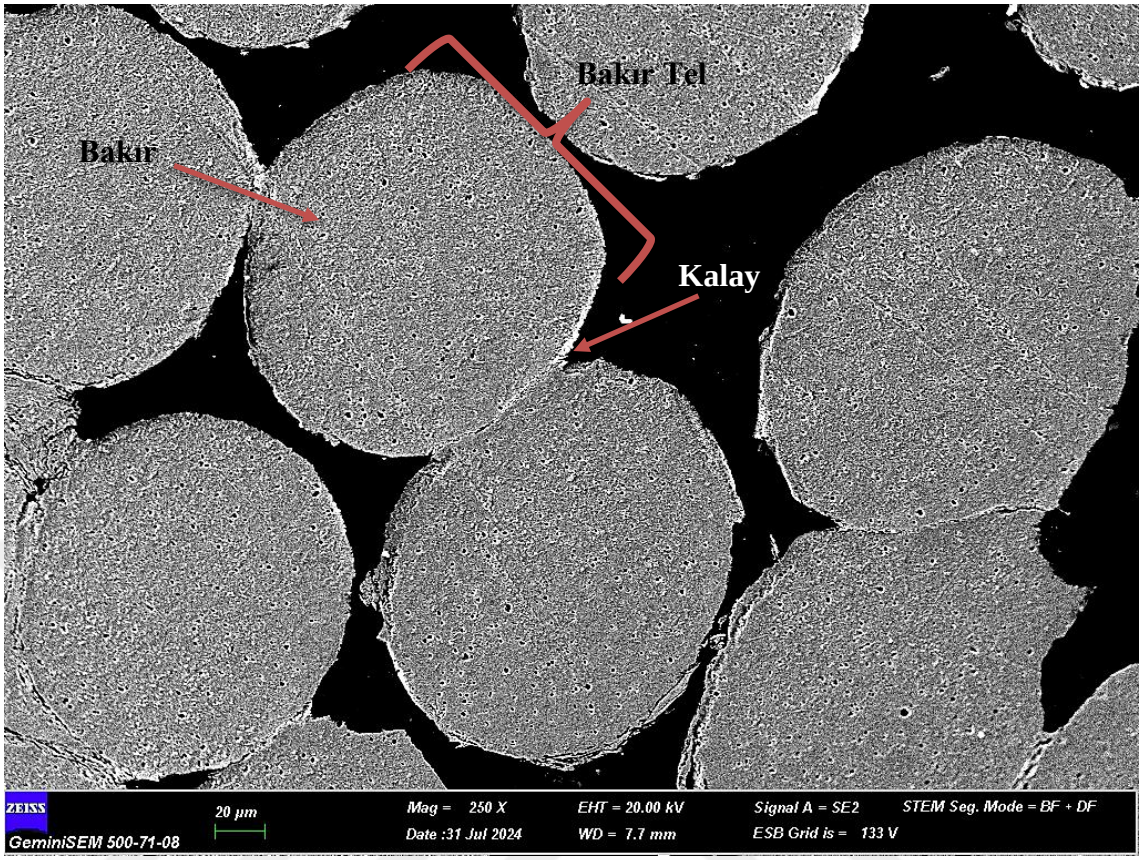
Bu tez çalışmasında elde edilen numunelerin morfolojik yapısının incelenmesi için FESEM analizi yapılmıştır.

Şekil 3.1'de 1 nolu numunenin FESEM analizi sonucunda elde edilen 250X görüntüsü verilmektedir. Şekil incelendiğinde bakır tellerin kalay ile kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Görüntüdeki gri renkli kısımlar bakırı işaret ederken açık renkli kısımlar kalayı işaret etmektedir.



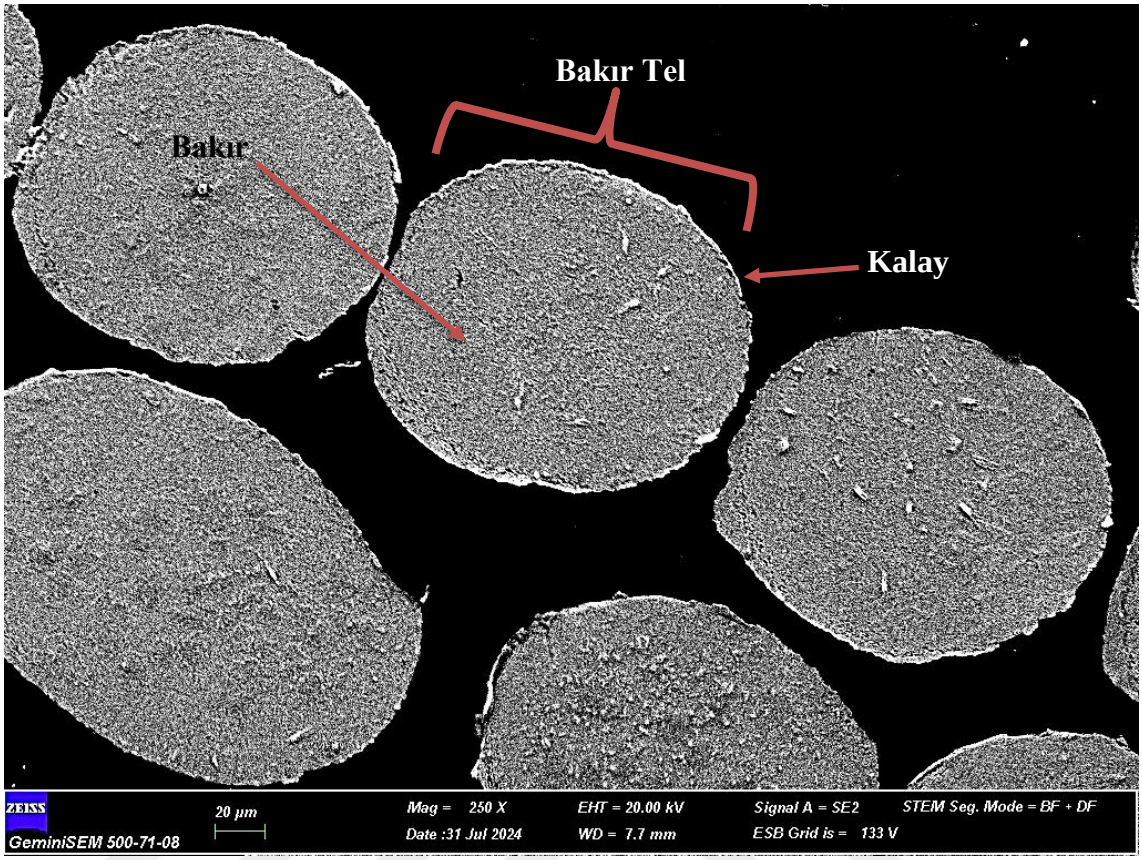
Şekil 3.1. 1 nolu numunenin 250X FESEM görüntüsü

Şekil 3.2'de 2 nolu numunenin FESEM analizi sonucunda elde edilen 250X görüntüsü verilmektedir. Şekil incelendiğinde bakır tellerin kalay ile kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Görüntüdeki gri renkli kısımlar bakırı işaret ederken açık renkli kısımlar kalayı işaret etmektedir.



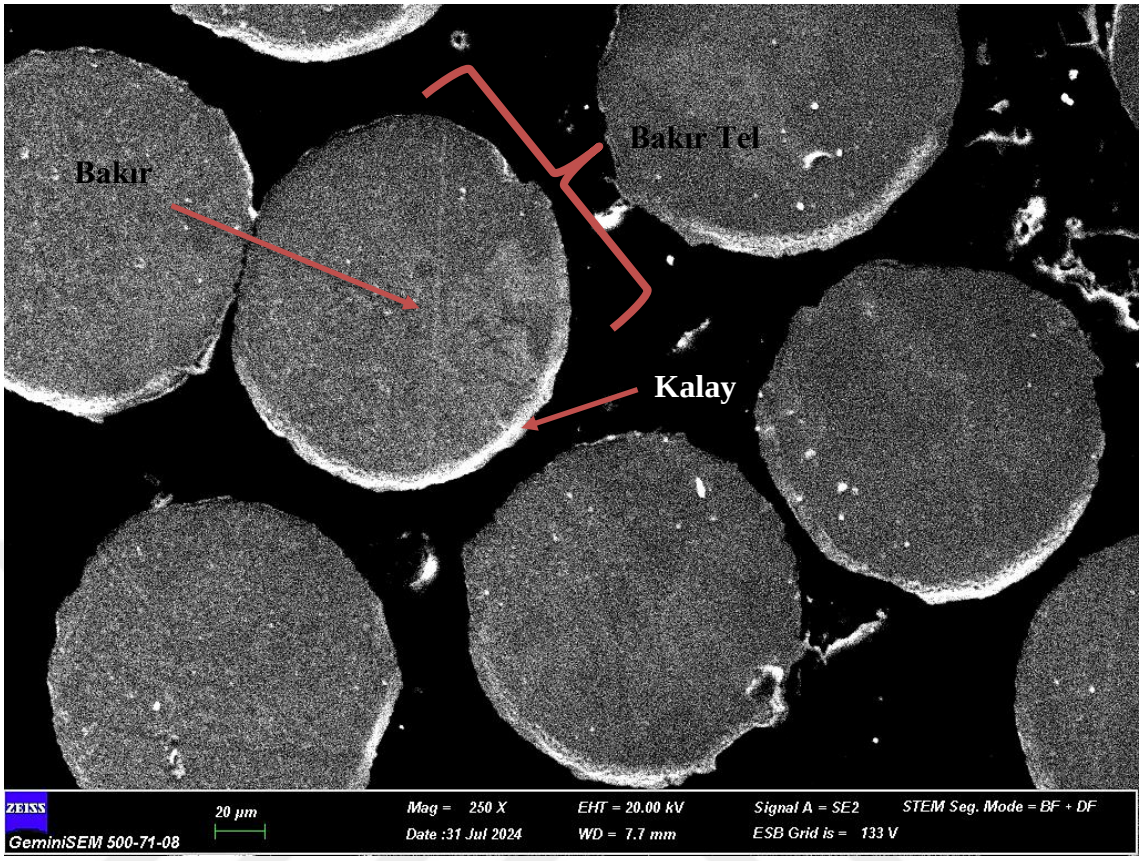
Şekil 3.2. 2 nolu numunenin 250X FESEM görüntüsü

Şekil 3.3'te 3 nolu numunenin FESEM analizi sonucunda elde edilen 250X görüntüsü verilmektedir. Şekil incelendiğinde bakır tellerin kalay ile kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Görüntüdeki gri renkli kısımlar bakırı işaret ederken açık renkli kısımlar kalayı işaret etmektedir.



Şekil 3.3. 3 nolu numunenin 250X FESEM görüntüsü

Şekil 3.4'te 4 nolu numunenin FESEM analizi sonucunda elde edilen 250X görüntüsü verilmektedir. Şekil incelendiğinde bakır tellerin kalay ile kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Görüntüdeki gri renkli kısımlar bakırı işaret ederken açık renkli kısımlar kalayı işaret etmektedir.

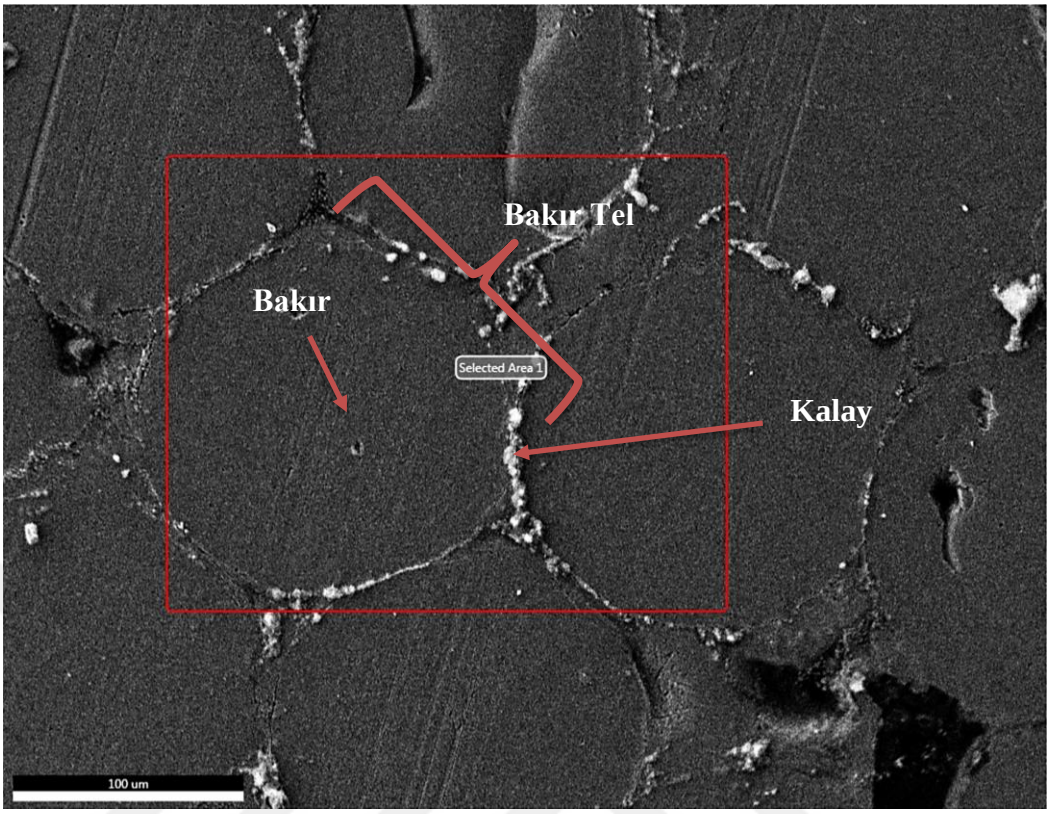


Şekil 3.4. 4 nolu numunenin 250X FESEM görüntüsü

Özetle tüm numunelerdeki tellerin net bir şekilde kalay kaplı bakır tel olduğu FESEM sonuçlarında görülmektedir.

3.2. EDX/EDS Sonuçları

Şekil 3.5'te 1 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü verilmektedir. Görüntü incelendiğinde bakır tellerin kalay ile kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Görüntüdeki koyu renkli kısımlar bakırı işaret ederken açık renkli kısımlar kalayı işaret etmektedir. Kırmızı dikdörtgen ile seçilen kısım element dağılım analizinde örnek alınan yeri göstermektedir.



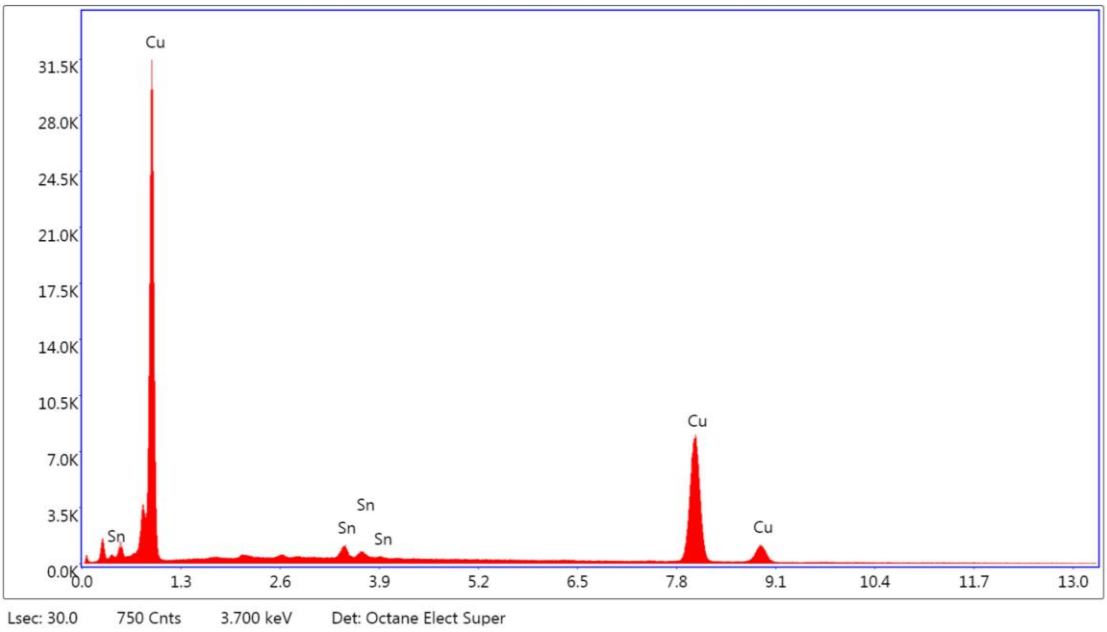
Şekil 3.5. 1 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü

Tablo 3.1'de 1 nolu numunenin örnek alınan kesitindeki element dağılım oranları verilmektedir. Tablo incelendiğinde numunenin ağırlıkça %4,99'unun kalay, %95,01'inin bakır olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.1. 1 nolu numunenin element dağılım oranları

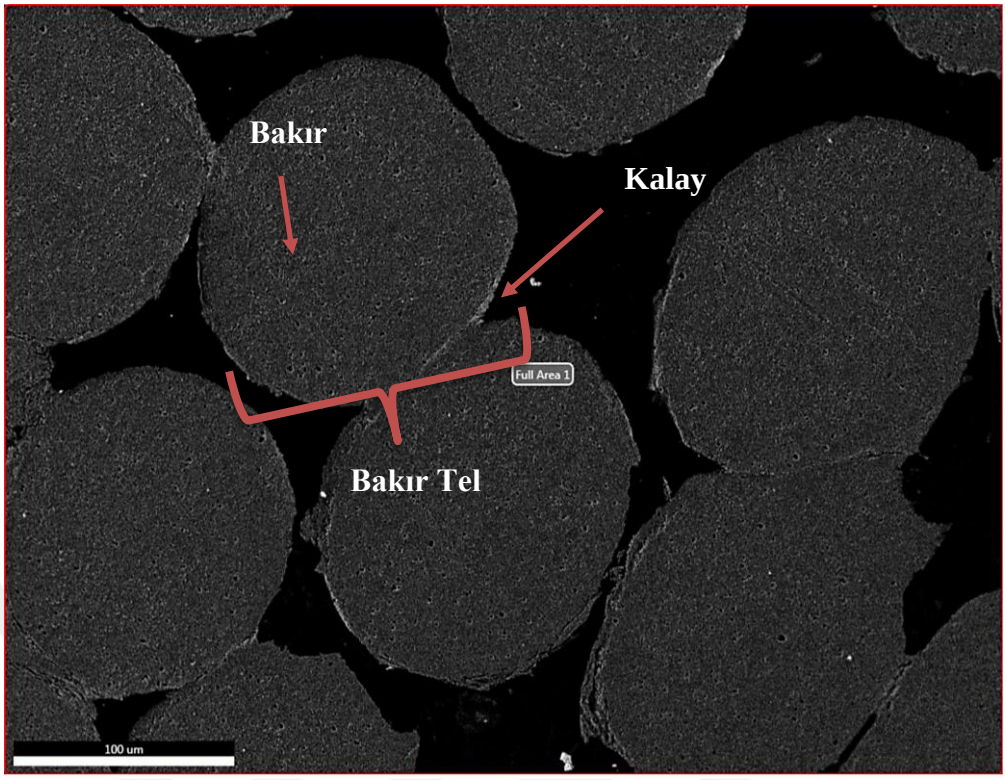
Element	Ağırlık %	Atomik %	Net
Sn	4,99	2,73	280,08
Cu	95,01	97,27	4225,28

Şekil 3.6'da 1 nolu numunenin örnek alınan kesitindeki element dağılım grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde kalay ve bakır tepe noktaları görülmektedir.



Şekil 3.6. 1 nolu numunenin element dağılım grafiği

Şekil 3.7'de 2 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü verilmektedir. Görüntü incelendiğinde bakır tellerin kalay ile kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Görüntüdeki koyu gri renkli kısımlar bakırı işaret ederken açık renkli kısımlar kalayı işaret etmektedir. "Full Area 1" yazan yer, element dağılım analizinde örnek alınan yeri göstermektedir.



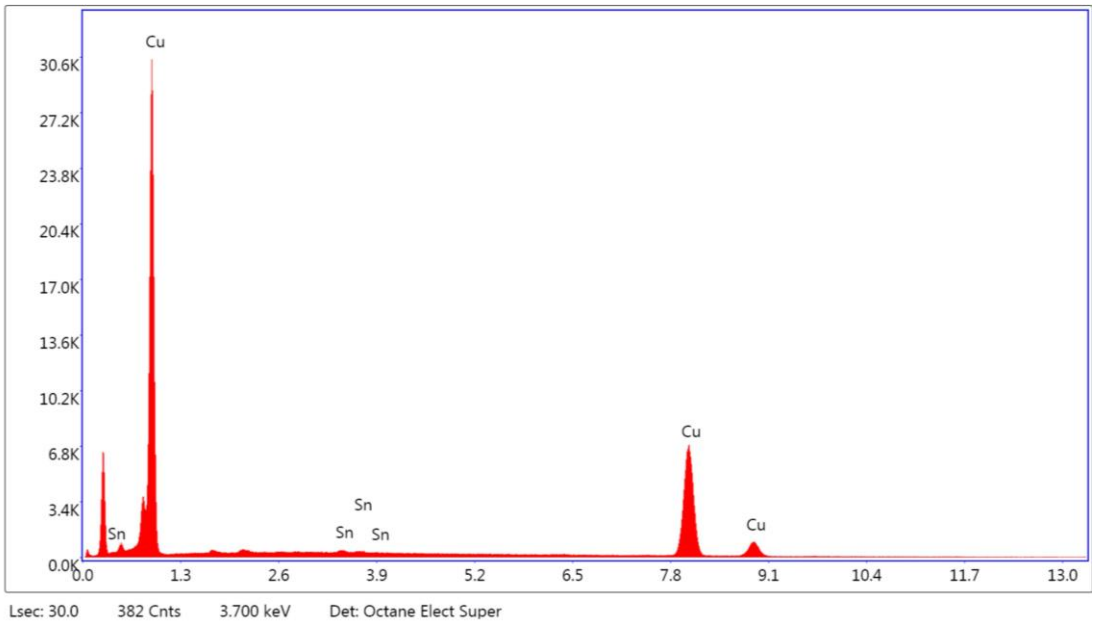
Şekil 3.7. 2 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü

Tablo 3.2'de 2 nolu numunenin örnek alınan kesitindeki element dağılım oranları verilmektedir. Tablo incelendiğinde numunenin ağırlıkça %1,19'unun kalay, %98,81'inin bakır olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.2. 2 nolu numunenin element dağılım oranları

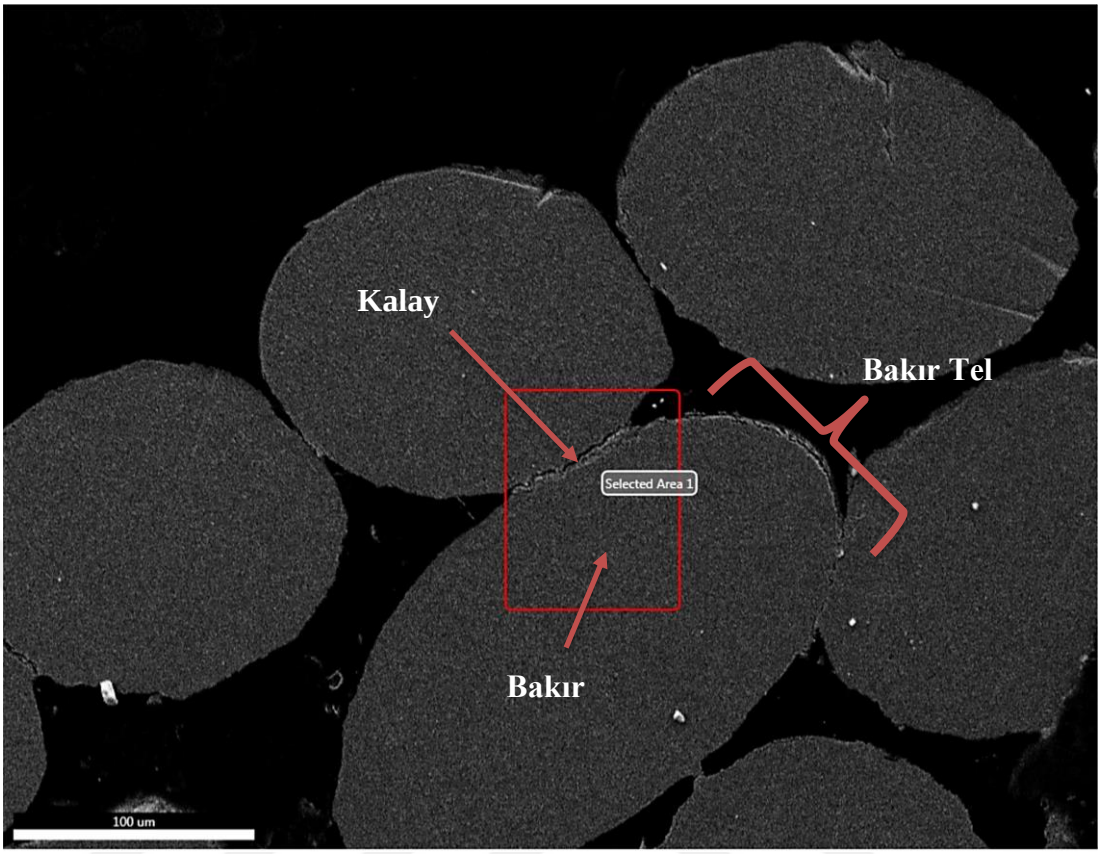
Element	Ağırlık %	Atomik %	Net
Sn	1,19	0,64	53,54
Cu	98,81	99,36	3539,62

Şekil 3.8'de 2 nolu numunenin örnek alınan kesitindeki element dağılım grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde kalay ve bakır tepe noktaları görülmektedir.



Şekil 3.8. 2 nolu numunenin element dağılım grafiği

Şekil 3.9'da 3 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü verilmektedir. Görüntü incelendiğinde bakır tellerin kalay ile kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Görüntüdeki koyu renkli kısımlar bakırı işaret ederken açık renkli kısımlar kalayı işaret etmektedir. Kırmızı dikdörtgen ile seçilen kısım element dağılım analizinde örnek alınan yeri göstermektedir.



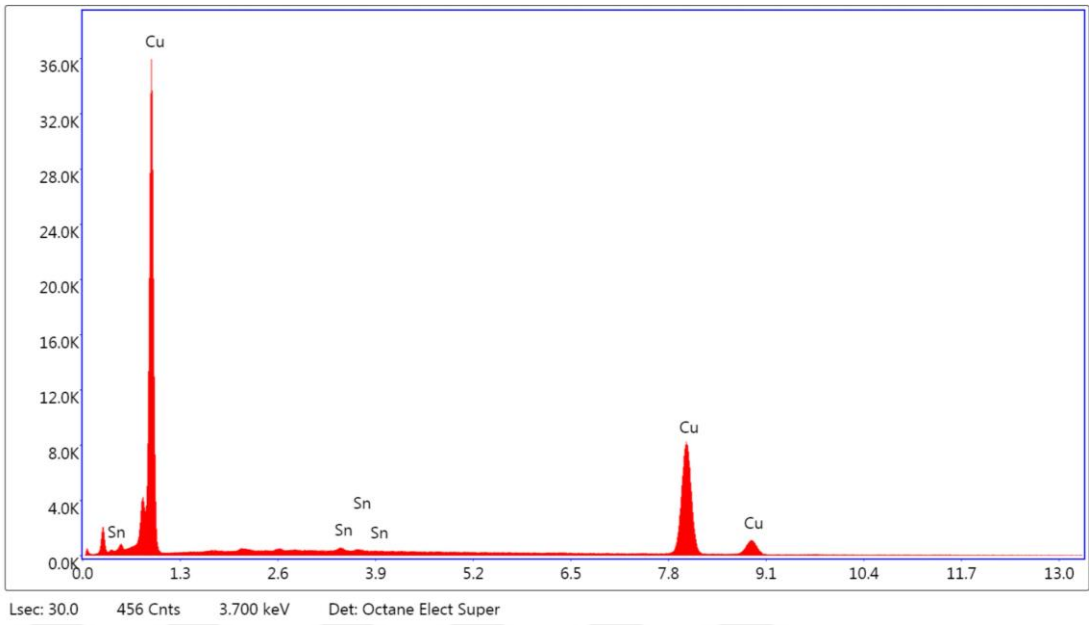
Şekil 3.9. 3 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü

Tablo 3.3'te 3 nolu numunenin örnek alınan kesitindeki element dağılım oranları verilmektedir. Tablo incelendiğinde numunenin ağırlıkça %1,25'inin kalay, %98,75'inin bakır olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.3. 3 nolu numunenin element dağılım oranları

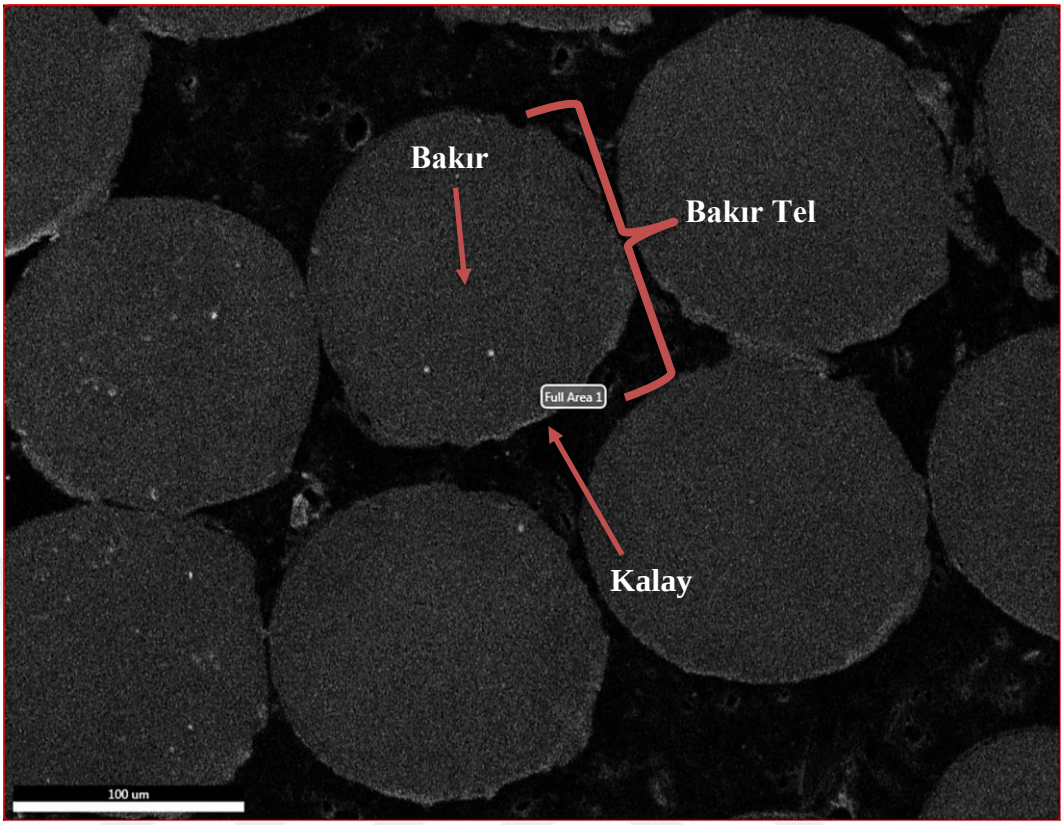
Element	Ağırlık %	Atomik %	Net
Sn	1,25	0,67	68,44
Cu	98,75	98,33	4291,21

Şekil 3.10'da 3 nolu numunenin örnek alınan kesitindeki element dağılım grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde kalay ve bakır tepe noktaları görülmektedir.



Şekil 3.10. 3 nolu numunenin element dağılım grafiği

Şekil 3.11'de 4 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü verilmektedir. Görüntü incelendiğinde bakır tellerin kalay ile kaplandığı net bir şekilde görülmektedir. Görüntüdeki koyu gri renkli kısımlar bakırı işaret ederken açık renkli kısımlar kalayı işaret etmektedir. "Full Area 1" yazan yer, element dağılım analizinde örnek alınan yeri göstermektedir



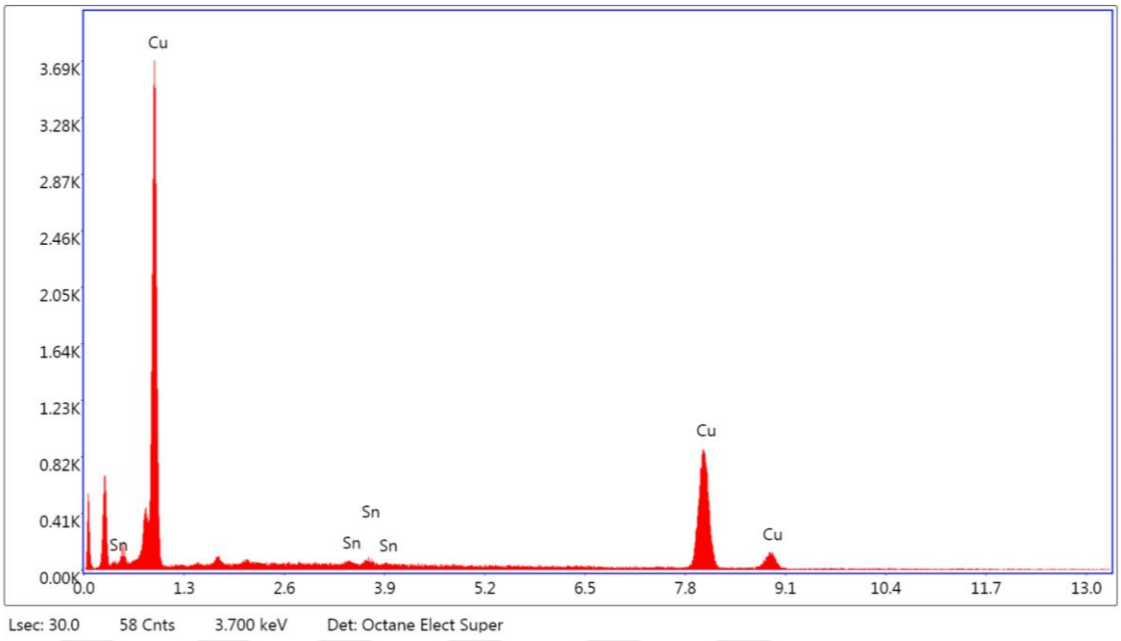
Şekil 3.11. 4 nolu numunenin SEM-EDX/EDS görüntüsü

Tablo 3.4'te 4 nolu numunenin örnek alınan kesitindeki element dağılım oranları verilmektedir. Tablo incelendiğinde numunenin ağırlıkça %1,55'inin kalay, %98,45'inin bakır olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.4. 4 nolu numunenin element dağılım oranları

Element	Ağırlık %	Atomik %	Net
Sn	1,55	0,83	9,18
Cu	98,45	99,17	463,82

Şekil 3.12'de 4 nolu numunenin örnek alınan kesitindeki element dağılım grafiği verilmektedir. Grafik incelendiğinde kalay ve bakır tepe noktaları görülmektedir.



Şekil 3.12. 4 nolu numunenin element dağılım grafiği

Özet olarak EDX/EDS analizleri sonucunda 4 numunedeki tellerin de kalay kaplı bakır olduğu net bir şekilde görülmektedir. Tablo 3.5'te tüm numunelerin element dağılım oranlarının karşılaştırması gösterilmektedir:

Tablo 3.5. 4 numunenin element dağılım oranlarının karşılaştırması

Numune No	**Ağırlıkça Kalay Oranı (%)**	**Ağırlıkça Bakır Oranı (%)**
1	4,99	95,01
2	1,19	98,81
3	1,25	98,75
4	1,55	98,45

Elde edilen numunelerin FESEM sonuçlarına bakıldığında hepsinin kalay kaplı bakır tel olduğu açık bir şekilde görülmektedir. SEM-EDX/EDS sonuçlarına bakıldığında yine tüm numunelerin kalay kaplı bakır tel olduğu açık bir şekilde görülmektedir. SEM-EDX/EDS sonuçlarına göre ağırlıkça kalay oranı 2 ve 3 nolu numunede neredeyse aynıdır (%1,19-%1,25), 4 nolu numunede 2 ve 3 nolu numuneye yakın oran vardır (%1,55). Ancak 1 nolu numunede ağırlıkça kalay oranı diğer numunelere göre daha fazladır (%4,99). 1 nolu numune çapraz örgülü ithal numunedir. 3 nolu numune, 1 nolu numune ile aynı ölçülerde üretilen çapraz örgülü yerli numunedir. Bu sonuçlara göre çapraz örgü numunelerde ithal numunenin kalay oranı yerli numunenin yaklaşık 4 katıdır. 2 nolu

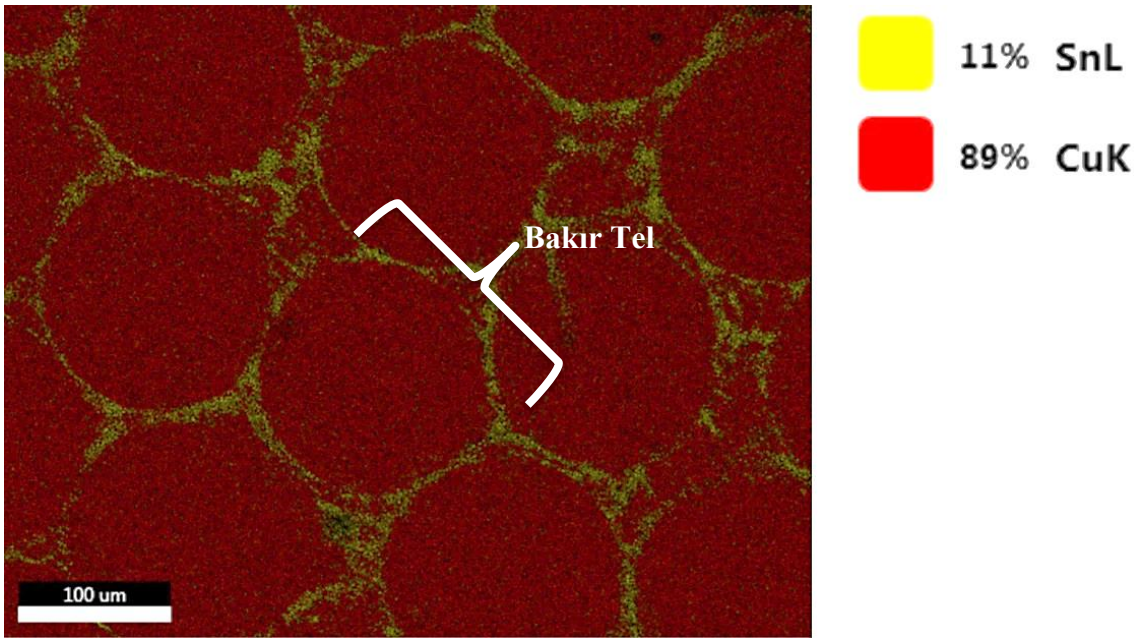
numune halat tipi örgülü ithal numunedir. 4 nolu numune 2 nolu numune ile aynı ölçülerde üretilen halat tipi yerli numunedir. Bu sonuçlara göre halat tipi numunelerde yerli numunenin kalay oranı ithal numunenin yaklaşık 1,3 katıdır.

Kalay kaplı bakır tellerden oluşan bir bonding jumperda kalay oranının ağırlıkça %1 ile %2 arasında olması gerekmektedir [19]. Çalışmamızdaki ithal numuneleri ve yerli numunelerin EDX-EDS sonuçlarına bakıldığında bu oranın karşılandığı görülmektedir. Bakırın elektrik iletkenliği kalaydan daha yüksek olduğu için kalay oranının daha az olması istenmektedir. Kalay bakırın tüm yüzeyini kaplayarak korozyon direnci, sıcaklık dayanımı ve mekanik dayanıklılığını artırmak için kullanılmaktadır. Bu yüzden ince tabakada tüm yüzeyin kaplanması yeterlidir.

3.3. SEM-Mapping Sonuçları

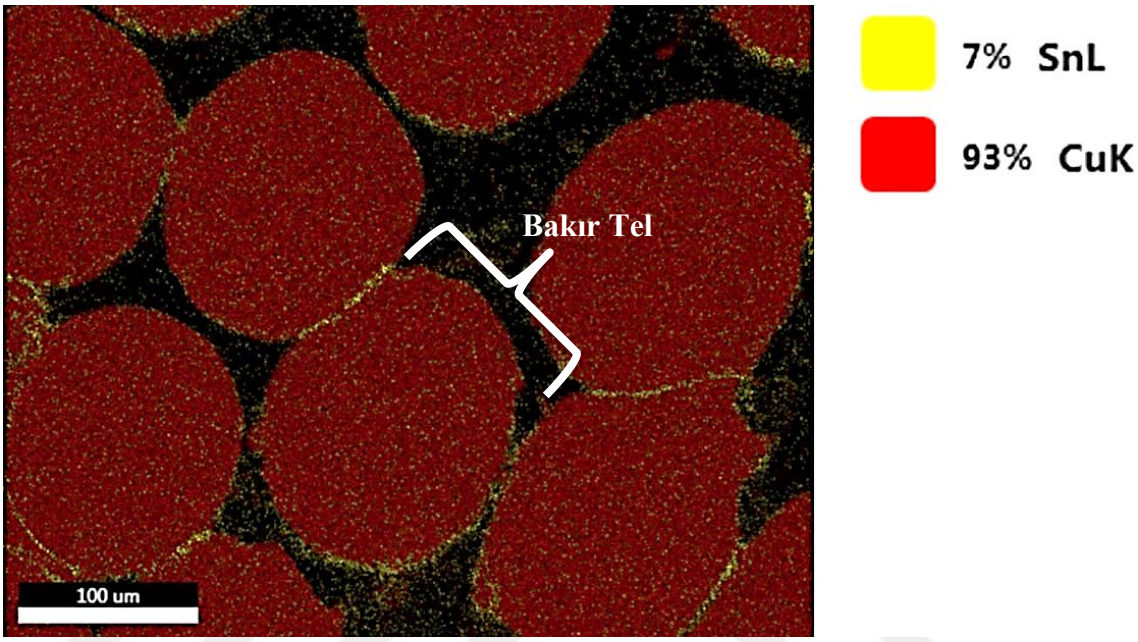
Bu çalışma kapsamında elde edilen numunelerin elementel faz incelemesi için SEM-Mapping analizi yapılmıştır.

1 nolu numunenin SEM-Mapping analizi şekil 3.13'te görülmektedir. Görüntüdeki sarı renkli kısımlar kalayı işaret ederken kırmızı renkli kısımlar bakırı işaret etmektedir. Elementel faz analiz sonuçları incelendiğinde numunenin yaklaşık %11'inin kalay, 89'unun bakır içerdiği görülmektedir.



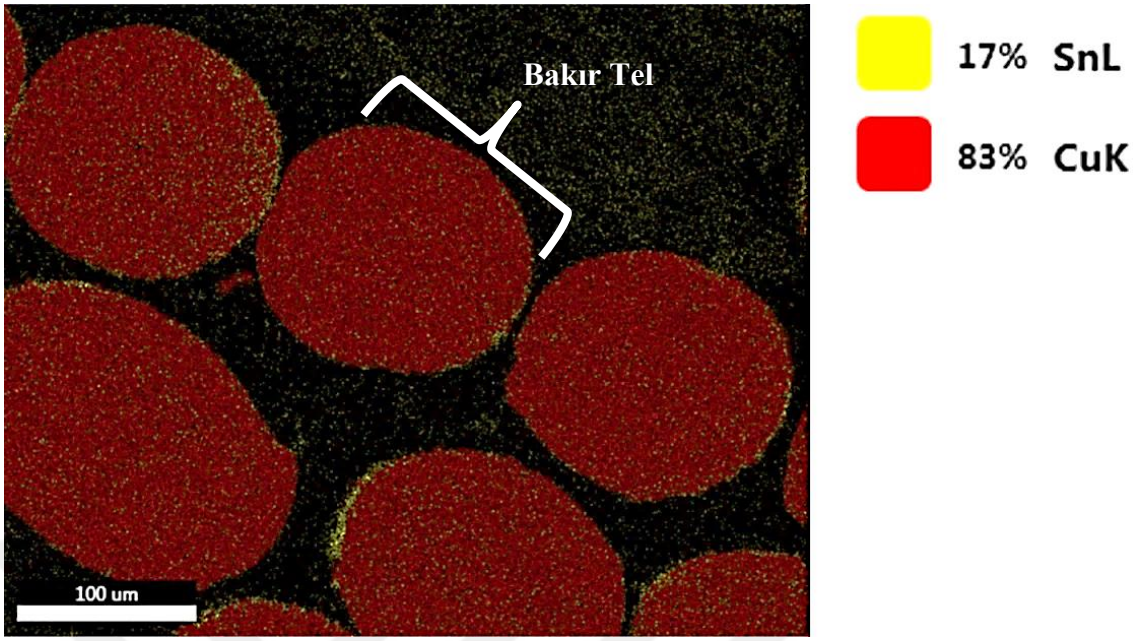
Şekil 3.13. 1 nolu numunenin SEM-Mapping görüntüsü

2 nolu numunenin SEM-Mapping analizi şekil 3.14'te görülmektedir. Görüntüdeki sarı renkli kısımlar kalayı işaret ederken kırmızı renkli kısımlar bakırı işaret etmektedir. Elementel faz analiz sonuçları incelendiğinde numunenin yaklaşık %7'sinin kalay, 93'ünün bakır içerdiği görülmektedir.



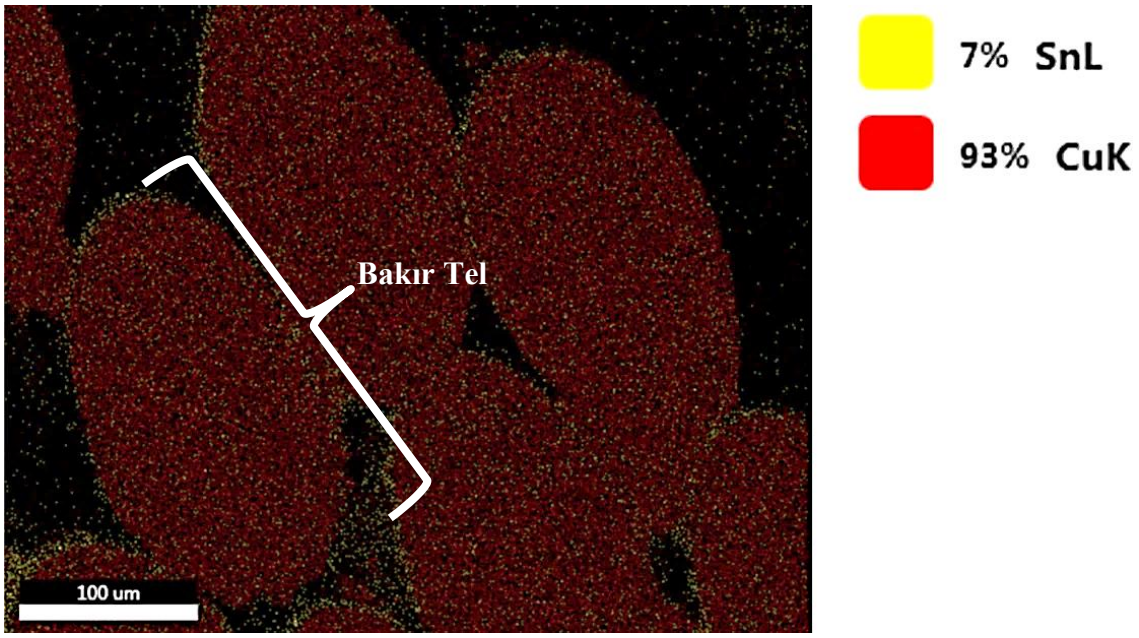
Şekil 3.14. 2 nolu numunenin SEM-Mapping görüntüsü

3 nolu numunenin SEM-Mapping analizi şekil 3.15'te görülmektedir. Görüntüdeki sarı renkli kısımlar kalayı işaret ederken kırmızı renkli kısımlar bakırı işaret etmektedir. Elementel faz analiz sonuçları incelendiğinde numunenin yaklaşık %17'sinin kalay, 83'ünün bakır içerdiği görülmektedir.



Şekil 3.15. 3 nolu numunenin SEM-Mapping görüntüsü

4 nolu numunenin SEM-Mapping analizi şekil 3.16'da görülmektedir. Görüntüdeki sarı renkli kısımlar kalayı işaret ederken kırmızı renkli kısımlar bakırı işaret etmektedir. Elementel faz analiz sonuçları incelendiğinde numunenin yaklaşık %7'sinin kalay, 93'ünün bakır içerdiği görülmektedir.



Şekil 3.16. 4 nolu numunenin SEM-Mapping görüntüsü

Tablo 3.6'da numunelerin SEM-Mapping elementel faz analizi karşılaştırması mevcuttur.

Tablo 3.6. Numunelerin elementel faz analizi karşılaştırması

Numune No	Ağırlıkça Kalay Oranı (%)	Ağırlıkça Bakır Oranı (%)
1	11	89
2	7	93
3	17	83
4	7	93

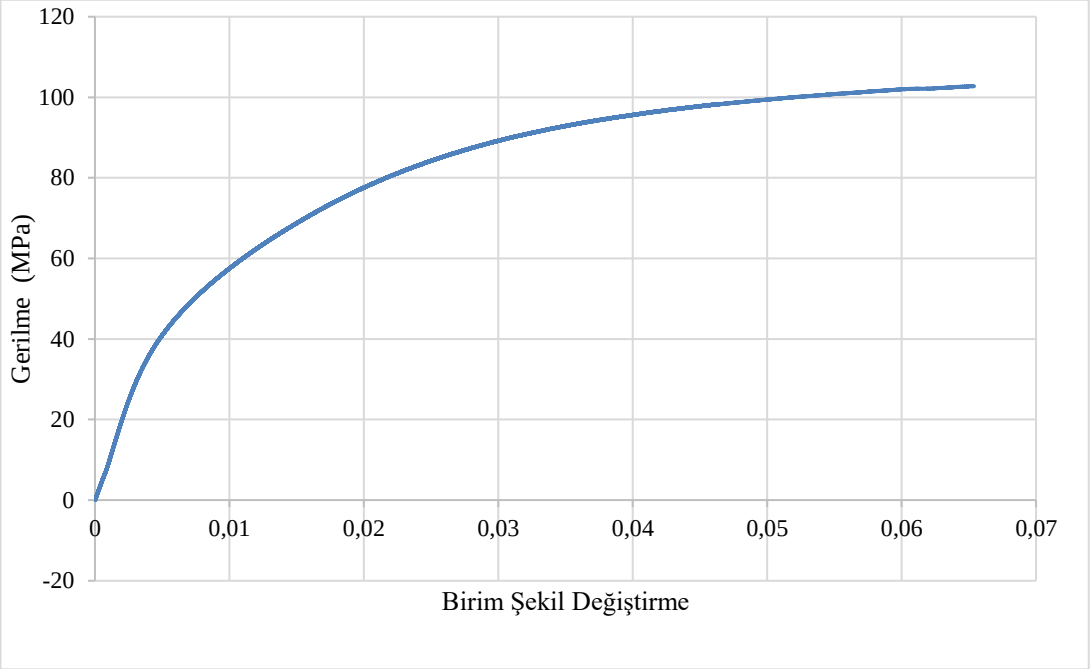
Elde edilen numunelerin SEM-mapping sonuçlarına bakıldığında hepsinin kalay kaplı bakır tel olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Aynı zamanda elementel faz analizine bakıldığında numunelerin kalay oranlarını karşılaştırılması durumunda 3 nolu numunenin en fazla orana sahip olduğu görülmektedir (%17). Sonrasında 1 nolu numune gelmektedir (%11). 2 ve 4 nolu numunelerde oran aynıdır ve en azdır (%7). Bu sonuçlara göre çapraz örgü numunelerde yerli numunenin kalay oranı ithal numunenin 1,5 katıdır. Halat tipi örgü numunelerde kalay oranı aynıdır.

SEM-mapping sonuçları karşılaştırıldığında çalışmamızdaki yerli numunelerin ithal numuneleriyle benzer kalay oranına sahip olduğu görülmektedir.

3.4. Çekme Testi Sonuçları

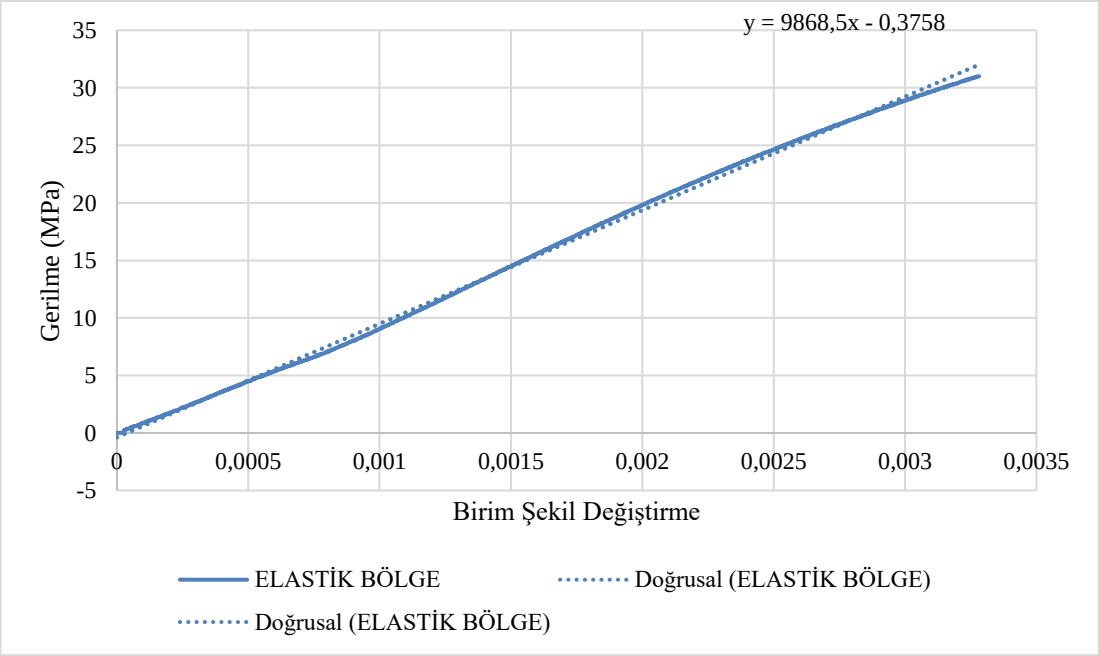
Bu tez çalışmasında elde edilen numunelere çekme yükü altındaki elastik ve plastik davranışlarını incelemek için çekme testi yapılmıştır.

1 nolu numune, elde edilen çekme testi sonuçlarına göre 30 MPa değerinde akma noktasına sahiptir. Max gerilme noktası 102,929 MPa ve max kuvvet 1325,95 Newton'dur. 1 nolu numunenin çekme testi sonucu elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 3.17'de mevcuttur.



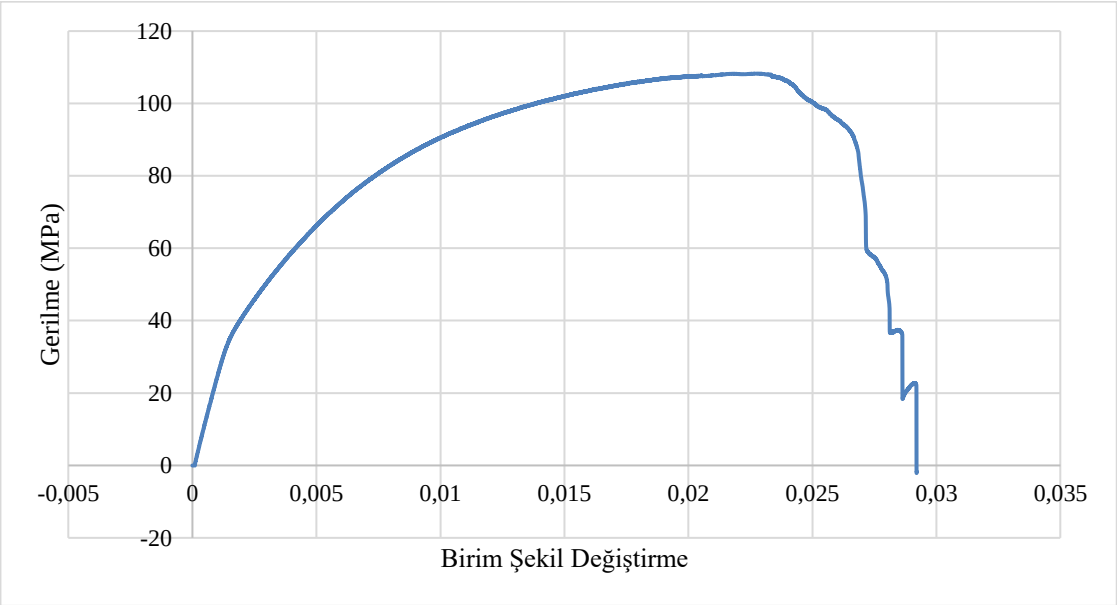
Şekil 3.17. 1 nolu numunenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

1 nolu numunede elastik bölge dikkate alındığında 9,868 GPa elastisite modülü değerine sahiptir. Numunenin elastik bölgesinin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 3.18'de mevcuttur.



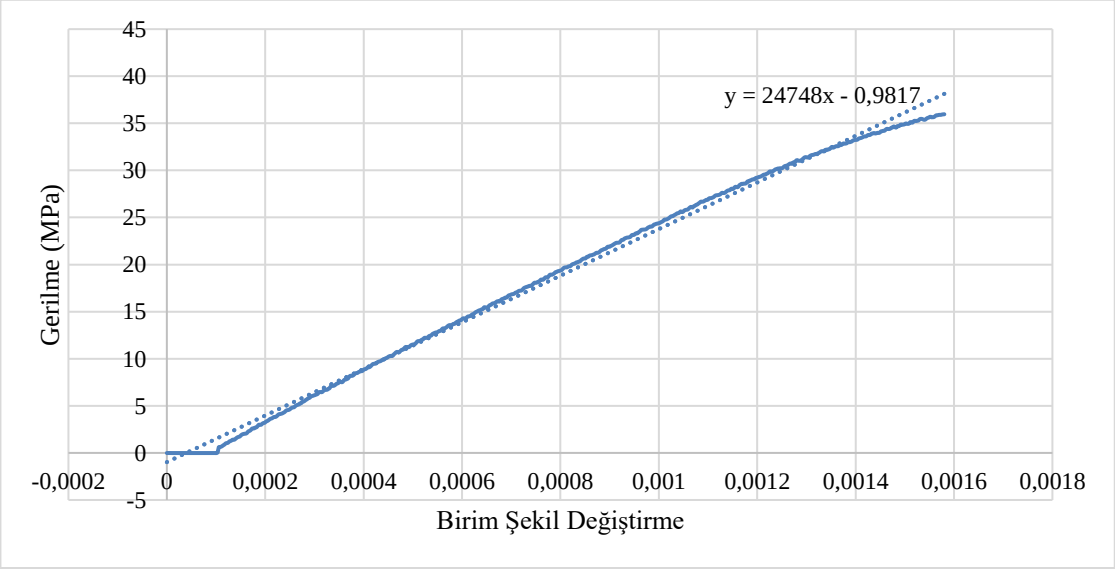
Şekil 3.18. 1 nolu numunenin elastik bölge gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

2 nolu numune, elde edilen çekme testi sonuçlarına göre 35 MPa değerinde akma noktasına sahiptir. Max gerilme noktası 108,068 MPa ve max kuvvet 547,584 Newton'dur. 2 nolu numunenin çekme testi sonucu elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 3.19'da mevcuttur.



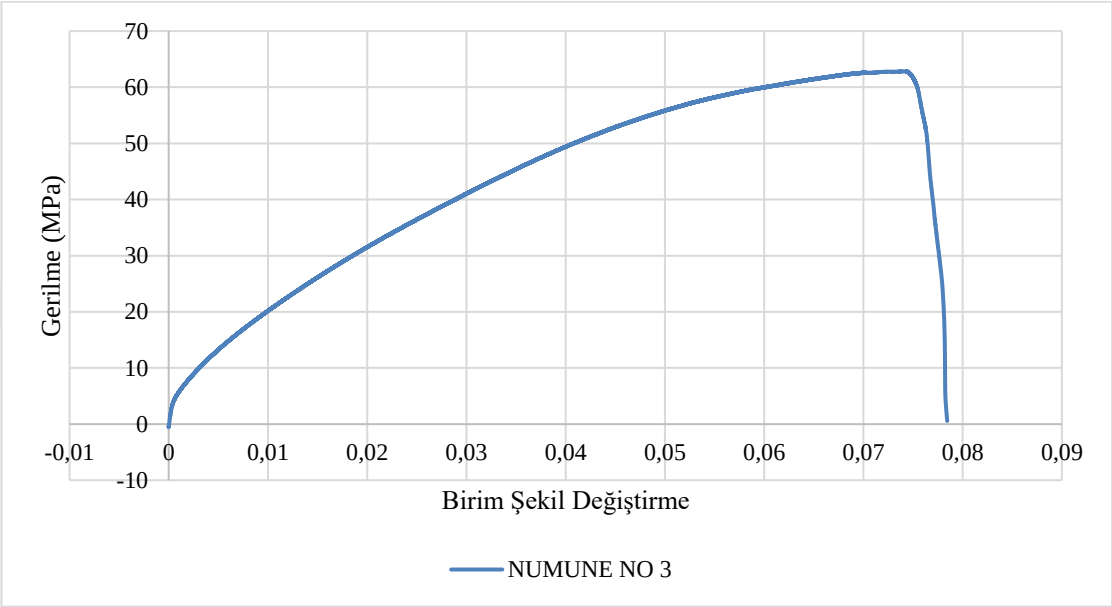
Şekil 3.19. 2 nolu numunenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

2 nolu numunede elastik bölge dikkate alındığında 24,748 GPa elastisite modülü değerine sahiptir. Numunenin elastik bölgesinin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 3.20'te mevcuttur.



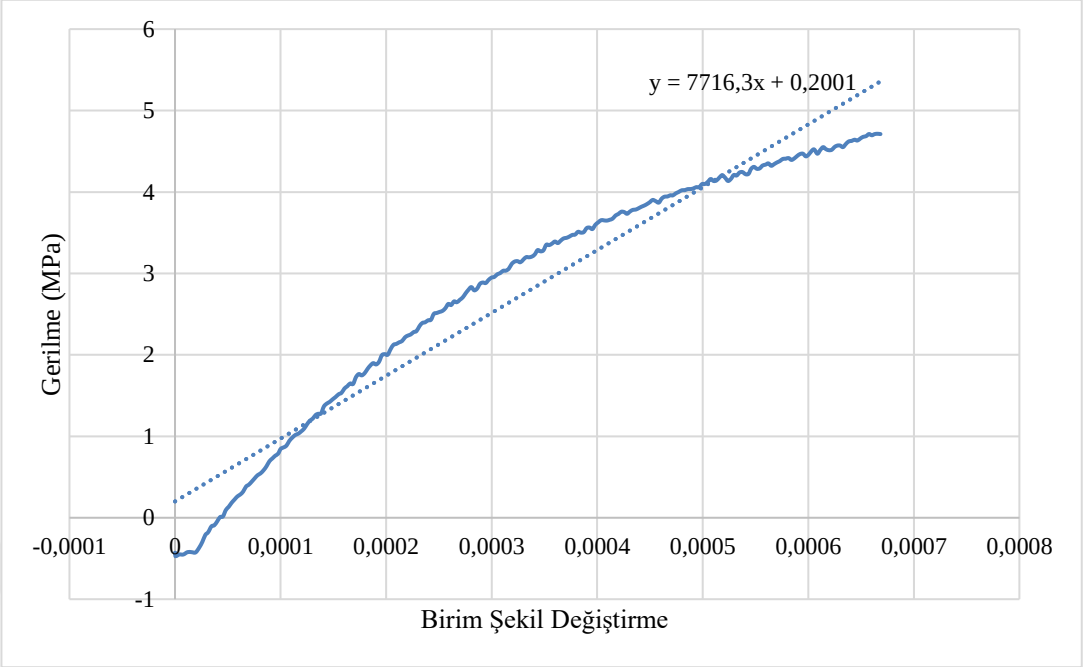
Şekil 3.20. 2 nolu numunenin elastik bölge gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

3 nolu numune, elde edilen çekme testi sonuçlarına göre 4,71 MPa değerinde akma noktasına sahiptir. Max gerilme noktası 62,7736 MPa ve max kuvvet 800,713 Newton'dur. 3 nolu numunenin çekme testi sonucu elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 3.21'de mevcuttur.



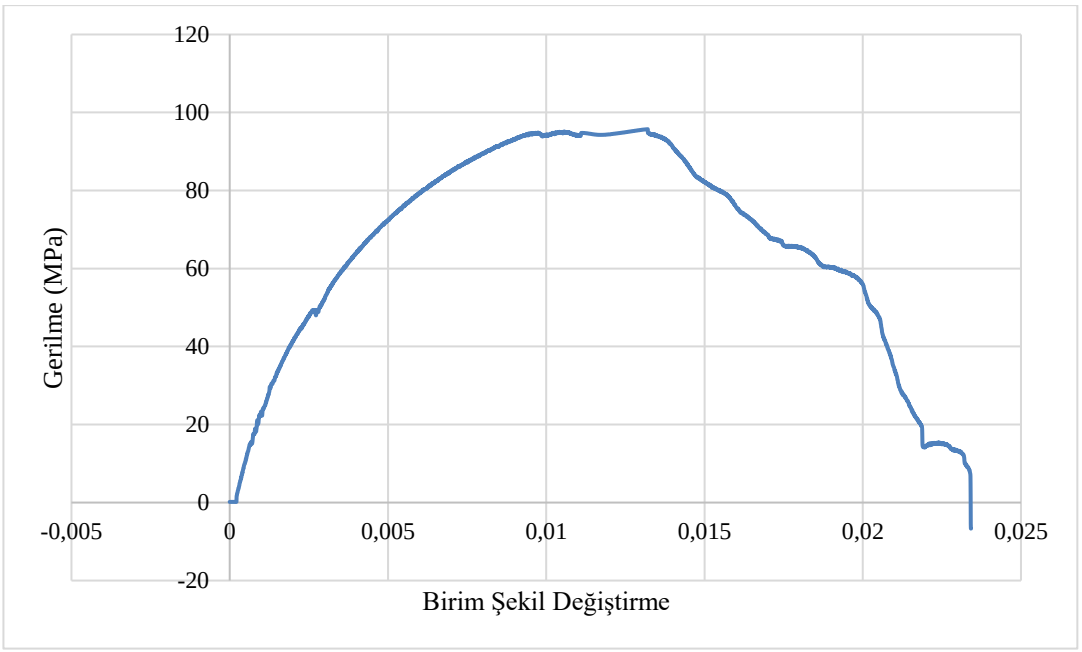
Şekil 3.21. 3 nolu numunenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

3 nolu numunede elastik bölge dikkate alındığında 7,716 GPa elastisite modülü değerine sahiptir. Numunenin elastik bölgesinin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 3.22'de mevcuttur.



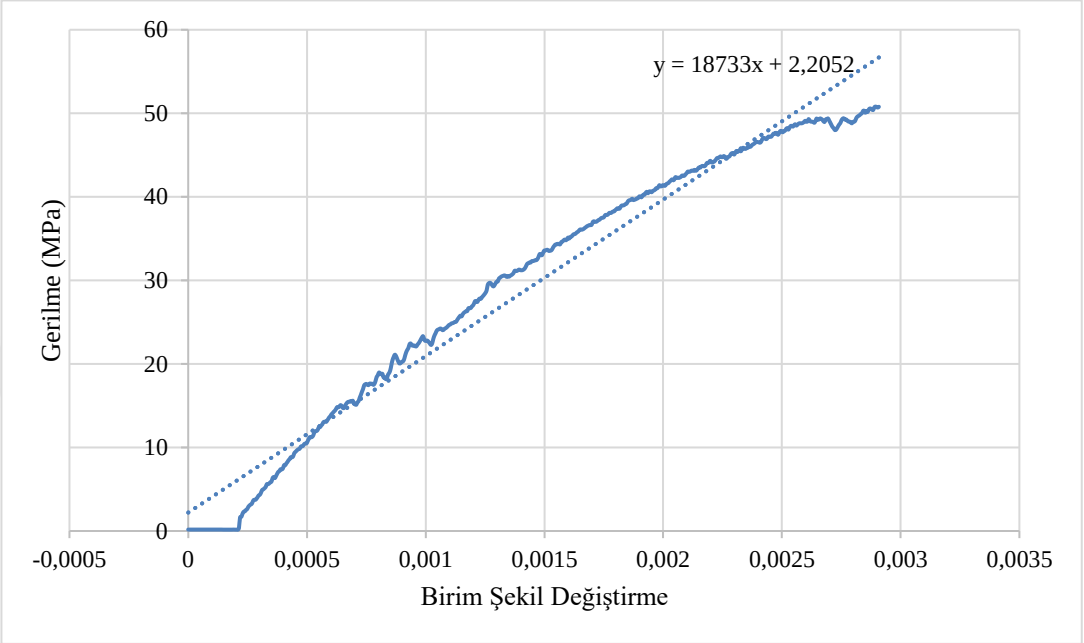
Şekil 3.22. 3 nolu numunenin elastik bölge gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

4 nolu numune, elde edilen çekme testi sonuçlarına göre 50 MPa değerinde akma noktasına sahiptir. Max gerilme noktası 95,3915 MPa ve max kuvvet 237,378 Newton'dur. 4 nolu numunenin çekme testi sonucu elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 3.23'te mevcuttur.



Şekil 3.23. 4 nolu numunenin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

4 nolu numunede elastik bölge dikkate alındığında 18,733 GPa elastisite modülü değerine sahiptir. Numunenin elastik bölgesinin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 3.24'te mevcuttur.



Şekil 3.24. 4 nolu numunenin elastik bölge gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Numunelerin çekme testi sonuçları tablo 3.7'de özetlenmiştir:

Tablo 3.7. Numunelerin çekme testi sonuçlarının karşılaştırması

Numune No	**Numune Tipi**	**Temin Edilen Yer**	**Çap (mm)**	**Boy (mm)**	**Kesit Alanı (mm^2)**	**Akma Noktası (MPa)**	**Elastisite Modülü (GPa)**	**Max Gerilme Noktası (MPa)**	**Max Kuvvet (Newton)**
1	Çapraz Örgü	İthal	4,05	168	12,88	30	9,868	102,926	1325,95
2	Halat Tipi Örgü	İthal	2,54	70	5,06	35	24,748	108,068	547,584
3	Çapraz Örgü	Yerli	4,03	61	12,75	4,71	7,716	62,7736	800,713
4	Halat Tipi Örgü	Yerli	1,78	35	2,48	50	18,733	95,3915	237,378

Numunelere yapılan çekme testi sonuçlarına bakılırsa 4 adet özellik karşılaştırması mevcuttur; akma noktası, elastisite modülü, max gerilme noktası ve max kuvvet.

Akma noktası, bir malzemenin belirli bir yüke veya gerilmeye maruz kaldığında kalıcı şekilde deformasyona uğramaya başladığı stres seviyesidir. Daha yüksek bir akma

noktası, malzemenin daha dayanıklı ve şekillenebilir olduğunu gösterirken, daha düşük bir akma noktası ise malzemenin daha kolay deformasyona uğradığını ve daha az yüke dayanabildiğini gösterir. Çekme testi sonuçlarına göre 4 nolu numunenin akma noktası en yüksektir, dolayısıyla akmaya karşı en dirençli numunedir (50 MPa). 1 ve 2 nolu numunelerin akma noktası birbirine çok yakındır (30 MPa-35 MPa). 3 nolu numunenin akma noktası en düşüktür (4,71 MPa). Bu sonuçlara göre çapraz örgü numunelerde ithal numunenin akma dayanıklılığı, yerli numunenin 6,3 katıdır. Halat tipi örgü numunelerde yerli numunenin akma dayanıklılığı ithal numunenin 1,4 katıdır.

Elastisite değeri, malzemenin gerilme sonrası ne kadar deformasyona uğradığını ve bu deformasyonun ne kadar geri döndüğünü ifade eder. Yüksek elastisite değeri, malzemenin gerildikten sonra orijinal şekline daha fazla geri dönebildiği anlamına gelirken, düşük elastisite değeri ise malzemenin gerildikten sonra orijinal şekline daha az geri dönebildiğini gösterir. Çekme testi sonuçlarına göre 2 ve 4 nolu numuneler yaklaşık aynı elastisite modülü değerlerinde ve numuneler arasında en yüksek değere sahiptir (24,7 GPa-18,7 GPa). 1 ve 3 nolu numuneler de yaklaşık aynı elastisite modülüne ve en düşük değerlere sahiptir (9,8 GPa-7,7 GPa). Bu sonuçlara göre çapraz örgü numunelerde ithal numunenin elastisite modülü yerli numunenin yaklaşık 1,2 katıdır. Halat tipi örgü numunelerde ithal numunesinin elastisite modülü yerli numunenin yaklaşık 1,3 katıdır. Elastisite değeri sonuçlarının özeti olarak yerli numunelerin ithal numunelerinden daha esnek olduğu görülmektedir. Aradaki farkın az olması aynı elastisite değerine sahip olduğu söylenebilmektedir.

Maksimum gerilme noktası, malzemenin kopma noktasına yakın olan en yüksek gerilme seviyesidir. Yüksek bir maksimum gerilme dayanımı, malzemenin yük altında daha dayanıklı olduğunu ve daha yüksek stres seviyelerine maruz kalabileceğini gösterirken, düşük bir maksimum gerilme dayanımı ise malzemenin daha kolay kırılabileceğini gösterir. Çekme testi sonuçlarına göre 1 ve 2 nolu numunenin max gerilme noktası değerleri birbirine yakındır ve en yüksek değere sahiptir (102,9 MPa-108 MPa). 4 nolu numunenin max gerilme noktası ikinci sırada gelmektedir (95,3 MPa). 4 nolu numunenin max gerilme noktası en düşüktür (62,7 MPa). Bu sonuçlara göre çapraz örgü numunelerde ithal numunenin max gerilme noktası yerli numunenin yaklaşık 1,6 katıdır. Halat tipi örgü numunelerde ithal numunenin max gerilme noktası yerli numunenin yaklaşık 1,1 katıdır.

Aradaki farkın az olması sebebiyle yerli numunelerin ithal numuneleri ile aynı çekme dayanımına sahip olduğu söylenebilmektedir.

Maksimum kuvvet, malzemenin ne kadar yük taşıyabileceğini ve ne zaman kopacağını gösterir. Bu değer, malzemenin çekme mukavemetini ve dayanıklılığını belirler. Yüksek bir maksimum çekme kuvveti, malzemenin daha dayanıklı olduğunu ve daha büyük yükler altında kopmadan direnç gösterebileceğini işaret ederken, düşük bir maksimum çekme kuvveti ise malzemenin daha kolay kırılabilir olduğunu gösterir. Çekme testi sonuçlarına göre 1 nolu numune en yüksek max kuvvet değerine sahiptir (1325,9 N). Daha sonrasında 3 nolu numune ve ardından 2 nolu numunenin max kuvvet değerleri takip etmektedir (800,7 N-237,3 N). Bu sonuçlara göre çapraz örgü numunelerde ithal numunenin max kuvvet değeri yerli numunenin yaklaşık 1,6 katıdır. Halat tipi örgü numunelerde ithal numunenin max kuvvet değeri yerli numunenin yaklaşık 2,3 katıdır. Maksimum kuvvet sonuçlarının özeti olarak yerli numunelerin ithal numunelerinden daha az dayanıklı olduğu görülmektedir. Halat tipi örgü numunelerinde yerli numunenin kesit alanı ithal numunenin kesit alanının yaklaşık yarısıdır, bu durumun sonuca etki ettiği düşünülmektedir. Çapraz örgü tip numunelerde ise aradaki farkın az olması sebebiyle aynı maksimum kuvvet değerine sahip olduğu söylenebilmektedir.

Glenair firması 0,5 mm çapındaki 1 metre uzunluğundaki çapraz örgü tip kalay kaplı bonding jumperın çekme mukavemetinin 125 lbs (yaklaşık 555 Newton) olduğunu açıklamıştır [11]. Bu ürünün max kuvvet değeri çalışmamızdaki 1,78 mm çapındaki ve 35 mm uzunluğundaki halat örgü tip yerli numunenin yaklaşık 2,33 katıdır.

R&B Electronics firması tarafından elde edilen 2,5 mm^2 kesit alanına ve 35 mm uzunluğa sahip halat örgü tip kalay kaplı bonding jumperın çekme mukavemetinin 124,552 MPa olduğunu açıklamıştır [3]. Bu ürünün çekme mukavemeti çalışmamızdaki halat örgü tip 2,48 mm^2 kesit alanına ve 35 mm uzunluğa sahip yerli numunenin yaklaşık 1,30 katıdır. Aradaki farkın az olması sebebiyle yerli numunelerin R&B Electronics firmasının numuneleri ile aynı çekme dayanımına sahip olduğu söylenebilmektedir.

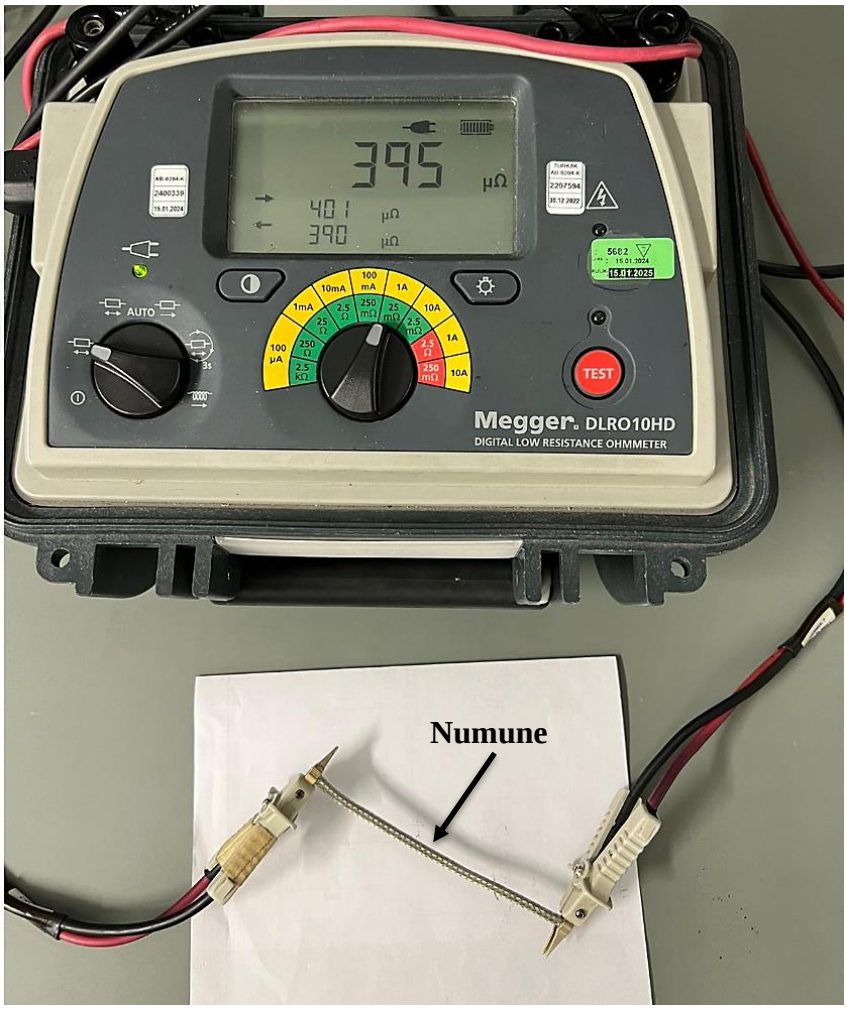
International Wire Group firması tarafından elde edilen 10 mm^2 kesit alanına ve 1000 mm uzunluğa sahip çapraz örgü tip kalay kaplı bonding jumperın çekme mukavemetinin 31,138 MPa olduğunu açıklamıştır [48]. Çalışmamızdaki çapraz örgü tip 12,88 mm^2 kesit alanına ve 168 mm uzunluğa sahip ithal numunesinin çekme mukavemeti bu ürünün

yaklaşık 3,30 katıdır. Çalışmamızdaki çapraz örgü tip 12,75 mm^2 kesit alanına ve 61 mm uzunluğa sahip yerli numunenin çekme mukavemeti bu ürünün yaklaşık 3,06 katıdır.

3.5. Elektrik Direnç Testi Sonuçları

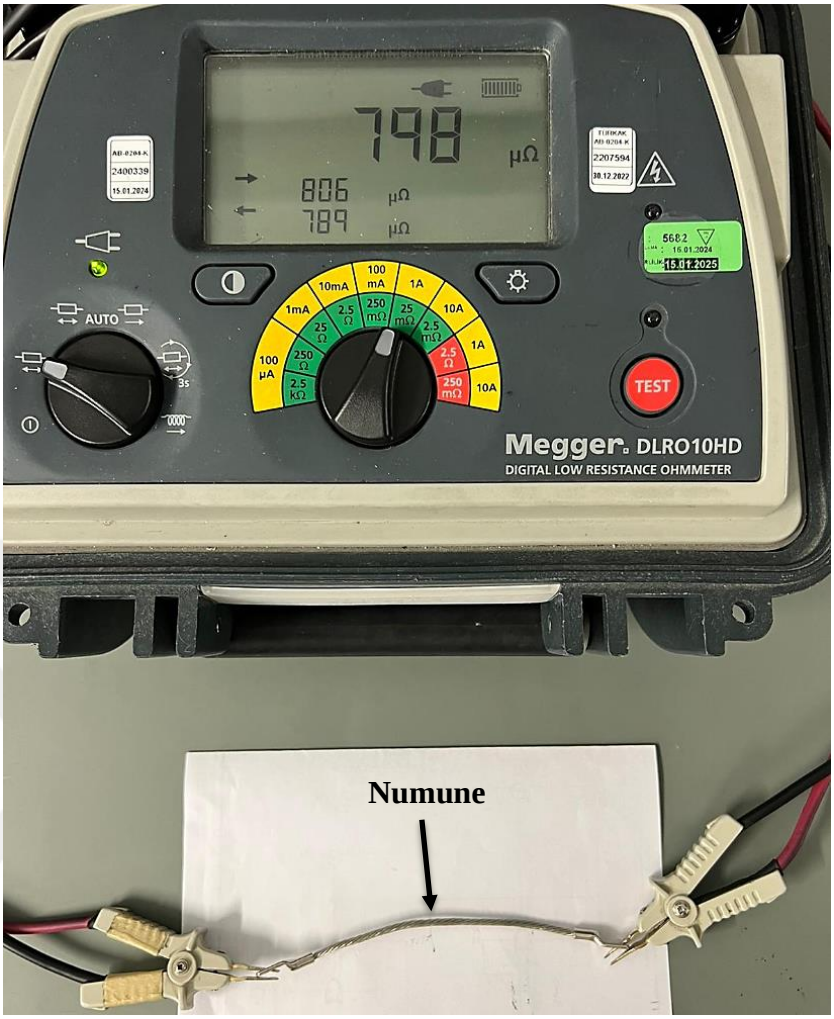
Bu tez çalışması kapsamında elde edilen numune, oda sıcaklığında (25°C) Megger DLRO10HD model DC Miliohmmetre ile elektrik direnç testine tabi tutulmuştur.

1 nolu numune, oda sıcaklığında 395 μΩ elektrik direncine sahiptir. Şekil 3.25'te 1 nolu numunenin elektrik direnç testi gösterilmektedir.



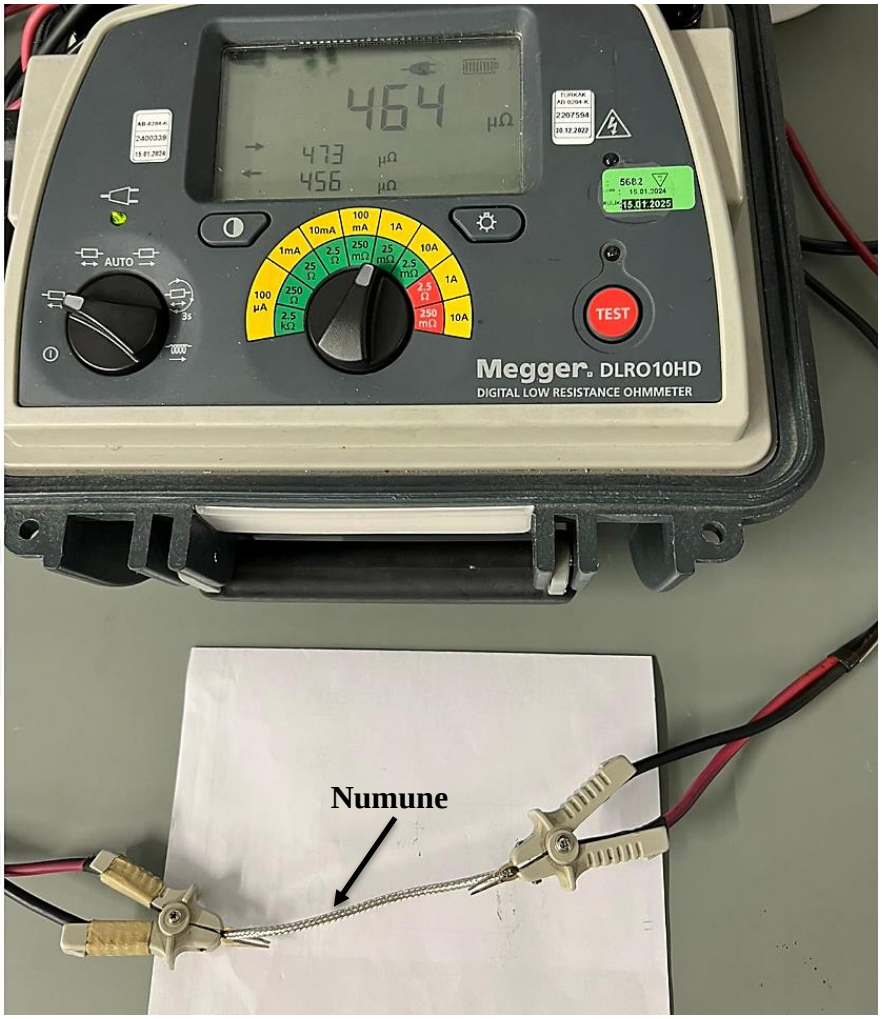
Şekil 3.25. 1 nolu numunenin elektrik direnç testi

2 nolu numune, oda sıcaklığında 798 μΩ elektrik direncine sahiptir. Şekil 3.26'da 2 nolu numunenin elektrik direnç testi gösterilmektedir.



Şekil 3.26. 2 nolu numunenin elektrik direnç testi

3 nolu numune, oda sıcaklığında 464 μΩ elektrik direncine sahiptir. Şekil 3.27'de 3 nolu numunenin elektrik direnç testi gösterilmektedir.



Şekil 3.27. 3 nolu numunenin elektrik direnç testi

4 nolu numune, oda sıcaklığında 706 μΩ elektrik direncine sahiptir. Şekil 3.28'de 4 nolu numunenin elektrik direnç testi gösterilmektedir.



Şekil 3.28. 4 nolu numunenin elektrik direnç testi

Tablo 3.8'de numunelerin elektrik direnci karşılaştırması mevcuttur:

Tablo 3.8. Numunelerin elektrik direnci karşılaştırması

Numune No	**Numune Tipi**	**Menşei**	**Çap (mm)**	**Boy (mm)**	**Kesit Alanı (mm^2)**	**Elektrik Direnci (µΩ)**
1	Çapraz Örgü	İthal	4,05	168	12,88	395
2	Halat Tipi Örgü	İthal	2,54	70	5,06	798
3	Çapraz Örgü	Yerli	4,03	61	12,75	464
4	Halat Tipi Örgü	Yerli	1,78	35	2,48	706

Elektrik direnci, bir malzemenin elektrik akımının geçişine karşı gösterdiği dirençtir. Elektrik direnci düşük olan malzemelerin elektrik iletkenliği yüksek iken elektrik direnci düşük olan malzemelerin elektrik iletkenliği düşüktür. DC Miliohmmetre elektrik direnci testi sonuçlarına göre 1 nolu numune en düşük elektrik direnci değerine sahiptir (395 μΩ). 3 nolu numune, 1 nolu numuneye yakın bir elektrik direnci değerine sahiptir (464 μΩ). 2 ve 4 nolu numunelerin elektrik direnci değerleri birbirine yakındır ve en yüksek değerdedir (798 μΩ-706 μΩ). Bu sonuçlara göre çapraz örgü numunelerde yerli numunenin elektrik direnci değeri ithal numunesinin yaklaşık 1,1 katıdır. Halat tipi örgü numunelerde ithal numunenin elektrik direnci değeri yerli numunenin yaklaşık 1,1 katıdır.

Özet olarak çapraz örgü tipi numunelerde yerli numunelerin ithal numunelerinden daha yüksek elektrik direncine sahip olduğu, halat tipi numunelerde ise yerli numunelerin ithal numunelerinden daha düşük elektrik direncine sahip olduğu görülmektedir. Halat tipi numunelerde yerli numunenin çapı ithal numunenin yaklaşık yarısı olmasına rağmen daha düşük elektrik direncine sahip olması oldukça önemli bir sonuçtur. Yerli numuneler ile ithal numunelerinin elektrik direnç değerleri arasında az bir farkın olması yaklaşık olarak aynı elektrik direncine sahip numuneler olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.9'da Cabletec firması tarafından elde edilen 100 mm uzunluğunda ve 20°C ortam sıcaklığındaki 1 metre uzunluğundaki çapraz örgü tip kalay kaplı bonding jumper elektrik dirençlerini gösterilmektedir [2].

Tablo 3.9. Cabletec bonding jumper özellikleri [2]

Kesit Alanı (mm^2)	**Elektrik Direnci (mΩ)**
1,5	1,32
4	0,40
6	0,24
10	0,14
16	0,09
25	0,06

Cabletec firmasının ürünlerinden kesit alanı 10 mm^2 olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 12,88 mm^2 olan çapraz örgü tip ithal numunesiyle karşılaştırdığımızda; çalışmamızdaki ithal numunenin elektrik direncinin Cabletec ürünün 2,82 katı olduğu tespit edilmiştir. Cabletec firmasının ürünlerinden kesit alanı 10 mm^2 olan ürün bu tez

çalışmasındaki kesit alanı 12,75 mm^2 olan çapraz örgü tip yerli numuneyle karşılaştırdığımızda; çalışmamızdaki yerli numunenin elektrik direncinin Cabletec ürünün 3,31 katı olduğu tespit edilmiştir. Cabletec firmasının ürünlerinden kesit alanı 1,5 mm^2 olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 2,48 mm^2 olan halat tip yerli numuneyle karşılaştırdığımızda; Cabletec ürünün elektrik direncinin çalışmamızdaki yerli numunenin 1,86 katı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.10'da Glenair firması tarafından elde edilen 100 mm uzunluğunda ve 20°C ortam sıcaklığındaki 1 metre uzunluğundaki çapraz örgü tip kalay kaplı bonding jumper elektrik dirençlerini göstermektedir [11].

Tablo 3.10. Glenair bonding jumper özellikleri [11]

Kesit Alanı (mm^2)	**Elektrik Direnci (mΩ)**
1,5	11,9
4	4,7
4,9	3,9
5,5	3,4
6,7	2,95
9,7	2,20
11,9	1,90
14,6	1,55

Glenair firmasının ürünlerinden kesit alanı 11,9 mm^2 olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 12,88 mm^2 olan çapraz örgü tip ithal numunesiyle karşılaştırdığımızda; Glenair ürünün elektrik direncinin çalışmamızdaki ithal numunenin 4,81 katı olduğu tespit edilmiştir. Glenair firmasının ürünlerinden kesit alanı 11,9 mm^2 olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 12,75 mm^2 olan çapraz örgü tip yerli numuneyle karşılaştırdığımızda; Glenair ürünün elektrik direncinin çalışmamızdaki yerli numunenin 4,09 katı olduğu tespit edilmiştir. Glenair firmasının ürünlerinden kesit alanı 1,5 mm^2 olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 2,48 mm^2 olan halat tip yerli numuneyle karşılaştırdığımızda; Glenair ürünün elektrik direncinin çalışmamızdaki yerli numunenin 16,85 katı olduğu tespit edilmiştir. Glenair firmasının ürünlerinden kesit alanı 4,9 mm^2 olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 5,06 mm^2 olan halat tip ithal numuneyle karşılaştırdığımızda; Glenair ürünün elektrik direncinin çalışmamızdaki ithal numunenin 4,88 katı olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak yerli numunelerin elektrik direnci Glenair ürünlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.11'de R&B Electronics firması tarafından elde edilen 20°C ortam sıcaklığındaki halat örgü tip kalay kaplı bonding jumper özelliklerini gösterilmektedir [3].

Tablo 3.11. R&B Electronics bonding jumper özellikleri [3]

Kesit Alanı (mm2)	Uzunluk (mm)	Elektrik Direnci (mΩ)
2,5	35	0,7

R&B Electronics firmasının ürünlerinden kesit alanı 2,5 mm^2 olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 2,48 mm^2 olan çapraz örgü tip yerli numuneyle karşılaştırdığımızda; elektrik direnç değerlerinin aynı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.12'de International Wire Group firması tarafından elde edilen 20°C ortam sıcaklığındaki çapraz örgü tip kalay kaplı bonding jumper özelliklerini gösterilmektedir [48].

Tablo 3.12. International Wire Group bonding jumper özellikleri [48]

Kesit Alanı (mm^2)	Uzunluk (mm)	Elektrik Direnci (mΩ)
10	1000	2,3

International Wire Group firmasının ürünlerinden kesit alanı 10 mm^2 ve uzunluğu 1000 mm olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 12,88 mm^2 ve uzunluğu 168 mm olan çapraz örgü tip ithal numuneyle karşılaştırdığımızda; International Wire Group ürünün elektrik direnci çalışmamızdaki ithal numunenin 5,82 katı olduğu tespit edilmiştir. International Wire Group firmasının ürünlerinden kesit alanı 10 mm2 ve uzunluğu 1000 mm olan ürün bu tez çalışmasındaki kesit alanı 12,75 mm^2 ve uzunluğu 61 mm olan çapraz örgü tip yerli numuneyle karşılaştırdığımızda; International Wire Group ürünün elektrik direnci çalışmamızdaki yerli numunenin 4,95 katı olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak çalışmadaki yerli numunelerin elektrik direnci International Wire Group firmasının ürünlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

3.2.Tartışma ve Öneriler

Bu tez çalışmasında THY Teknik firmasının A320 tip dar gövde yolcu uçağında kullanılan ithal bonding jumperlar ve ülkemizdeki kaynaklar ile üretilen kalay kaplı bakır

tellerden oluşan yerli bonding jumper numuneleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için SEM, EDX, çekme testi, elektrik direnci testi yapılmıştır. Ayrıca uluslararası alanda önde gelen firmaların bonding jumper katalogları incelenerek bu kataloglardaki değerler ile yerli numuneler karşılaştırılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda şu sonuçlara varılmıştır:

- SEM analizi sonucunda yerli numunelerin bonding jumper tel standardı için gerekli olan ağırlıkça %1 ile %2 arasındaki kalay kaplama oranına ulaştığı tespit edilmiştir. Çalışmada karşılaştırılan ithal ile yerli numunelerin aynı kalay oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Yerli numunelerin ithal numunelere göre daha sünek bir davranış sergilediği ve benzer çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Uluslararası alanda önde gelen firmaların bonding jumper katalogları incelendiğinde yerli numunelerin çekme dayanımının International Wire Group firmasına göre daha yüksek ve R&B firmasıyla aynı değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Yerli numunelerin ithal numunelere göre birbirine çok yakın elektrik direnci değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin bonding jumper standardına uygun olduğu görülmüştür.

- Uluslararası alanda önde gelen Cabletec firmasının kataloğunda belirtilen halat tipi örgü bonding jumperların yerli numune ile aynı elektrik direnci değerine sahip olduğu, çapraz örgülü bonding jumperların ise çalışmamızdaki hem ithal hem de yerli numunelerden daha az elektrik direnci değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Uluslararası alanda önde gelen Glenair ve International Wire Group firmalarının kataloglarında belirtilen bonding jumperların yerli numunelerden daha yüksek elektrik direnci değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Uluslararası alanda önde gelen R&B firmasının kataloğunda belirtilen bonding jumperların yerli numuneler ile aynı elektrik direnci değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Bu tez çalışması sonucunda, ithal edilen "bonding jumper" ürününün, Türkiye'de tamamen yerli imkanlarla aynı standartlarda üretilebileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışma, Türkiye'deki literatürde "bonding jumper" kavramının ilk kez yer almasını sağlamıştır. Ayrıca, bonding jumper ürününü bu şekilde ele alan bir çalışma, uluslararası literatürde de ilk kez gerçekleştirilmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının, Türkiye'deki yerli ve milli ürünlere ilham kaynağı olması hedeflenmektedir. Bonding jumper ürününün Türkiye'de tamamen yerli imkanlarla üretilmesi ve standartlara uygun test edilmesi için, Türkiye'deki firmaların girişimde bulunması önerilmekte ve bu firmalara ilham kaynağı olması amaçlanmaktadır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, Türkiye'nin yerli ürün üretme kapasitesini ortaya koyması ve söz konusu ürünün Türkiye'de üretilebilirliğini göstermesi bakımından önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Fisher, F. A., Plumer, J. A., Perala, R. A. (1989). Aircraft Lightning Protection Handbook. Natioal Academies, (No. DOT/FAA/CT-89/22), 270 s.
2. Cabletec, 2020. Metal braids screening braid and bonding leads. **Cabletec**, 3.
3. R&B Electronics, 2010). Bonding Jumper Catalogue. R&B Electronics, 71 s.
4. Florida Institute of Technology, 1977. Workshop on Grounding and Lightning Protection. **Federal Aviation Administration**, 443 pp.
5. Wikipedia, TWA flight 800. (Web sayfası: **https://en.wikipedia.org/wiki/TWA_Flight_800**), (Erişim tarihi: Temmuz 2024).
6. National Fire Protection Association, 2007. NFPA 70: National Electrical Code. National Fire Protection Association, 821 pp.
7. Atlas ID, 2009. Grounding and Bonding of the Al Parts. Federal aviation Administration, 63 pp.
8. Interconnect Solution Group, 2015. Bonding Leads. Interconnect Solution Group, 71 pp.
9. Turkish Aerospace Incorporation, 2024. Bonding Jumper Report. Turkish Aerospace Incorporation, 58 pp.
10. Turkish Technic, 2024. Bonding Jumper Feasibility Report. Turkish Technic A. Ş., 80 pp.
11. Glenair, 2017. Braided wire protection. **Glenair**, January 2017.
12. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, Onaylı bakım kuruluşları. (Web sayfası: **https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/havacilik_isletmeleri/bakim_kuruluslari/SHT-145-yerli-090124.pdf**), (Erişim tarihi: Ağustos 2024).
13. Lalanne, C., 2014. Mechanical Vibration and Shock Analysis, Sinusoidal Vibration (Vol. 1). John Wiley & Sons. 393 pp.
14. Pope, M. H., Wilder, D. G., Jorneus, L., Broman, H., Svensson, M., Andersson, G., 1987. The response of the seated human to sinusoidal vibration and impact. **Journal of Biomechanical Engineering, 11**(109).
15. Van Baren, J., 2012. What is random vibration testing?. **Sound and Vibration, 46**(2).
16. Crandall, S. H., Mark, W. D., 2014. Random Vibration in Mechanical Systems. Academic Press, 165 pp.

17. Hähner, P., Rinaldi, C., Bicego, V., Affeldt, E., Brendel, T., Andersson, H., Rae, C., 2008. Research and development into a European code-of-practice for strain-controlled thermo-mechanical fatigue testing. **International Journal of Fatigue, 30**(2):372-381.
18. Lee, Y. L., 2005. Fatigue Testing and Analysis: Theory and Practice (Vol. 13). Butterworth-Heinemann, 380 pp.
19. European Association of Aerospace Industries, 2004. prEN4199-004, 80 pp.
20. Wohler, T., Yorulma test cihazları. (Web sayfası: **https://yorulmatest.blogspot.com/2018/**), (Erişim tarihi: Ağustos 2024).
21. Zhang, J. W., Cao, D. K., Diaham, S., Zhang, X., Yin, X. Q., Wang, Q., 2019. Research on potential induced degradation (PID) of polymeric backsheet in PV modules after salt-mist exposure. **Solar Energy, 188**:475-482.
22. Wang, B., Ci, S., Zhou, M., Di, C., Yu, J., Zhu, B., Qiao, K., 2023. Effects of hygrothermal and salt mist ageing on the properties of epoxy resins and their composites. **Polymers, 15**(3):725.
23. Boelhoff, Onaylanmış test laboratuvarı. (Web sayfası: **https://www.boellhoff.com/tr-tr/hizmetler/onaylanmis-test-laboratuvari/**), (Erişim tarihi: Ağustos 2024).
24. Tan, P. M. S., Lee, J. K. W., 2015. The role of fluid temperature and form on endurance performance in the heat. **Scandinavian Journal Of Medicine & Science in Sports, 25**: 39-51.
25. Alhadad, S. B., Tan, P. M., Lee, J. K., 2019. Efficacy of heat mitigation strategies on core temperature and endurance exercise: a meta-analysis. **Frontiers in physiology, 10:**71.
26. Eorolab, Isı dayanım ve geçirgenlik testleri. (Web sayfası: **https://www.belge.com/laboratuvar/spesifik-testler/isi-dayanim-ve-gecirgenlik-testleri/**), (Erişim tarihi: Ağustos 2024).
27. Kreczanik, P., Venet, P., Hijazi, A., Clerc, G., 2013. Study of supercapacitor aging and lifetime estimation according to voltage, temperature, and RMS current. **IEEE Transactions on industrial electronics, 61**(9):4895-4902.
28. Ahmad, H., Wan, W. Y., Isa, D., 2018. Modeling the ageing effect of cycling using a supercapacitor-module under high temperature with electrochemical impedance spectroscopy test. **IEEE Transactions on Reliability, 68**(1):109-121.

29. Toro, Electrical Starting/Charging. (Web sayfası: **https://media.toro.com/toroumaterials/pdf/08163sl.pdf**), (Erişim tarihi: Ağustos 2024).
30. Fluke, Electrical automotive troubleshooting. (Web sayfası: **https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/automotive/electrical-automotive-troubleshooting?srsltid=AfmBOopGzxde7hSs9ufmliC9jBQ_JAXD9HZnZxSGeFwcx73kdLxhEdwy**), (Erişim tarihi: Ağustos 2024).
31. Federal Aviation Administration, 1998. Acceptable methods, techniques and practices-aircraft inspection and repair. **Advisoru Circular, 43.13-1B** (1):646 pp.
32. Davis, J. R., 2004. Tensile Testing. ASM international.279 pp.
33. Vikipedi, Çekme testi. (Web sayfası: **https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:%C3%87ekme_Testi.jpg**), (Erişim tarihi: Ağustos 2024).
34. Rider, A. N., Yeo, E., 2005. The chemical resistance of epoxy adhesive joints exposed to aviation fuel and its additives. **Australian Government Department of Defence, DSTO-TR-1650.**
35. Kumar, Y. K., Lohchab, D. S., 2016. Influence of aviation fuel on mechanical properties of glass fiber-reinforced plastic composite. **Chennai: IARJSET, 3**(4):58-66.
36. Guo, Y., Ma, H., Ning, X., Li, X., Yuan, H., Ma, H., 2022. Effect of concentration of thiourea and ammonium citrate, electrodeposition stirring speed and current density on Sn-Ag-Cu coating for small size substrate, pp 1-5. *2022 23rd International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT)* 10-13 August 2022, IEEE.
37. Fabbri, L., Giurlani, W., Mencherini, G., De Luca, A., Passaponti, M., Piciollo, E., Innocenti, M., 2022. Optimisation of thiourea concentration in a decorative copper plating acid bath based on methanesulfonic electrolyte. **Coatings, 12**(3):376.
38. Nallusamy, S., Babu, A. M., 2016. X-ray Differaction and FESEM analysis for mixture of hybrid nanoparticles in heat transfer applications. **Journal of Nano Research, 37**:58-67.
39. Moharir, R. V., Kumar, S., 2021. Structural characterization of LDPE films to analyse the impact of heavy metals and effect of UV pre-treatment on polymer degradation. **Journal of Cleaner Production, 298**, 126670.

40. Shirley, B., Jarochowska, E., 2022. Chemical characterisation is rough: the impact of topography and measurement parameters on energy-dispersive X-ray spectroscopy in biominerals. **Facies, 68**(2):7.

41. Cabezas, E. E., & Celentano, D. J., 2004. Experimental and numerical analysis of the tensile test using sheet specimens. **Finite Elements in Analysis and Design, 40**(5-6):555-575.

42. Celentano, D. J., Cabezas, E. E., García, C. M., Monsalve, A. E., 2004. Characterization of the mechanical behaviour of materials in the tensile test: experiments and simulation. **Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, 12**(4):425.

43. Azarsa, P., Gupta, R., 2017. Electrical resistivity of concrete for durability evaluation: a review. **Advances in Materials Science and Engineering, 2017**(1):8453095.

44. International Wire Group, Product catalog. (Web sayfası: **https://internationalwire.com/wp-content/uploads/Product-Catalog-HPC.pdf**), (Erişim tarihi: Ağustos 2024).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Faruk KOCA
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri:
Medeni Durum:
e-mail:
Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Uçak Mühendisliği	2024
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Uçak Gövde Motor	2018
Lise	Açıköğretim Lisesi, Ankara	2014

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2018-Halen	THY Teknik A.Ş.	Uçak Bakım Teknisyeni

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR