T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV KABLOLAMA SEKTÖRÜNDE KULLANILAN BAĞLANTI NOKTALARININ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ÇEKİN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

NİSAN 2025

T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV KABLOLAMA SEKTÖRÜNDE KULLANILAN BAĞLANTI NOKTALARININ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ÇEKİN
(22434964011)
ORCID: 0009-0002-0949-1013

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ
ORCID: 0000-0002-1987-5750

NİSAN 2025

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Fatih ÇEKİN

İmzası:

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca desteklerinden dolayı sayın hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmam boyunca bana desteklerini esirgemeyen Sayın Müdürlerim Rıdvan ŞEN, Onur KÖRPE, Selver ÇİFTLİ'ye ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak, yüksek lisansa başlamam ve tamamlamam konusunda her zaman beni destekleyen aileme çok teşekkür eder ve sevgilerimi sunarım.

Nisan 2025

Fatih ÇEKİN
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **viii**
KISALTMALAR ..... **ix**
SEMBOLLER ..... **x**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiv**
SUMMARY ..... **xvi**
1. GİRİŞ – OTOMOTİV KABLOLAMA SİSTEMLERİ ÜRETİMİ **1**
2. KABLOLAMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN BAĞLANTI ELEMANLARI VE YÖNTEMLERİ **3**
2.1 Terminal Kıvırma (krimpleme) İşlemi 5
2.1.1 Terminal kıvırma (krimpleme) işlemi uygulama alanları 7
2.1.2 Terminal kıvırma (krimpleme) standartları ve şekilleri 7
2.2 Ultrasonik Kaynak Metodu 9
2.3 Çalışmanın Amacı 10
2.4 Literatür Araştırması 11
3. MATERYAL VE YÖNTEM **16**
3.1 Krimpli Tel Kombinasyonları 16
3.2 Krimpli Tel Kombinasyonunda Kullanılan Malzemeler 16
3.3 Terminal kıvırma (krimpleme) Testleri ve Analizleri 19
3.3.1 Mikro kesit analizi 19
3.3.2 Elekriksel direnç ölçüm testi 21
3.3.3 Çekme testi analizi 24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA **26**
4.1 Mikro Kesit Analiz Uygulaması 26
4.2 Çekme Testi Sonuçları 41
4.3 Elektriksel Test Sonuçları 42
5. SONUÇ **56**
KAYNAKLAR **61**
ÖZGEÇMİŞ **65**

KISALTMALAR

ABD **:** Amerika Birleşik Devletleri
AVG/AWG **:** American Wire Gauge
CMT **:** Contact Material Thickness
ECM **:** Engine Control Module
EV **:** Electrical Vehichle
FEM **:** Finite Element Analysis
IEC **:** International Electrotechnical Commission
K1A **:** Kombinasyon 1 A durumu
K1B **:** Kombinasyon 1 B durumu
K2A **:** Kombinasyon 2 A durumu
K2B **:** Kombinasyon 2 B durumu
K3A **:** Kombinasyon 3 A durumu
K3B **:** Kombinasyon 3 B durumu
OEM **:** Original Equipment Manufacturer
PP **:** Polipropilen
PVC **:** Polivinil klorür
USCAR **:** United States Council for Automotive Research

SEMBOLLER

Bb **:** Çapak kalınlığı

Bh **:** Çapak yüksekliği

C_b **:** Terminal kıvırma (krimpleme) genişliği

C_{bm} **:** Ölçülebilen terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği

C_h **:** Terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği

E **:** Kanatlar arasındaki mesafe

I **:** Akım

N **:** Newton

R **:** Direnç

R_k **:** Terminal kıvırma (krimpleme) direnç değeri

R_m **:** Ölçülen direnç değeri

R_t **:** Tel direnç değeri

S_0 **:** Bakır telin orginal kesit alanı

S_1 **:** Terminal kıvırma (krimpleme) işlemi sonucunda oluşan bakır telin kesit alanı

V **:** Volt

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Terminal-tel kombinasyonları. **16**
Çizelge 3.2 : Tellerin sıcaklık sınıflandırması **18**
Çizelge 3.3 : IEC 60352-2 standardına göre lehimsiz bağlantılar için minimum kopma değerleri **24**
Çizelge 3.4 : Tedarikçi minimum kopma değerleri. **25**
Çizelge 4.1 : Kombinasyon 1 ölçüm sonuçları. **27**
Çizelge 4.2 : Kombinasyon 2 ölçüm sonuçları. **28**
Çizelge 4.3 : Kombinasyon 3 ölçüm sonuçları. **29**
Çizelge 4.4 : Kombinasyon 4 ölçüm sonuçları. **30**
Çizelge 4.5 : Kombinasyon 5 ölçüm sonuçları. **31**
Çizelge 4.6 : Kombinasyon 6 ölçüm sonuçları. **32**
Çizelge 4.7 : Kombinasyon 7 ölçüm sonuçları. **33**
Çizelge 4.8 : Kombinasyon 8 ölçüm sonuçları. **34**
Çizelge 4.9 : Kombinasyon 9 ölçüm sonuçları. **35**
Çizelge 4.10 : Kombinasyon 10 ölçüm sonuçları. **36**
Çizelge 4.11 : Kombinasyon 11 ölçüm sonuçları. **37**
Çizelge 4.12 : Kombinasyon 12 ölçüm sonuçları. **38**
Çizelge 4.13 : Kombinasyon 13 ölçüm sonuçları. **39**
Çizelge 4.14 : Kombinasyon 14 ölçüm sonuçları. **40**
Çizelge 4.15 : Çekme testi sonuçları. **41**
Çizelge 4.16 : Kombinasyon 1 direnç ölçüm sonuçları. **42**
Çizelge 4.17 : Kombinasyon 2 direnç ölçüm sonuçları. **43**
Çizelge 4.18 : Kombinasyon 3 direnç ölçüm sonuçları. **44**
Çizelge 4.19 : Kombinasyon 4 direnç ölçüm sonuçları. **45**
Çizelge 4.20 : Kombinasyon 5 direnç ölçüm sonuçları. **46**
Çizelge 4.21 : Kombinasyon 6 direnç ölçüm sonuçları. **47**
Çizelge 4.22 : Kombinasyon 7 direnç ölçüm sonuçları. **48**
Çizelge 4.23 : Kombinasyon 8 direnç ölçüm sonuçları. **49**
Çizelge 4.24 : Kombinasyon 9 direnç ölçüm sonuçları. **50**
Çizelge 4.25 : Kombinasyon 10 direnç ölçüm sonuçları. **51**
Çizelge 4.26 : Kombinasyon 11 direnç ölçüm sonuçları. **52**
Çizelge 4.27 : Kombinasyon 12 direnç ölçüm sonuçları. **53**
Çizelge 4.28 : Kombinasyon 13 direnç ölçüm sonuçları. **54**
Çizelge 4.29 : Kombinasyon 14 direnç ölçüm sonuçları. **55**
Çizelge 5.1 : Test sonuçları. **56**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Araç kablo demetleri görünümü **1**
Şekil 1.2 : Araç kablo demeti üretimi **2**
Şekil 2.1 : Dişi ve erkek konnektör parçaları. **3**
Şekil 2.2 : Terminal parçaları. **4**
Şekil 2.3 : Krimplenmiş tel ve terminal kombinasyonları. **4**
Şekil 2.4 : ZCTSA 2 Ton terminal kıvırma (krimpleme) presi. **5**
Şekil 2.5 : Krimplenmiş tel. **6**
Şekil 2.6 : Krimpli tel kesiti örneği. **8**
Şekil 2.7 : Krimpli tel kesit örneği. **8**
Şekil 2.8 : Ultrasonik kaynak görüntüsü. **9**
Şekil 2.9 : Ultrasonik kaynak makinası. **9**
Şekil 2.10 : Doğru ve yanlış terminal kıvırma (krimpleme) kesit alanı görüntüleri. **12**
Şekil 2.11 : FEM ile eşdeğer plastik gerimi **13**
Şekil 2.12 : 2.30 mm crimp yüksekliği final şekilleri. **13**
Şekil 3.1 : Terminal 1 görünümü. **17**
Şekil 3.2 : Terminal 2 görünümü. **17**
Şekil 3.3 : Krimp yükseliği ve krimp genişliğinin görünümü. **19**
Şekil 3.4 : Mikro kesit görünümü. **20**
Şekil 3.5 : Mikrolab ML3700 Mikrografi. **21**
Şekil 3.6 : Termal Şok Döngü diagramı. **22**
Şekil 3.7 : KEITHLEY 2750 Multimetre. **23**
Şekil 3.8 : FitoTerm termal şoklama kabin. **23**
Şekil 3.9 : Mecmesin Multitest 2.5 i. **25**
Şekil 4.1 : Mecal P080. ..... **26**
Şekil 4.2 : Kombinasyon 1 mikro kesit görünümü. **27**
Şekil 4.3 : Kombinasyon 2 mikro kesit görünümü. **28**
Şekil 4.4 : Kombinasyon 3 mikro kesit görünümü. **29**
Şekil 4.5 : Kombinasyon 4 mikro kesit görünümü. **30**
Şekil 4.6 : Kombinasyon 5 mikro kesit görünümü. **31**
Şekil 4.7 : Kombinasyon 6 mikro kesit görünümü. **32**
Şekil 4.8 : Kombinasyon 7 mikro kesit görünümü. **33**
Şekil 4.9 : Kombinasyon 8 mikro kesit görünümü. **34**
Şekil 4.10 : Kombinasyon 9 mikro kesit görünümü. **35**
Şekil 4.11 : Kombinasyon 10 mikro kesit görünümü. **36**
Şekil 4.12 : Kombinasyon 11 mikro kesit görünümü. **37**
Şekil 4.13 : Kombinasyon 12 mikro kesit görünümü. **38**
Şekil 4.14 : Kombinasyon 13 mikro kesit görünümü. **39**
Şekil 4.15 : Kombinasyon 14 mikro kesit görünümü. **40**
Şekil 4.16 : Kombinasyon 1 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği. **42**
Şekil 4.17 : Kombinasyon 2 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği. **43**

Şekil 4.18 : Kombinasyon 3 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **44**
Şekil 4.19 : Kombinasyon 4 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **45**
Şekil 4.20 : Kombinasyon 5 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **46**
Şekil 4.21 : Kombinasyon 6 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **47**
Şekil 4.22 : Kombinasyon 7 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **48**
Şekil 4.23 : Kombinasyon 8 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **49**
Şekil 4.24 : Kombinasyon 9 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **50**
Şekil 4.25 : Kombinasyon 10 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **51**
Şekil 4.26 : Kombinasyon 11 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **52**
Şekil 4.27 : Kombinasyon 12 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **53**
Şekil 4.28 : Kombinasyon 13 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **54**
Şekil 4.29 : Kombinasyon 14 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği..... **55**
Şekil 5.1 : Terminal 1 kombinasyonları elektriksel direnç değerleri karşılaştırması. **57**
Şekil 5.2 : Terminal 2 kombinasyonları elektriksel direnç değerleri karşılaştırması. **58**

OTOMOTİV KABLOLAMA SEKTÖRÜNDE KULLANILAN BAĞLANTI NOKTALARININ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde gelişen araç teknolojileriyle birlikte araçlar üzerinde kullanılan kablo demetleri sayısı giderek artmaktadır. Özelikle elektrikli ve hibrit araçların gelişmesi kablo donanımlarının daha da uzamasına yeni kablo tipleri ve bağlantı elemanlarının eklenmesine sebep olmaktadır. İnsan sinir sistemine benzer olarak araçlarda da kablo donanımları tüm verilerin taşınmasını, sinyal iletilmesini ve enerjinin tüm araç içerisine dağılımını sağlamaktadır. Kablo demetleri araç üzerine kolay montaj yapılabilmesi için parçalı olarak üretilmektedir. Konnektör ve terminal gibi bağlantı elemanları ile bu parça halindeki kablo demetleri birleştirilerek tek bir ağın oluşması sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında bu bağlantı noktalarından olan terminal ve tel bağlantısı üzerine çalışma yapılmıştır. Terminal ve tel kıvırma (krimpleme) işlemi adı verilen soğuk şekillendirme işlemi ile birleştirilmektedir. Taşıtlar dinamik sistemler oldukları için çalışmaları süresince iç ve dış çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Krimpli bağlantılar bu çevre koşulları altında çalıştıkları için bazı elektriksel ve mekanik özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu kapsamda farklı tipde on dört adet kombinasyon oluşturularak bu kombinasyonlar üzerine testler yapılmıştır. Test sonuçlarında istenen özelliklere sahip olan terminallerin seri üretim koşullarında kullanılması hedeflenmiştir. Ayrıca bu yeni geliştirilen kombinasyonların elektriksel direnç değerlerinin terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği ile olan ilişkisi incelenmiştir.

Oluşturulan kombinasyonlara, IEC, USCAR ve OEM standartlarına uygun olarak mikro kesit analizi, elektriksel direnç ölçüm testi ve çekme testi uygulanmıştır. Krimpli tel bağlantılarının kalitesini ve araç içerisindeki ortam şartlarına bağlı olarak davranışlarını görmek için bu testler yapılmaktadır. Mikro kesit analiz testinde oluşturulan kombinasyonların terminal kıvırma (krimpleme) alanları ve sıkıştırma oranları incelenerek terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir. Elektriksel direnç ölçüm testinde kombinasyonların üzerine termal yaşlandırma yapılmadan ve yapılarak Ohm yasasına göre elektriksel direnç ölçülerek tellerin elektriksel uygunlukları incelenmiştir. Çekme testinde ise krimpli kombinasyonların mekanik olarak dayanıklılıkları incelenmiştir. Yapılan mikro kesit incelemelerinde sıkıştırma oranınında terminal kıvırma (krimpleme) kalitesini etkilediği görülmüştür.

Elektriksel direnç ölçüm testinde farklı terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde kombinasyonlar analiz edilerek ideal krimp basma yükseklikleri değerlendirilmiştir. Krimp basma yüksekliği arttıkça elektriksel direncin de arttığı görülmektedir. Terminalin alt baskı (krimpleme) yüksekliğinde basılması, elektriksel direnç açısından daha uygun olduğu görülmektedir. Farklı tel tiplerinde ve farklı kesit alanlarında elektriksel direncin değiştiği görülmüştür. Terminal bir ile oluşturulan kombinasyonlarda aynı tel tipi kullanılmasına rağmen tel kesit alanının artması ile elektriksel direncin uygun seviyelere çıktığı gözlenmiştir. Terminal iki ile oluşturulan

kombinasyonların elektriksel direnç açısından daha iyi çıktıkları gözlenmiştir. Farklı tel tipleri ve kesit alanlarında yapılan ölçümlerde uygun sonuçlar geldiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, terminal bir ve terminal iki ile oluşturulan kombinasyonlardan istenen standartları sağlayan bağlantı elemanlarının seri üretim koşullarında kullanılabileceği görülmüştür. Kombinasyon 5,6,7,8,9,10,11,12 ve 13'ün istenen mekanik ve elektriksel değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu kombinasyonların alt basma yüksekliklerinde kullanılmasının elektriksel açıdan da daha iyi sonuçlar vereceği görülmektedir. Yine bu çalışma kapsamında elektriksel direnç ile krimp basma yüksekliği arasındaki ilişki ve değişimde görülmüştür. Tel tiplerinin terminal ile uyumlu olmasına rağmen kesit alanı değişimleri kombinasyonların elektriksel ve mekanik olarak uygunsuz olmalarına sebep olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Otomotiv kablo demetleri, Terminal kıvırma (krimpleme), Mekanik ve elektriksel testler, Terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği, Elektriksel direnç.

DEVELOPMENT OF CONNECTION POINTS USED IN THE AUTOMOTIVE WIRING INDUSTRY

SUMMARY

Today, with the developing vehicle technologies, the number of cable harnesses used on vehicles is increasing. Especially the development of electric and hybrid vehicles causes the cable harnesses to become longer and new cable types and connection elements to be added. Similar to the human nervous system, cable harnesses in vehicles also provide the transfer of all data, signal transmission and distribution of energy throughout the vehicle. Cable harnesses are produced in pieces for easy assembly on the vehicle. These piece-shaped cable harnesses are combined with connection elements such as connectors and terminals to form a single network. In this thesis, a study was conducted on the terminal and wire connection, which are among these connection points. The terminal and wire are combined with a cold forming process called crimping. Since vehicles are dynamic systems, they are exposed to internal and external environmental effects during their operation. Since crimped connections operate under these environmental conditions, they must have certain electrical and mechanical properties. In this context, tests were conducted on these combinations by creating fourteen different types of combinations. It was aimed to use the terminals with the desired properties in the test results under mass production conditions. In addition, the relationship between the electrical resistance values of these newly developed combinations and the crimping height was examined.

Micro-section analysis, electrical resistance measurement test and tensile test were performed on the created combinations according to IEC, USCAR and OEM standards. These tests are performed to see the quality of crimped wire connections and their behaviors depending on the environmental conditions in the vehicle. In the micro-section analysis test, the crimping areas and compression ratios of the created combinations were examined and the crimping quality was evaluated. In the electrical resistance measurement test, the electrical resistance was measured according to Ohm's law without and with thermal aging on the combinations and the electrical suitability of the wires was examined. In the tensile test, the mechanical durability of the crimped combinations was examined. In the micro-section examinations, it was observed that the compression ratio also affected the crimping quality.

In the electrical resistance measurement test, combinations at different crimping heights were analyzed and ideal crimp pressing heights were evaluated. It is observed that as the crimp pressing height increases, the electrical resistance also increases. It is seen that pressing the wires at the terminal lower crimp pressing height is more suitable in terms of electrical resistance. It has been observed that electrical resistance changes in different wire types and different cross-sectional areas. It has been observed that electrical resistance increases to appropriate levels with the increase in wire cross-sectional area, despite the use of the same wire type in combinations formed with terminal one. It has been observed that combinations formed with terminal two are

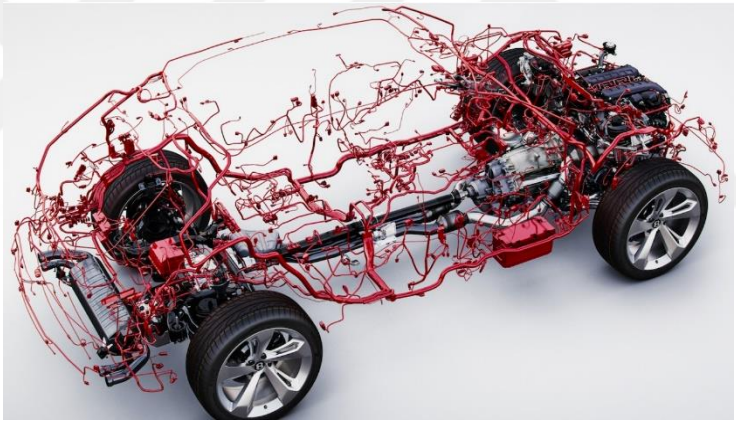
better in terms of electrical resistance. It has been observed that appropriate results are obtained in measurements made in different wire types and cross-sectional areas.

In line with the results obtained, it has been observed that connection elements that meet the desired standards from combinations formed with terminal one and terminal two can be used in mass production conditions. It has been observed that combinations 5,6,7,8,9,10,11,12 and 13 have the desired mechanical and electrical values. It is seen that using these combinations at lower pressing heights will also give better results in terms of electricity. Again, within the scope of this study, the relationship and change between electrical resistance and crimp pressing height has been observed. Although the wire types are compatible with the terminal, changes in cross-sectional area cause the combinations to be electrically and mechanically inappropriate.

Keywords: Automotive wire harnesses, Crimping, Mechanical and electrical tests, Crimping height, Electrical resistance.

1. GİRİŞ – OTOMOTİV KABLOLAMA SİSTEMLERİ ÜRETİMİ

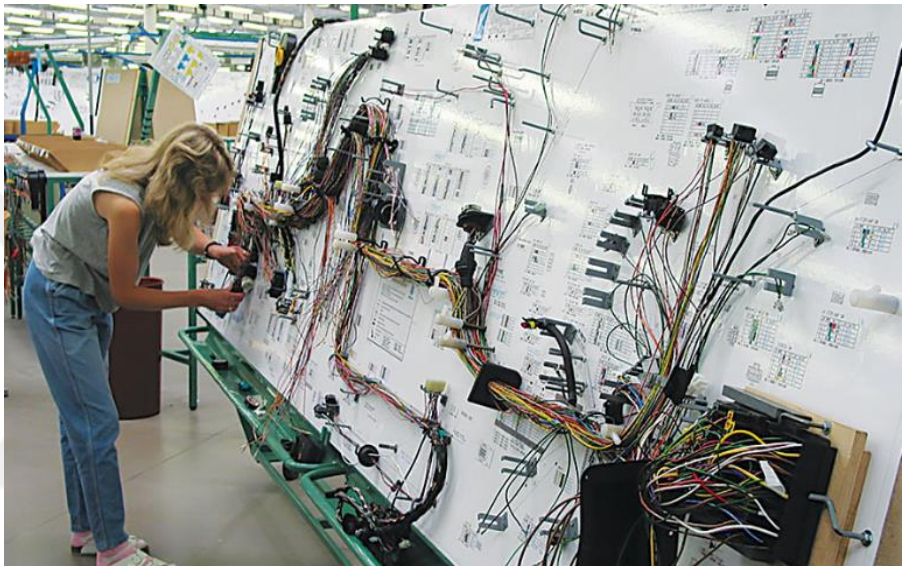
Günümüz dünyasında otomobiller günlük yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Gelişen dünya ile araçlar üzerindeki kablo demetlerinin sayısı ve miktarı kullanıcı isteklerine paralel olarak artmaktadır. Kablo demeti, ağaç benzeri bir yapıya sahiptir ve terminalleri ve contaları olan kablolar, konektörler, sigortalar, röle kutuları, anahtarlama üniteleri, sabitleme bileşenleri ve koruyucu bileşenlerden oluşan binlerce bileşenden oluşur [1]. Bu kablo demetlerinin amacı araç üzerindeki tüm fonksiyonların kontrolünü sağlamak, haberleşmeyi sağlamak, bilgi toplamak, sistemlerin görevlerini denetleyerek ve tüm bilgiyi ana kontrol ünitesinde birleştirerek sürüşün gerçekleşmesini sağlamaktır.



Şekil 1.1 : Araç kablo demetleri görünümü [2].

Şekil 1.1 üzerinde görüldüğü gibi günümüz binek araçlarında özellikle elektrikli araçlarda, bu kablo demetleri aracın her noktasından bilgi toplamakta ve aracın her noktasının denetimini sağlayarak dinamik sürüş modeli oluşturmaktadır. EV'lerin yükselişi, hibrit ve içten yanmalı motorlu araçlara akıllı işlevlerin eklenmesiyle, gövdelerindeki ve tabanlarındaki kablo demeti sayısı katlanarak artmaya devam edecektir (2030 yılına kadar 74,46 milyar ABD doları tutarında küresel bir pazar büyüklüğünü temsil edecektir [3]). Kablo demetlerinin araç üzerinde yönlendirilmesi müşteri istekleri ve beklentilerine göre yapılmaktadır. Araç içerisinde kabloların gidecekleri modüllerin, enerji ünitelerinin ve diğer tüm teknolojik cihazların konumlarına göre kablo sistemlerinin rotalaması yapılmaktadır. Her aracın farklı bir

geometriye, iç tasarıma, farklı teknolojik özelliklere ve farklı yakıt tiplerine sahip olması nedeniyle her arabanın kablo demeti özelleşmiştir. Yine bu durum her araçtaki kablo demetinin kendi çevresindeki alana bağlı olarak farklı izolasyonlar ile korunmasını ve farklı şekillerde araca montajlanmasını gerektirmektedir. Bu nedenler, ekonomik ve verimli otomasyon çözümlerinin geliştirilmesini engeller, böylece en son teknoloji montaj sürecinin %90' ına kadarı manuel iş olur [4]. Kablo üretimi hareket halindeki bant sistemi adı verilen konveyörlü döner sistemler üzerinde yapılmaktadır. Üretim masası üzerinendeki ilgili alanlara manuel olarak tüm izolasyonlar ve montaj malzemeleri takılmaktadır.



Şekil 1.2 : Araç kablo demeti üretimi [5].

Şekil 1.2 ‘de görüldüğü gibi masa üzerindeki kablo demetlerine, demet üzerindeki telleri örtmek ve korumak için izolasyonlama işlemi yapılmaktadır ve araç üzerine sabitlenmesini sağlamak için klips ve benzeri birçok parça takılmaktadır. İzolasyonlama işlemi kablo demetinin araç içerisinde karşılaştığı çevresel etkiye göre yapılmaktadır. Örneğin motor bölgesindeki izolasyonlar sıcaklığa dayanıklı ve su geçirmez olarak seçilmektedir. Otomobiller dinamik sistemlerdir bu sebeple hareketli bölgelerdeki kablo demetlerinin de korunması için ek önlemler alınmaktadır. Kablo demetlerinin üzerinde tellerin birbirlerine bağlandığı birçok nokta vardır. Bu bağlantı noktalarından en önemlisi konnektorlerin birbirlerine takılmasıyla oluşmakta ve araç üzerindeki tüm kablo ağı birbine bağlanmaktadır. Konnektörlerin tellere bağlanması ise terminal adı verilen metal parçalar ile gerçekleşmektedir. Bu çalışmada da farklı terminal tel bağlantıları geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. KABLOLAMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN BAĞLANTI ELEMANLARI VE YÖNTEMLERİ

Bir otomobil içerisinde bulunan kablo demetleri farklı sistemler ile birbirlerine bağlanmaktadır. Aracın genel kablo tesisatını tek parça olarak üretmek aracın geometrisi itibariyle mümkün olmadığı için, kablo tesisatı belirli parçalara bölünmektedir. Bu durum kablo tesisatlarının araç içerine kolay montaj yapılmasını sağlamaktadır. Bölünen bu küçük kablo demetleri birbirlerine bağlantı elemanları ile bağlanmaktadır. Bu bağlantı elemanlarından en önemlisi konnektörlerdir. İki ayrı kablo demetinin veya bir kablo demetinin başka bir sisteme bağlanabilmesini sağlar. Dişi ve erkek şeklindeki konnektörler birbirlerine bağlandığında devre tamamlanmış olur ve elektrik akımı gerçekleşir.



Şekil 2.1 : Dişi ve erkek konnektör parçaları [6].

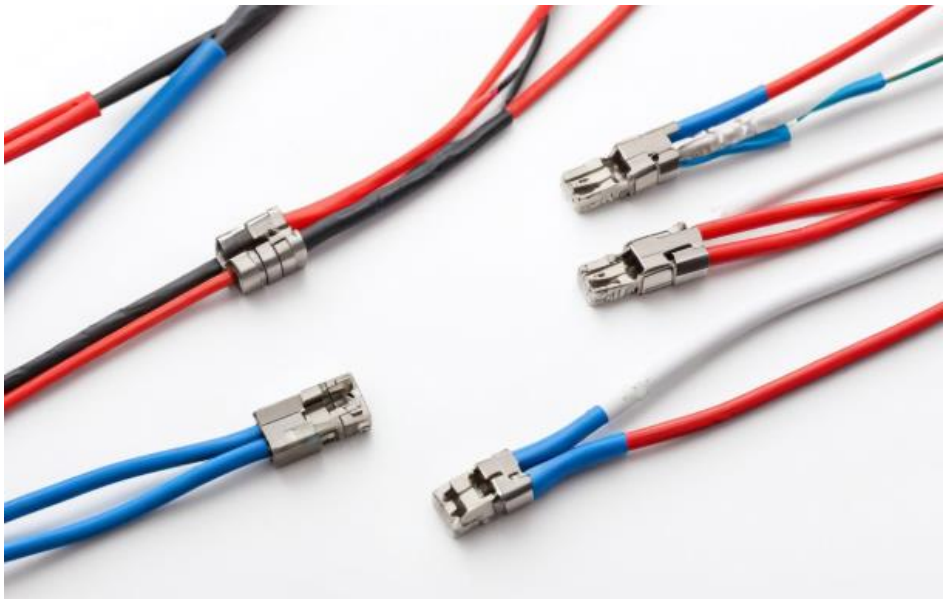
Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi bu konnektörler, devreleri birbirine bağlayarak sinyal ve gücün kesintisiz iletimini sağlamaktadır. Konnektörlerin iç yapısı belirli bir voltaj ve akım kapasitesini taşıyacak şekilde tasarlanmaktadır. Konnektörler genellikle plastik

malzemelerden yapılmaktadır. Bu durum aynı zamanda akımın dışarı kaçmasını engellemekte ve yalıtımı da sağlamaktadır. Konnektörlerin içerisinde terminal adı verilen şekil 2.2'deki gibi küçük metal parçalar bulunmaktadır.



Şekil 2.2 : Terminal parçaları [7].

Terminallerin de, konnektörlerde olduğu gibi dişi ve erkek şeklinde çeşitleri bulunmaktadır. İki kablo demetindeki teller konnektörlerin içinde terminaller vasıtasıyla birleşmektedir. Dişi konnektör içinde dişi terminaller, erkek konnektör içinde ise erkek terminaller bulunmaktadır. Bu iki yapı birbirlerine bağlandığında devre tamamlanmış olmaktadır. Terminaller tellere terminal kıvırma (krimpleme) adı verilen işlem ile bağlanmaktadır. Şekil 2.3'de terminallerin tellere krimplendiği görülmektedir.



Şekil 2.3 : Krimplenmiş tel ve terminal kombinasyonları.

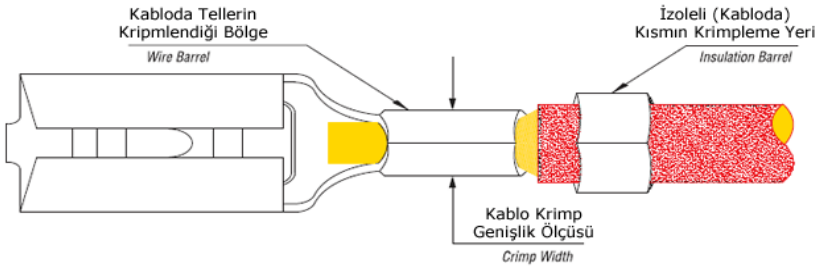
2.1 Terminal Kıvırma (krimpleme) İşlemi

Terminal kıvırma (krimpleme) yöntemi, bir elektrik kablosunun terminale bağlanmasında en çok tercih edilen yöntemdir [8]. Bu işlem, kablo üzerindeki açık veya kapalı terminal bacağının mekanik basınçla deforme edilmesiyle gerçekleştirilir, buna soğuk kaynaklama denir [9]. Terminal kıvırma (krimpleme) işlemi otomotiv sektöründe preslerde gerçekleşmektedir ve aplikatör adı verilen kalıplar ile terminallerin tellere çakılması (krimplenmesi) sağlanmaktadır. Bu birleşim sonucu oluşan bağlantı noktasının mekanik olarak dayanıklı ve elektriksel olarak da istenen özelliklere sahip olması gerekmektedir. Çünkü, birçok yerde ve amaçta kullanılan kablolar titreşime, sıcaklık değişimine ve elektriksel ortama maruz kalır [10,11]. Şekil 2.4 ‘de bu işlem için kullanılan terminal kıvırma (krimpleme) makinası görülmektedir.



Şekil 2.4 : ZCTSA 2 Ton terminal kıvırma (krimpleme) presi [12].

Terminaller genellikle 2 noktadan tellere krimplenmektedirler. Şekil 2.5 ‘de gösterildiği gibi bir bölge çıplak telin terminale krimplenmesi ve ikinci bölge ise izolasyonlu telin terminale krimplenmesi şeklindedir.



Şekil 2.5 : Krimplenmiş tel [13].

İlk bölgedeki telin üzerindeki izolasyonun soyulma sebebi iletkenliği sağlamak içindir. Arka kısımda ikinci bölgede kalan kısım ise çekme testinde telin hemen konnektörden kopmasını engellemek, tel ile terminal presli kombinasyonunu güçlendirmek için yapılmaktadır. İki noktadan terminal kıvırma (krimpleme) işlemi yapılarak tel ile terminalin kopma direnci arttırılmaktadır. Bu terminal kıvırma (krimpleme) prosesi sonrasında oluşan bağlantı noktaları otomobil gibi bir dinamik sistem içerisinde çalışacağı için mekanik olarak sağlam ve elektriksel olarak istenen direç değerlerine sahip olması gerekmektedir. Terminal kıvırma (krimpleme) işlemi sonucunda terminal ve tel üzerinde farklı baskı yükseklikleri oluşmaktadır. Her terminalin farklı tel kesit alanları için basılabileceği farklı baskı yüksekliği aralığı bulunmaktadır. Bu baskı alanı yüksekliği aralığı içerindeki değerler arasından testler yapılarak en ideal baskı yüksekliği tespit edilmekte ve devam eden üretim sürecinde terminal ve tel kablo bu baskı yüksekliğinde krimplenmektedir. Baskı yükseklikleri, terminal kombinasyonlarının terminal kıvırma (krimpleme) noktalarından kesilip labaratuarda mikroskop altında ölçümler yapılması ile bulunmaktadır. Tespit edilen farklı baskı yüksekliklerine sahip krimpli tel kombinasyonlarına çekme, bükme ve direç ölçüm işlemleri uygulanmaktadır. Bu terminal kıvırma (krimpleme) kalitesini belirleme standartları arasında uygulama yöntemine bağlı olarak, terminal kıvırma (krimpleme) kalitesinin belirlenmesi için üç yöntem ön plana çıkmaktadır. Bunlar; elektriksel test, kesit görüntüleme ve kuvvet analizi yöntemleridir [14]. Elektriksel testte parçaların iç dirençleri hesaplanmaktadır. Direnç değeri "Ohm Yasası" ile hesaplanır ve numunenin direnç profili oluşturulur [15]. Kesit görüntüleme işlemi baskı yüksekliği ve kalitesini tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Numuneler kesilir, cilalanır, temizlenir ve mikroskop altında incelenmeye hazır hale getirilir [16]. Kesit görüntülerinin oluşması, terminal kıvırma (krimpleme) preslerinde kullanılan kalıp tiplerine bağlı olarak değişmektedir. Uygulanan kuvvet ile bağlantılı olarak baskı yüksekliği değişmektedir.

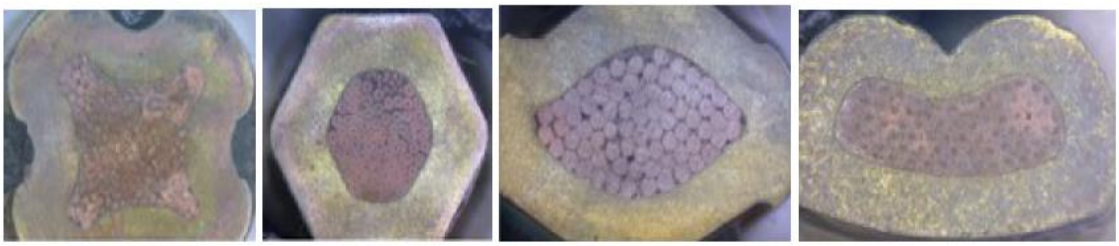
Terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi ve terminal kıvırma (krimpleme) sonucunda oluşan değerlerin yorumlanmasında sadece elektriksel sonuçlara bakarak karar verildiğinde kalitesizliğin nedeni tam olarak tespit edilemez [14]. Çıkan sonuçlara göre ideal terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği, ideal kesit alanı terminal kombinasyonu tespit edilmektedir. Yapılacak bu çalışma ile otomobillerin kablolama tesisatlarında kullanılabilecek yeni bağlantı noktası kombinasyonları geliştirilmesi hedeflenmektedir. Çalışmanın yine amaçlarından bir tanesi tel kesitleri, dış izolasyonlar gibi parametrelerin değişimlerinin krimplenmiş kombinasyonlara olan etkisi görülecektir. Terminal kıvırma (krimpleme), bir elektrik kablosunun terminale bağlanmasında en çok tercih edilen yöntemdir [17]. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analiz çalışmaları ile terminal kıvırma (krimpleme) üzerindeki mekanik, elektriksel ve termal performans değerleri tespit edilebilmektedir. Kıvrımlı bağlantıların güvenilirliği, ekipmanın uzun vadeli performansı için kritik öneme sahiptir [18]. Terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi de elektronik sistemler için çok önemlidir. Her yıl 200 milyondan fazla fişli kablo üretildiği göz önüne alındığında, kıvrım tasarımından kaynaklanan hataları ve arızaları azaltmak ve şirketlerin güvenilirliğini ve üretim kapasitesini artırmak önemlidir [19].

2.1.1 Terminal kıvırma (krimpleme) işlemi uygulama alanları

Terminal kıvırma (krimpleme) işlemi elektrikli bağlantı elemanlarının kullanıldığı birçok endüstride uygulanmaktadır. Özellikle teknolojinin gelişmesi ile otonom araç ve cihazların artması ve sistemlerde kullanılan kablo miktarının artmasıyla kullanımı son yıllarda çok fazla artmıştır. Beyaz eşya, havacılık, otomotiv, robotik ve daha birçok alanda tellerin terminaller ile birleştirilmesinde bu yöntem kullanılmaktadır. Terminaller genellikle zincir formunda fuloya sarılı olarak üretilmektedir. Daha sonra yarı otomatik ve otomaktik pres makinalarında tellere krimplenmektedir.

2.1.2 Terminal kıvırma (krimpleme) standartları ve şekilleri

Krimplenen tellerin otomotiv sektöründe istenen standartları sağlayabilmesi için uyulması gereken terminal kıvırma (krimpleme) kuralları bulunmaktadır. Terminal kıvırma (krimpleme) işlemi sırasında tel ile terminalin preslenmesi sonucu oluşabilecek şekiller Şekil 2.6.'da gösterilmiştir.



Krimp şekli 1 Krimp şekli 2 Krimp şekli 3 Krimp şekli 4

Şekil 2.6 : Krimpli tel kesiti örneği [19].

Kıvanç ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları çalışmada yukarıda kullanılan terminal kıvırma (krimpleme) şekillerinden, Krimp şekli 4 modelinin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Otomotiv kablolama sektöründe de terminal kıvırma (krimpleme) şekil 4'de gösterildiği gibi yapılmaktadır. Terminal ayaklarına uygulanacak olan baskı kuvvetinin tel çapına göre seçilmesi ve terminal tipine göre belirlenmesi gerekmektedir. Baskı işlemi sırasında telin bakır kısmında ve izolasyon bölgesinde yırtılma ve bozulma meydana gelmemelidir. Baskı kuvveti az olduğu durumda tel ve terminal doğru bir şekilde kapanmayacaktır ve kalitesiz bir terminal kıvırma (krimpleme) işlemi olacaktır.

Şekil 2.7 'de baskı kuvveti az olan ve tam krimplenemeyen tel, terminal kombinasyonu gösterilmiştir. Terminal kıvırma (krimpleme) kuvvetinin tel ve üzerindeki izolasyon ile terminal ayaklarının tam kapanacağı şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Terminal kıvırma (krimpleme) kuvvetinin fazla olması hem terminalde hem de tel üzerinde plastik deformasyona sebep olmaktadır.



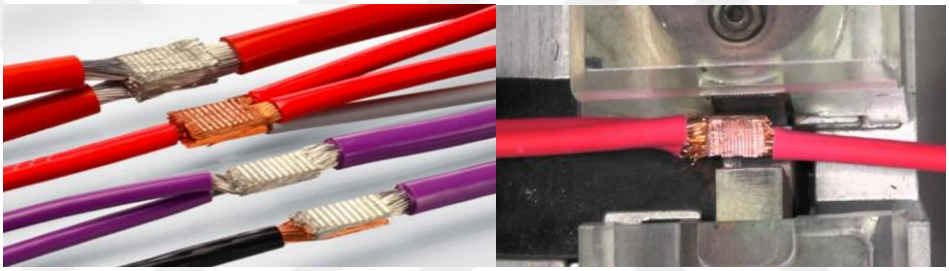
Şekil 2.7 : Krimpli tel kesit örneği [13].

İstenen terminal kıvırma (krimpleme) şeklinin tespiti için krimp mikro kesit analizi, çekme testi ve elektrik direnç değerleri ölçülerek değerlendirmeler yapılmaktadır.

2.2 Ultrasonik Kaynak Metodu

Otomotiv kablo demetlerinin birleştirilmeside kullanılan diğer bir yöntem de ultrasonik kaynak ile tellerin birbirlerine kaynaklanmasıdır. Yüksek frekanslı titreşimlerin enerjisini kaynak yapılacak olan tellere uygulayarak, bu tellerin birbirlerine bağlanmasını sağlamaktadır. Bu yöntem ile hem plastik hemde metal parçalar birleştirilmektedir. Robert Soloff ve Seymour Linsley tarafında geliştirilmiş ve 1963'de patenti alınmıştır. Bu uygulama ile civata, çivi, yapıştırıcı ve lehimleme malzemeleri gibi birleştirme malzemeleri ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Otomotiv, havacılık ve diğer birçok sektörde bu metot ile birleştirme yapılmaktadır.

Şekil 2.8 ve 2.9 'da araç kablo demetleri üzerine uygulanan ultrasonik kaynak ve kaynak makinası görülmektedir.



Şekil 2.8 : Ultrasonik kaynak görüntüsü.



Şekil 2.9 : Ultrasonik kaynak makinası [20].

Bu metot ile teller birbirlerine bağlanmakta ve mekanik olarak sağlam bir yapı oluşmaktadır. Bu birleşim sonucu oluşan açık alandaki tellerin üzeri izolasyon malzemesi ile kapatılarak yalıtım yapılmaktadır. Yine bu işlem sonucunda oluşan

birleşmeye mekanik ve elektriksel testler yapılarak kalitesi incelenmektedir. Kaynak ile birleştirme uygulaması terminal kıvırma (krimpleme) işlemine göre daha az kullanılmaktadır. Genel olarak aynı görevde çalışan kabloların ana tesisat içerisinde bittiği yerlerde kabloları birleştirmek için kullanılır. Ayrıca bir konnektörün üzerinde bulunan deliklerin bir tanesine ikinin üzerinde tel giderse, bu durumda bu teller konnektörün terminaline krimplenemez. Bu teller birbirlerine kaynak yapılır daha sonra bir adet tel terminal ile krimplenir. Genel olarak terminal kıvırma (krimpleme) işleminin yapılamayacağı yerlerde kullanılmaktadır.

2.3 Çalışmanın Amacı

Otomotiv kablolama sektöründe krimpli bağlantı noktalarının üretim yöntemleri ve test standartlarından daha önce bahsedilmiştir. Terminal kıvırma (krimpleme) işleminde kullanılan terminal ve tel kombinasyonlarına bağlı olarak farklı terminal kıvırma (krimpleme) şekillerinde üretimler yapılmaktadır. Bu çalışmanın amacı otomotiv sektörü terminal kıvırma (krimpleme) standartlarını dikkate alarak, ideal krimpli tel terminal kombinasyonları geliştirmek ve bu kombinasyonların optimum çalışma aralıklarını belirlemektir. Yapılan mekanik, elektriksel ve mikro kesit incelemeleri sonucunda farklı kombinasyonlardaki krimpli teller değerlendirilerek standartlara uygun bağlantı noktaları geliştirilmesi hedeflenmiştir. Burada değişkenlerimiz terminal tipi, tel tipi ve tel kesit alanıdır. Bu üç değişkene bağlı olarak on dört adet farklı kombinasyon yapılmıştır. Bu kombinasyonlardan mekanik, elektriksel ve mikro kesit özellikleri istenen standartlara uygun ve araç içerisinde bağlantı noktası olarak kullanılabilecek yeni krimpli tel bağlantıları elde etmek amaçlanmıştır. Kullanılan iki adet terminalden yine istenen standartları sağladığı halde en ideal terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğini tespit etmek içinde çalışmalar yapılmıştır. Terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği ile elektriksel direç arasında ilişki bulunmaktadır. Bu sebep ile elektriksel direçin en düşük seviyede olduğu terminal kıvırma (krimpleme) yükseliğinin de tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede en düşük elektriksel dirence sahip olan terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde basılan terminaller araç içerisinde kullanılabilecektir. Terminal baskı yüksekliği kombinasyonda kullanılan telin kesit alanı ile de doğru orantılıdır. Her kesit alanının basılabileceği belirli bir baskı yüksekliği oranı bulunmaktadır. Farklı kesit alanları için farklı baskı yüksekliklerindeki elektriksel direç değerleri ölçülerek en

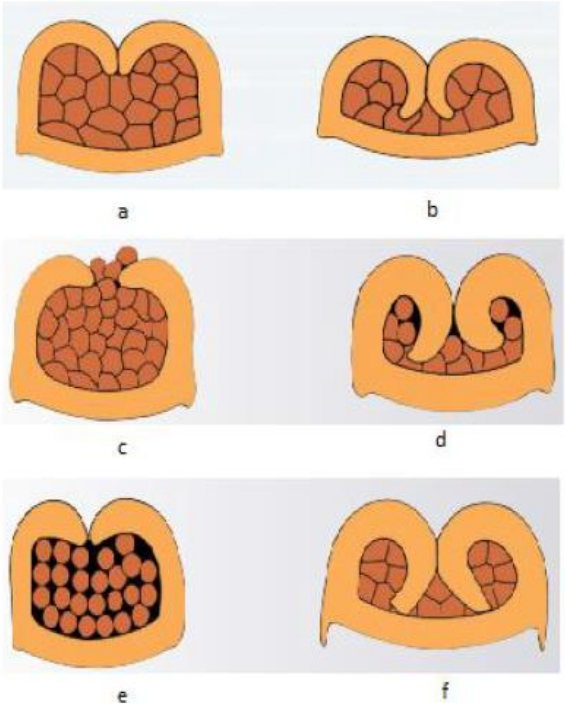
ideal ve en düşük değerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Daha sonraki süreçte tespit edilen ideal baskı yüksekliğinde terminalin basılması ve seri üretim süreçlerinde bu hali ile kullanılması sağlanacaktır.

2.4 Literatür Araştırması

Rajak ve arkadaşları tarafında 2018 yılında yapılan çalışmada geleneksel sıkma yöntemlerinin dışında ECM (Elektromanyetik) yöntemi ile sıkma yapılmıştır. Bu yöntem ile bağlantı noklarının mekanik ve elektriksel dayanıklılığını arttırmayı hedeflemektedir. Alüminyum teller trapezoidal, dikdörtgen ve dairesel kesit geometrisine sahip üç farklı helisel bobin ile test edilmiştir. Sonuç olarak trepezoidal kesite sahip helisel bobin terminal kıvırma (krimpleme) için en uygun geometri olduğu belirlenmiştir [11].

2017 yılında Castro ve arkadaşları terminal kıvırma (krimpleme) aplikatörü tasarım ve optimazyonu yapmışlardır. Amaçları otomotiv ve diğer endüstriyel uygulamalara yönelik çok amaçlı, ekonomik ve yüksek kaliteli bir aplikatör geliştirmektedir. Modüler bir aplikatör tasarımı yapılmıştır. Geliştirdikleri yeni aplikatör, maliyet avantajı ve geniş uygulama yelpazesi sunarak standart uygulamacılara alternatif olmuştur [21].

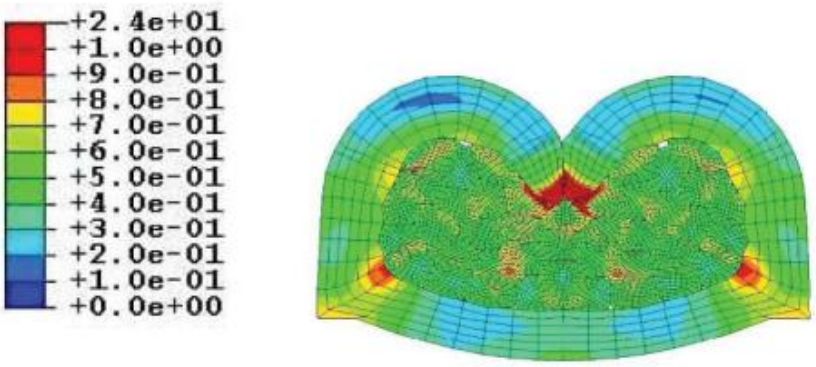
2021 yılında Uzun ve arkadaşları terminal terminal kıvırma (krimpleme) işlemi kalitesini belirlemek için kullanılan yöntemleri ve cihazları incelemişlerdir. Buna göre terminal kıvırma (krimpleme) kalitesini değerlendirmek için kullanılan yöntemler, uygulama alanına ve gereksinimlerine göre farklı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Elektriksel ve mekanik performansı birlikte değerlendiren kuvvet analizi yöntemleri daha yenilikçi bir çözümdür. Bu çalışma yine sektör için uygulamalı çözümler sunmaktadır [14].



Şekil 2.10 : Doğru ve yanlış terminal kıvırma (krimpleme) kesit alanı görüntüleri [22].

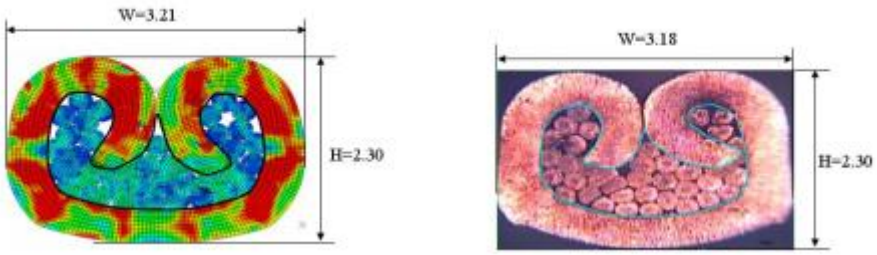
2022 yılında Türk Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Dergisinde yayınlanan Kıvanç ve arkadaşları tarafında yapılan çalışmada yüksek güçlü beyaz eşya kabloları için yenilikçi terminal kıvırma (krimpleme) tekniği geliştirilmesi ele alınmıştır. FEM analizi kullanılarak terminal kıvırma (krimpleme) tekniklerinin optimize edilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen yeni terminal kıvırma (krimpleme) şekli sıcaklık artışını %17 azaltmış, çekme dayanımını %8 arttırmıştır. Terminal kıvırma (krimpleme) kalitesini arttırmaya yönelik bir yöntem sunmaktadır [19].

2006 yılında Ogihara ve arkadaşları tarafında yapılan otomotiv kablolama bağlantılarında kullanılan terminal kıvırma (krimpleme) bağlantılarının mekanik analizi ele alınmıştır. FEM analizi ve deneysel yöntemler kullanılarak terminal kıvırma (krimpleme) işleminin daha kısa sürede optimize edilmesi hedeflenmiştir. FEM analizi, gerçekçi stres ve gerilim dağılımlarını doğru bir şekilde yansıtmaktadır. Krimp bağlantılarının mekanik performansını anlamak için kapsamlı bir analiz sunarak Otomotiv endüstrisine katkı sağlamaktadır [8].



Şekil 2.11 : FEM ile eşdeğer plastik gerimi [8].

2008 yılında Yin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma, terminal ile telin krimplenmesi sırasında kaliteyi attırmak amacıyla FEM analizi kullanılarak yapılan bir araştırmadır. Analizler ABAQUS/Explicit ile gerçekleştirilmiştir. Terminalin iç uzunluğu ve baskı yüksekliği gibi parametrelerin ayarlanması kaliteyi iyileştirmektedir. FEM analiz sonuçları üretim sırasında kalite kontrol süreçlerinin optimize edilmesine olanak sağlamıştır. Sonlu elemanlar analizinin otomotiv terminal kıvırma (krimpleme) tasarımında verimliliği artırmak ve hataları azaltmak için ne kadar etkili olduğunu da vurgulamaktadır [23].



(a) Similasyon sonucu **(b)** Deneysel sonuç

Şekil 2.12 : 2.30 mm crimp yüksekliği final şekilleri [23].

2020 yılında Raccato ve arkadaşları krimpli bağlantılarda elektrik direncinin mekanik gerilmeler ile ilişkisini incelemişlerdir. Mekanik gerilmelere maruz kalan krimpli bağlantıların elektrik direncinin değişimini incelemektedir. Araştırmada farklı krimp profilleri ve farklı terminaller kullanılmıştır ve yine kaynaklı bağlantı yöntemleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, krimp profili ve basıncı bağlantının elektrik direncini ve mekanik dayanıklılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek basınçlı

terminal kıvırma (krimpleme) (>55 MPa), mekanik stress altında daha iyi iletkenlik sağlamaktadır. Kaynaklı bağlantılar daha güvenilirdir [24].

2022 yılında Galliana ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada krimpli bağlantılarda termal gerilmelerin elektrik direncine etkisi üzerine çalışma yapılmıştır. Test labaratuarlarında sıcaklık artış testlerinde kullanılan krimpli bağlantıların elektrik direncine termal gerilmelerin etkisini değerlendirmektedir. Hexagonel krimp profilindeki terminallerin yüksek direç artışı gösterdiği bulunmuştur. Krimpli bağlantıların güvenilirliği için elektriksel direnci ve ısı dağılımı üzerinde limit değerler önermektedir. Bu değerlerin dikkate alınması, cihaz doğrulama süreçlerini iyileştirmekte ve kaynak ile birleştirilen bağlantılar yerine ekonomik ve pratik çözüm sunmaktadır [25].

2021 yılında Li ve arkadaşları, havacılık kablolama demetlerinde kullanılan krimpli bağlantıların çekme mukavemetini inceleyen bir matematiksel modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Krimpli terminallerin çekme mukaveleti ile girinti derinliği arasındaki ilişkiyi incelemek için bir matematiksel modelleme geliştirilmesi amaçlanmıştır. Model, terminal kıvırma (krimpleme) sırasında malzemenin geometrik ve mekanik davranışlarının analiz ederek tasarım ve üretim süreçlerine yol göstermeyi hedeflemektedir [26].

2013 yılında Ruzlin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada krimpli bağlantı için temas direncini etkileyen terminal kıvırma (krimpleme) faktörlerinin incelenmesi ve bu faktörlerin temas direnci ve mekanik dayanım üzerindeki etkileri incelenmiştir. Derin krimp, hexagonel krimp ile karşılaştırıldığında daha iyi performans göstermiştir. Temas direnci ile mekanik dayanım arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır. Derin krimp daha iyi mekanik dayanım ve temas direnci sağlamıştır [27].

2019 yılında Trommnau ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada otomotiv sektöründe kablo demetlerinin üretim süreçlerini, mevcut araştırmları ve gelecekteki eğilimleri ele almaktadır. Kablo üretimindeki manuel işlemler, otomasyon, dijitalleşme ve IoT gibi yönremler incelenmiştir. Gelecekte EV'lerin yükselmesiyle kablo sistemlerinin tasarımını daha da zorlaştıracaktır. Daha yüksek dayanımlı ve hafif malzemelerin kullanılması beklenmektedir. Yine sürdürülebilir, çevre dostu üretim yapılması konusunda baskı oluşacaktır. Daha hafif ve daha verimli kablo demetlerinin tasarımı ve üretimi için yeni malzemeler ve süreçler gerekmektedir [28].

Nguyen ve arkadaşları 2020 yılında yaptıkları çalışmada otomotiv kablo demeti üretiminde otomatikleşmenin önemini ve bu süreçte kullanılan modern yöntemleri ele almaktadır. Geleneksel yöntem üretim hızını ve kaliteyi sınırlayabilmekte ve hatalı üretim oranını arttırmaktadır. Otomasyon sistemlerinin kaliteyi arttırmak, maliyetleri azaltmak ve üretim hızını iyileştirmek için bir potansiyel sunmaktadır. Yine otomotiv kablolama sektöründe gelecek trendlerinin Endüstri 4.0, yapay zeka ve otonom sistemler, gelişmiş sensör teknolojileri ve sürdürülebilir üretim olacağından bahsedilmektedir. Otomasyonun üretimde sağlayacağı avantajlardan detaylı bahsedilmiştir [29].

2024 yılında Dragomir ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinin kablo terminal kıvırma (krimpleme) işlemi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada kablo terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği ile elektriksel direç arasında bir ilişki bulunduğundan bahsedilmektedir. Doğru bir terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği, düşük direnç sağlayarak iletkenlik performasını attırabilir. Ancak, fazla krimp yüksekliği de telin zarar görmesine, düşük kaliteli bağlantılara ve artan dirençlere yol açmaktadır. Terminal kıvırma (krimpleme) işlemlerinde dikkat edilmesi gereken kritik parametrelerden birinin terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği olduğunu ve bu yüksekliğin belirli sınırlar içerisinde tutulmasının, hem mekanik dayanıklılığı hem de elektriksel iletkenliği iyileştirdiğini vurgulamaktadır [30].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

İki adet terminal; farklı kesit alanı, malzeme tipi ve çalışma sıcaklığına sahip teller ile krimplenerek on dört farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Bu kombinasyonların araç üzerinde kullanılabilmesi içine gerekli mikro kesit, çekme kuvveti dayanımı ve elektriksel direç değerlerine sahip olması gerekmektedir. Her bir kombinasyona otomotiv parçası üretim standartları için sağlaması gereken testler yapılmıştır. İstenen özellikleri sağlayan kombinasyonların araç içerisinde bağlantı noktası olarak kullanılması hedeflenmektedir. Yine elektriksel direnç ile krimp basma yüksekliği arasındaki ilişki incelenerek, ideal terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği tespiti yapılmıştır.

3.1 Krimpli Tel Kombinasyonları

Çizelge 3.1 : Terminal-tel kombinasyonları.

Kombinasyonlar	Kombinasyon malzeme içeriği
Kombinasyon 1	Terminal 1 + NF3Z Tel 2 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 2	Terminal 1 + NF3Z Tel 2,5 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 3	Terminal 1 + A3ZP Tel 2 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 4	Terminal 1 + A3ZP Tel 2,5 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 5	Terminal 1 + A3ZP Tel 1,25 + 1,25 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 6	Terminal 2 + NF3Z Tel 2 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 7	Terminal 2 + NF3Z Tel 2,5 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 8	Terminal 2 + A3ZP Tel 2 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 9	Terminal 2 + A3ZP Tel 2,5 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 10	Terminal 2 + NF3Z Tel 1,5 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 11	Terminal 2 + A3ZP Tel 1,5 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 12	Terminal 2 + FLRYB Tel 1,5 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 13	Terminal 2 + FLRYB Tel 2 mm^2 kesit alanı
Kombinasyon 14	Terminal 2 + FLRYB Tel 2,5 mm^2 kesit alanı

Çizelge 3.1’de krimpli tel kombinasyonları gösterilmiştir.

3.2 Krimpli Tel Kombinasyonunda Kullanılan Malzemeler

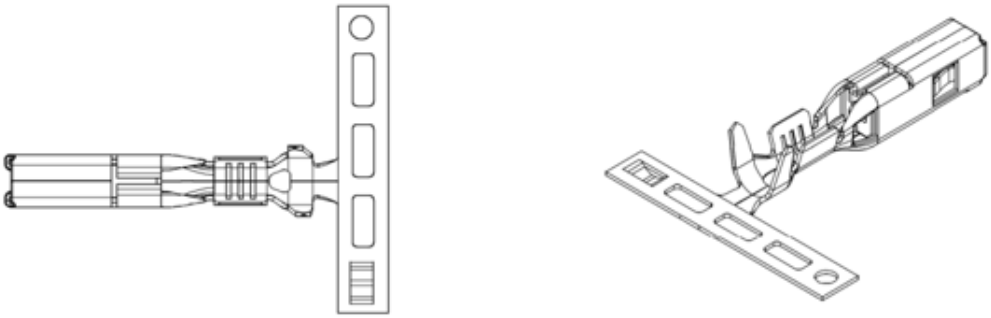
Terminal 1 Şekil 3.1’de görüldüğü gibi dişi bir terminaldir.

Malzeme: CuFe2P

Yüzey kaplaması: SN

Maksimum çalışma sıcaklığı: 125 C°

Terminal minimum 1,35 mm^2 ve maksimum 2,5 mm^2 aralığındaki teller ile kullanılabilmektedir.



Şekil 3.1 : Terminal 1 görünümü.

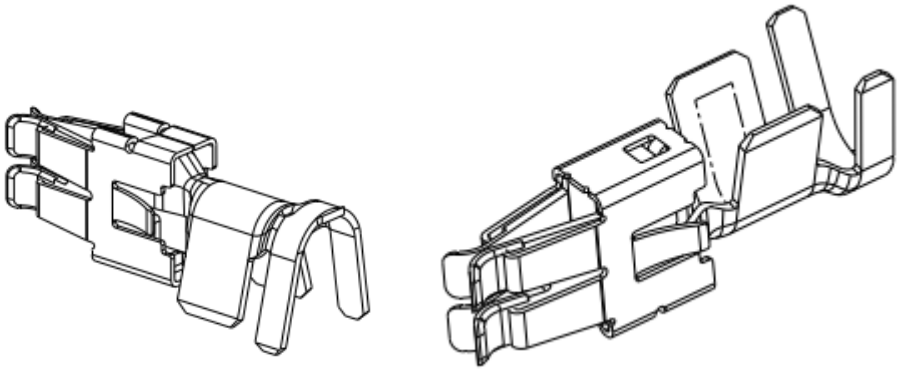
Terminal 2 Şekil 3.2'de görüldüğü gibi erkek bir terminaldir.

Malzeme: CuFe2P

Yüzey kaplaması: SN

Maksimum çalışma sıcaklığı: 125 C°

Terminal minimum 1,5 mm^2 ve maksimum 2,5 mm^2 aralığındaki teller ile kullanılabilmektedir [2].



Şekil 3.2 : Terminal 2 görünümü.

Kullanılan teller ISO19642-1:2023 standartlarındadır.

Çizelge 3.2 : Tellerin sıcaklık sınıflandırması [31].

Sınıf	Sıcaklık karşılığı	Sıcaklık C°
A	T 1	-40'tan +85
B	T 2	-40'tan +100
C	T 3	-40'tan +125
D	T 4	-40'tan +150
E	T 5	-40'tan +175
F	T 6	-40'tan +200
G	T 7	-40'tan +225
H	T 8	-40'tan +250

NF3Z, A3ZP teller T3 çalışma sıcaklığında ISO C sınıf tellerdir [32].

FLRYB teli T2 çalışma sıcaklığında ISO B sınıf teldir [31, 33].

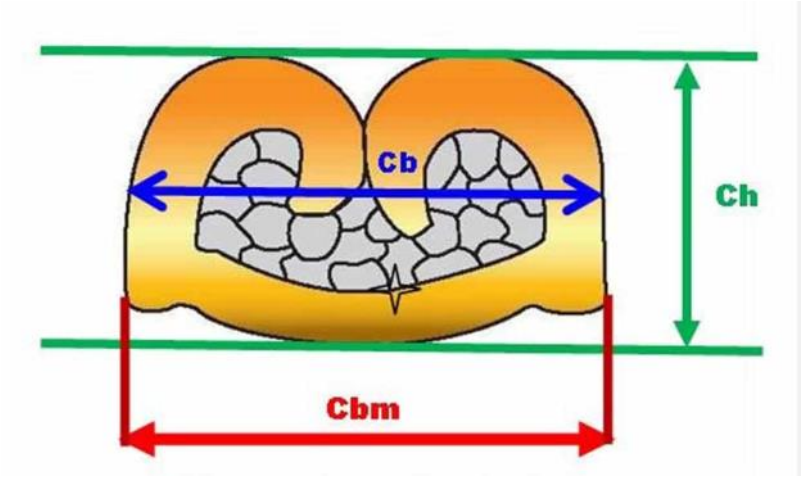
Araç içerisindeki sıcaklık gereksinimlerine göre tellerin çalışma sıcaklıkları değişmektedir.

A3ZP Tel dış izolasyonu PP, iletken malzemesi kırmızı bakır EN13602'dir. Dış izolasyon kalınlığı 2-2,5 mm^2 kesit alanı için 0,28 mm ve 1,5 mm^2 kesit alanı için 0,24 mm'dir.

NF3Z Tel dış izolasyonu PP, iletken malzemesi kırmızı bakır EN13602'dir. Dış izolasyon kalınlığı 1,5-2 mm^2 kesit alanı için 0,24 mm ve 2,5 mm^2 kesit alanı için 0,3 mm'dir.

FLRYB Tel dış izolasyonu PVC, iletken malzemesi Cu-ETP1 EN13602'dir. Dış izolasyon kalınlığı 1,5 mm^2 kesit alanı için 0,3 mm ve 2-2,5 mm^2 kesit alanları için 0,35 mm'dir.

Oluşturulan bu farklı on dört kombinasyon terminal kıvırma (krimpleme) makinesinde preslenerek hazırlanmışlardır. Her telin terminal ile basılabileceği bir terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği aralığı bulunmaktadır. Tel kesit alanı arttıkça terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği de artmaktadır.



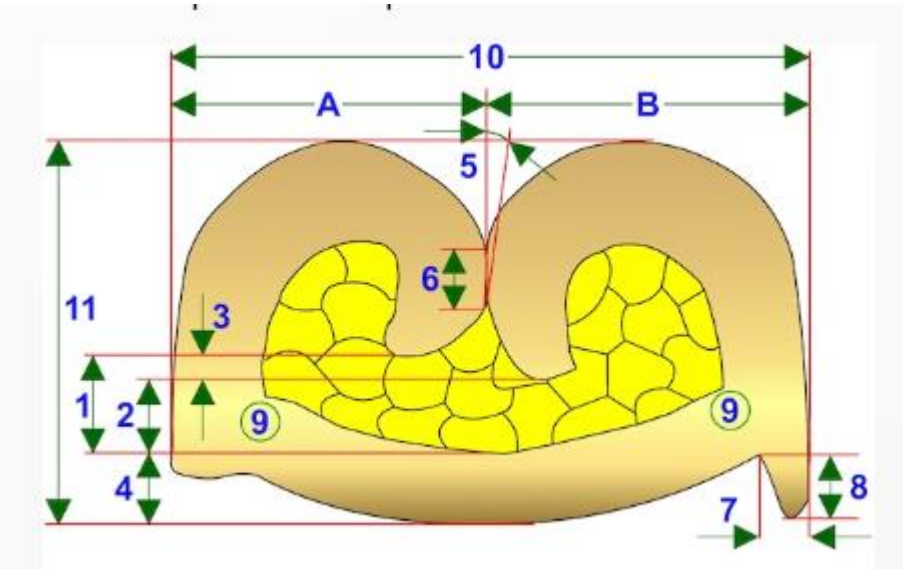
Şekil 3.3 : Krimp yükseliği ve krimp genişliğinin görünümü [34].

Şekil 3.3'de terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği C_h ile ifade edilmiştir. C_b terminal kıvırma (krimpleme) genişliğidir. C_{bm} ise ölçülebilen terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğidir. İlk olarak Terminal 1 ve ona bağlı olarak oluşturulan beş kombinasyon üzerine testler gerçekleştirilmiş daha sonra Terminal 2 ve ona bağlı olan dokuz adet kombinasyon üzerine testler yapılmıştır.

3.3 Terminal kıvırma (krimpleme) Testleri ve Analizleri

3.3.1 Mikro kesit analizi

Preslerde krimplenen terminaller mikro kesit analiz cihazından incelenmektedir. Numuneler kesilir, cilalanır, temizlenir ve mikroskop altında incelenmeye hazır hale getirilir [35]. İlk olarak terminallerin teller ile uyumlu kesit alanına sahip olması gerekmektedir. Test OEM, IEC ve USCAR standartlarına göre yapılmaktadır. Terminaller minimum ve maksimum basma yüksekliğindeki değerler ile sıkılmaktadır. Bu iki değerde de terminal kıvırma (krimpleme) kalitesinin iyi olması gerekmektedir. On dört adet kombinasyon için mikro kesit analizinde bir minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği ve bir maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği olacak şekilde iki adet numune basılmıştır. Toplamda otuz adet numune üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Numuneler krimplendikten sonra yirmi dört saat bekletilmiş daha sonra kesit analizine başlanmıştır. İncelenen kesit uzunlaması eksene dik olacak şekilde yapılmıştır. Krimpli olan bölge kesilerek mikroskopta incelenmiştir. Testler IEC 60352-2 standartlarına göre yapılmıştır [36].



Şekil 3.4 : Mikro kesit görünümü [37].

(1)-Sol kıvrım kanadının taban duvarına uzaklığı (minimum CMT'nin yarısı)

(2)-Sağ kıvrım kanadının taban duvarına uzaklığı (minimum CMT'nin yarısı)

(3)-Sağ-Sol kıvrım kanatları arasındaki mesafe (maksimum CMT)

(4)-Crimpleme sonrası taban kalınlığı (minimum %75 CMT)

(5)-Destek Açısı

(6)-Destek yüksekliği

(7)-Çapak kalınlığı

(8)-Çapak yüksekliği

(9)-Kıvrım tabanındaki çatlaklar (Çatlak olmamalıdır)

(10)-Krimp genişliği

(11)-Krimp yüksekliği

(A-B)-Simetri formu

CMT: Contact material thickness.

Şekil 3.4'de gösterilen noktalar üzerinden krimpli terminal kombinasyonlarının kalitesi ve standartlara uygunluğu değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme sonucunda krimpli tel bağlantısı istenen standart değerlere sahip ise kullanılmaktadır. Ayrıca krimpli terminal tel kombinasyonlarının sıkıştırma oranlarının belirli bir değer

aralığında olması gerekmektedir. Sıkıştırmanın fazla olması bakır tellerin ve terminalin yapısının bozulmasına sebep olmaktadır.

$$\text{Sıkıştırma oranı } \% = 100(1-S_1/S_0) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de ifade edildiği gibi, S_1, terminal kıvırma (krimpleme) işlemi sonucunda oluşan bakır telin kesit alanını, S_0, bakır telin orijinal kesit alanını ifade eder. Krimpli tel sıkıştırma oranı [38] denklem 3.1'de gösterilmiştir. Sıkıştırma oranı %15 ile %25 arasında olması beklenmektedir. Bu değerin üzerinde veya altında sıkıştırma oranının çıkması durumunda terminal kıvırma (krimpleme) uygun değildir. Mikro kesit incelemesinden önce testere makinası ile krimpli teller kesilmektedir. Şekil 3.5'de Mikrolab ML3700 mikro kesit cihazı kullanılarak mikro kesit analizi yapılmıştır. Bu cihaz ile aynı zamanda terminal kıvırma (krimpleme) noktası kesimi yapılmaktadır.



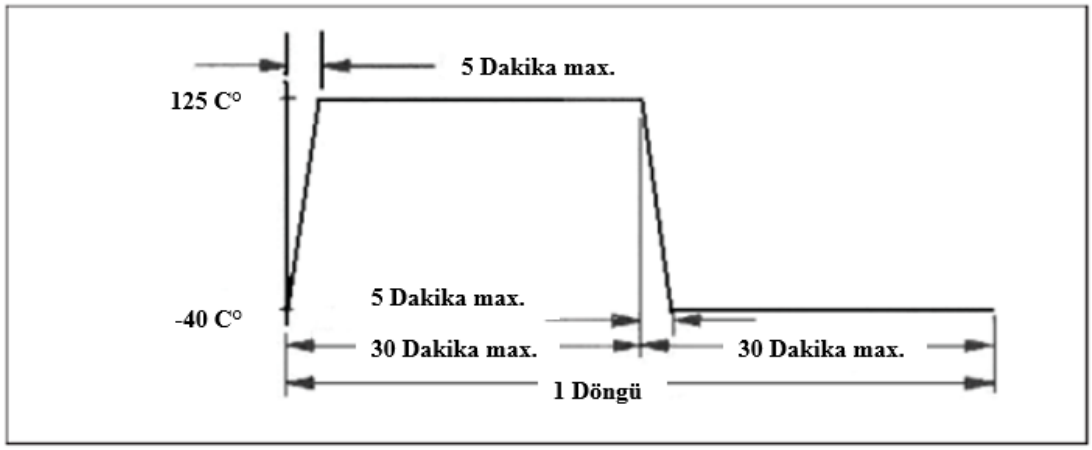
Şekil 3.5 : Mikrolab ML3700 Mikrografi [39].

Krimp noktasını incelemek için on iki kat yakınlaştırma ile çekimler yapıp daha sonra istenen noktalar ölçülmektedir. Bu cihaz ile 10 mm^2 altındaki tellerin kesit alanı incelenebilmektedir.

3.3.2 Elekriksel direnç ölçüm testi

Elektriksel direncin ölçülmesi için on dört adet kombinasyonun her birinden, basılabilecekleri farklı terminal kıvırma (krimpleme) yükseklik değerine sahip, on

beşer adet numune hazırlanmıştır. Numune sayısı çok seçilerek ölçülen değerlerin doğruluk oranının arttırılması hedeflenmiştir. Krimpli terminallerin üzerine termal şok ve termal yaşlandırma yapılmadan ve yapıldıktan sonra elektriksel direç değerleri ölçülmektedir. İlk olarak teller, termal yaşlandırmaya maruz bırakılmıştır. Termal yaşlandırma, 120 C° 'de 120 saat tellerin bekletilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Termal yaşlandırma sonucu teller istenen direnç değerlerine sahip değilse termal şok işlemi uygulanmakta ve şok sonrası direnç değerleri ölçülmektedir. Direnç değeri "Ohm Yasası" ile hesaplanır ve numunenin direnç profili oluşturulur [15]. Numune teller üzerine T2 sınıfı sıcaklık değerleri -40 C° ve 125 C° arasında termal şok uygulanmış ve teller yüz döngü bekletilmiştir. Şekil 3.6'da Termal şok döngü diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Termal Şok Döngü diagramı [30].

Takip edilen doğrulama gereksinimi, 5 mm² kesitli bir kablo için başlangıçtaki kıvrılmış direncin ≤ 0,3 mΩ olması ve termal şoktan sonraki değişimin |ΔR1| ≤ 1 mΩ ve ± 0,02 mΩ ölçüm belirsizliği olmalıdır [30]. Burada farklı krimp yüksekliklerinde ölçüm yapılmasının nedeni ideal krimp yüksekliğini tespit etmektir. Termal şok ve termal yaşlandırma yapılmasının nedeni ise araç içerisinde tellerin farklı sıcaklıklarda çalışması ve yine aracın dış çevre ile temasından kaynaklanan sıcaklık değişimlerinin tellerin üzerindeki direç değerine etkisini görmektir. Termal şok yapıldıktan sonra numuneler en az yirmi dört saat bekletilerek dinlendirilmeleri sağlanmaktadır. Elektriksel direnç ölçümlerinde ideal terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinin tespit edilmesi çok önemlidir. Bu sebep ile terminalin çalışabileceği basma yüksekliği aralığındaki farklı değerler üzerine incelemeler yapılmıştır. Bu değerlerden en ideal elektrik direnci olan basma yüksekliğini tespit etmek hedeflenmektedir.

$$V=I.R \tag{3.2}$$

Denklem 3.2'de gösterildği gibi, V, voltajı, I, akımı R, direnci ifade etmektedir. Denklem 3.2'de Ohm yasasında belirtildiği gibi tellerin üzerine belirli akım ve voltaj uygulanmakta daha sonra krimpli tellerin dirençleri ölçülmektedir. 100 mA akım ve 20 mV voltaj uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.7'de bu işlem için kullanılan multimetre gözükmektedir.



Şekil 3.7 : KEITHLEY 2750 Multimetre [40].

Termal şoklama işlemi Şekil 3.2'de gösterilen termal şok diagramına göre yapılmıştır. Şekil 3.8'de kullanılan FitoTerm 150 CTE2 termal şoklama ve yaşlandırma kabini görülmektedir.



Şekil 3.8 : FitoTerm termal şoklama kabin [41].

3.3.3 Çekme testi analizi

Çekme testinde uygulanan kuvvetler Şekil 3.3'de belirtildiği gibi IEC 60352-2 standartlarından referans alarak ve terminal kopma kuvveti değerlerine göre değerlendirmeler yapılmaktadır. Çekme kuvvet değerleri IEC ve OEM isterlerine uymalıdır.

Çizelge 3.3 : IEC 60352-2 standardına göre lehimsiz bağlantılar için minimum kopma değerleri [36].

İletken Kesit Alanı		Minimum Kopma Kuvveti
mm²	AVG*	N
0.05	30	6
0.08	28	11
0.12	26	15
0.14		18
0.22	24	28
0.25		32
0.32	22	40
0.5	20	60
0.75		85
0.82	18	90
1		108
1.3	16	135
1.5		150
2.1	14	200
2.5		230
3.3	12	275
4		310
5.3	10	355
6		360
8.4	8	370
10		380

*Sadece bilgilendirme amaçlıdır.

Krimpli terminal, bir mengeneye sabitlenir ve ardından çekme kuvveti uygulanır. Bu işlemde terminal sabit bir hızla çekilmekte olup, telin uzunluğu 60 mm olarak bırakılmaktadır. Çekme hızı, USCAR standartlarına göre dakikada 50-250 mm arasında olmalıdır [42,43]. Bu çalışmada çekme hızı 50 mm/dakika olarak belirlenmiştir. Terminal, tel bağlantısı kopana kadar çekilmeye devam edilir. Kopma kuvvet değeri IEC standartlarının altındaysa terminal kıvırma (krimpleme) işlemi kalitesiz, standartlara eşdeğer veya üzerinde ise terminal kıvırma (krimpleme) işlemi kalitelidir. IEC standartlarının yanında bazı tel malzemeleri için terminal tedarikçisi

tarafından belirlenen kopma değerleri bulunmaktadır. Çekme kuvveti değerlerinin minimum bu değerler ile eşdeğer veya üzerinde olması gerekmektedir.

Çizelge 3.4 : Tedarikçi minimum kopma değerleri.

Tel Tipi	Kesit Alanı (mm^2)	Çekme Kuvvet Değeri (N)
NF3Z	2.0	270
NF3Z	2.5	330
A3ZP	2.0	270
A3ZP	2.5	330
FLRYB	1.5	210
FLRYB	2.0	270
FLRYB	2.5	330
A3ZP	1.25+1.25	210

Şekil 3.4'de terminal tedarikçisi tarafından tel kesit alanına bağlı olarak minimum çekme kuvvet değerleri verilmiştir. Çekme cihazının ölçtüğü değerler bu değerle ile de karşılaştırılmakta ve kaliteye karar verilmektedir. Çekme testi Şekil 3.9 'da gösterilen Mecmesin Multitest 2.5 i tel çekme test cihazından yapılmıştır.



Şekil 3.9 : Mecmesin Multitest 2.5 i [44].

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kombinasyonlar Şekil 4.1'de gösterilen Mecal P080 tipi terminal kıvırma (krimpleme) presinde basılmıştır. Pres kapasitesi 8 tondur. Bu pres ile 10 mm^2 kesit alanı altındaki teller basılmaktadır.

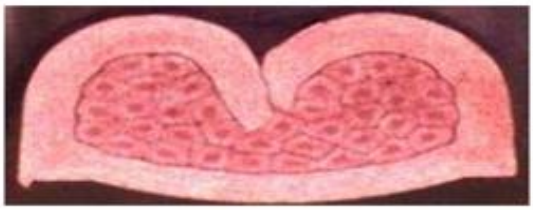


Şekil 4.1 : Mecal P080 [45].

Terminal kıvırma (krimpleme) işlemi yapılan numune parçalara mikro kesit analizi, çekme testi analizi ve elektriksel test uygulamaları yapılmıştır.

4.1 Mikro Kesit Analiz Uygulaması

Her bir terminal kombinasyonu için maksimum ve minimum terminal basma yüksekliğinde olmak üzere ikişer adet numune analiz edilmiştir. Toplamda yirmi sekiz numune incelenmiştir. Terminallerin basma yükseklikleri test kesit alanlarına göre değişmektedir. Terminallerin tel kesitlerine bağlı olarak basma yükseklik aralığı tedarikçi firmalardan temin edilmiştir.

Minimum Krimpleme Yüksekliği (mm)				Maksimum Krimpleme Yüksekliği (mm)			
Ch	1,35	Cb	2,712	Ch	1,45	Cb	2,727
							
Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=2,97				Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,30			

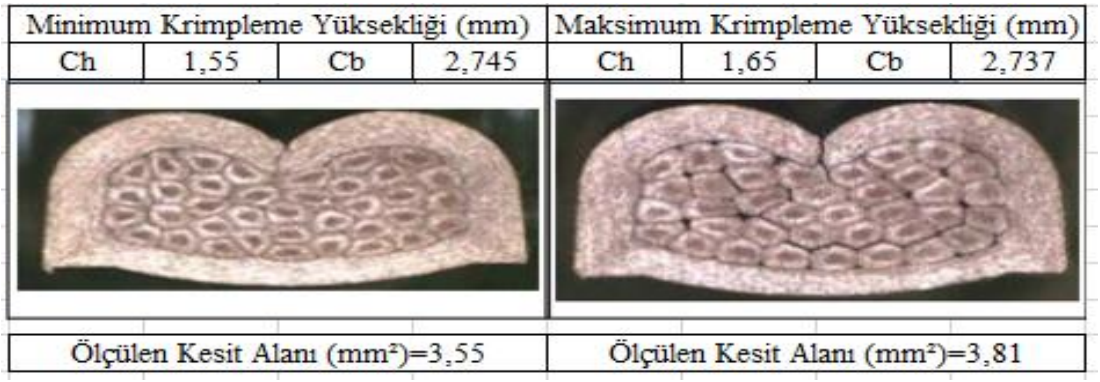
Şekil 4.2 : Kombinasyon 1 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.2'de kombinasyon 1'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.1 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kombinasyon 1 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,3	0	0	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,15	0	0	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,15	0,315	0,369	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,3	0,036	0,096	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,15	0,467	0,482	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %28,72 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %20,83 hesaplanmıştır. Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden büyük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygun değildir.



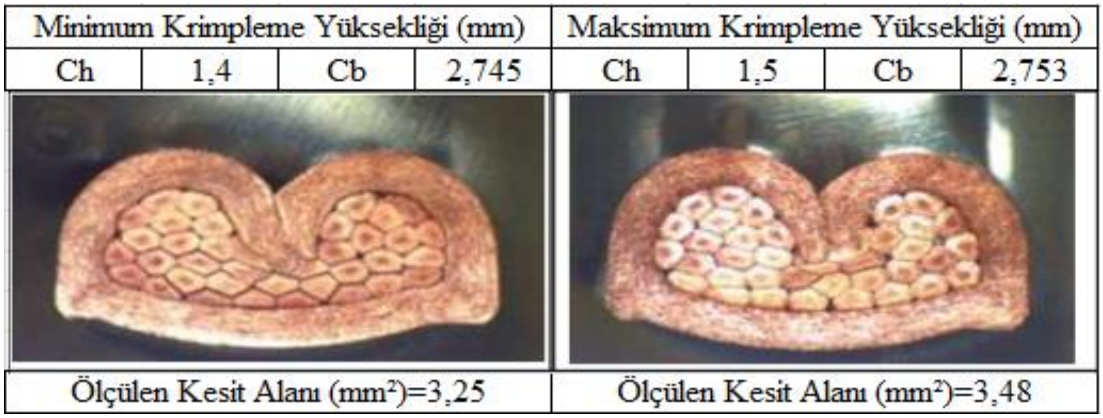
Şekil 4.3 : Kombinasyon 2 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.3'de kombinasyon 2'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.2 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kombinasyon 2 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,3	0,036	0	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,15	0,065	0	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,15	0,681	0,81	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,3	0,122	0,018	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,15	0,191	0,256	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %23,53 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %17,93 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.



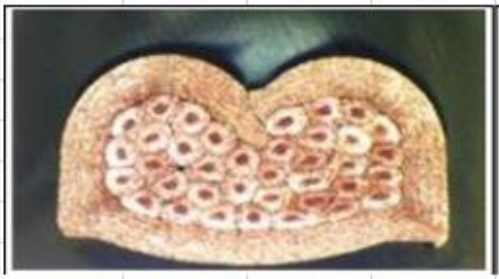
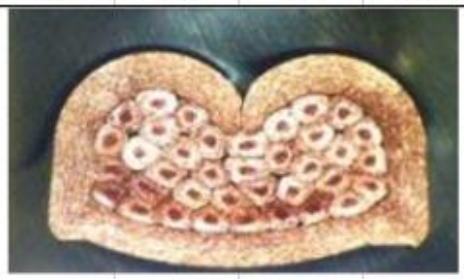
Şekil 4.4 : Kombinasyon 3 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.4'de kombinasyon 3'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.3 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.3 : Kombinasyon 3 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği Ölçülen değer	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği Ölçülen değer	Değerlendirme
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,3	0	0	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,15	0	0	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,15	0,229	0,348	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,3	0,104	0,084	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,15	0,48	0,442	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %22,31 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %16,71 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.

Minimum Krimpleme Yüksekliği (mm)				Maksimum Krimpleme Yüksekliği (mm)			
Ch	1,55	Cb	2,76	Ch	1,65	Cb	2,771
							
Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,66				Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,91			

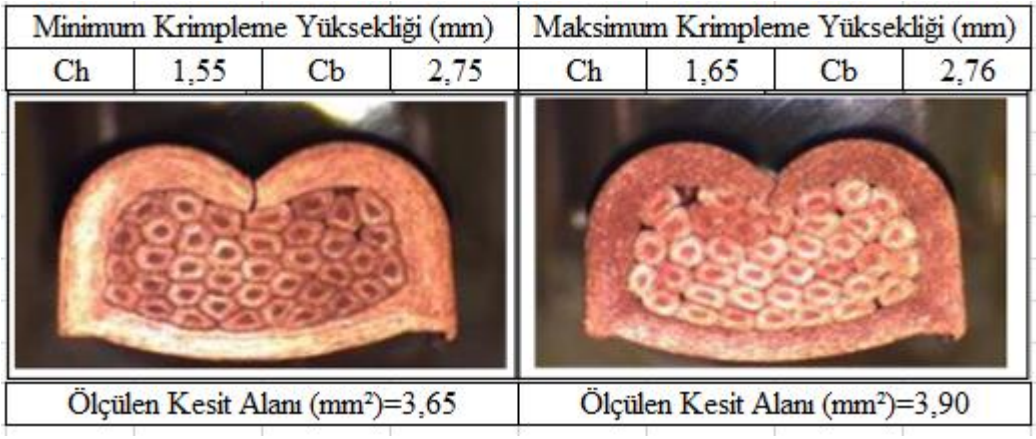
Şekil 4.5 : Kombinasyon 4 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.5'de kombinasyon 4'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.4 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.4 : Kombinasyon 4 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,3	0,044	0,02	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,15	0,75	0,0032	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,15	0,601	0,733	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,3	0,21	0,033	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,15	0,185	0,343	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %21,61 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %16,33 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.



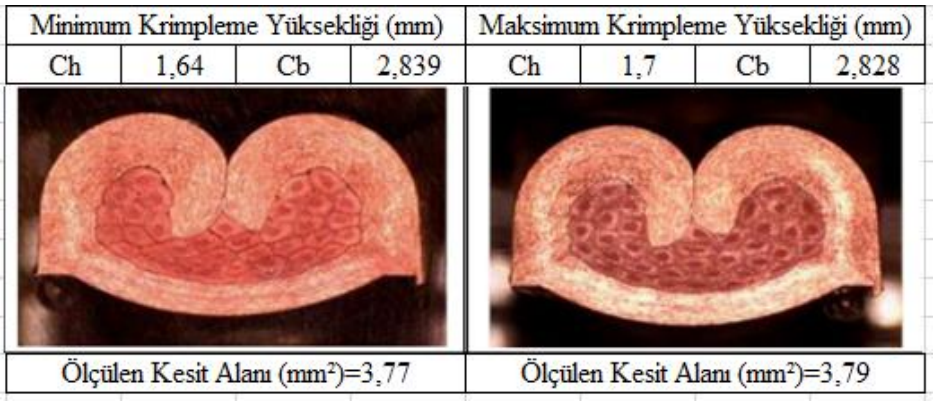
Şekil 4.6 : Kombinasyon 5 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.6'da kombinasyon 5'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.5 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.5 : Kombinasyon 5 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,3	0,071	0,049	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,15	0,092	0,073	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,15	0,855	0,914	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,3	0,012	0,015	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,15	0,162	0,161	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %22,83 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %17,57 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.



Şekil 4.7 : Kombinasyon 6 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.7'de kombinasyon 6'ya ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.6 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.6 : Kombinasyon 6 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,32	0,036	0,025	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,16	0,02	0,028	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,331	0,422	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,091	0,06	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,509	0,483	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %17,02 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %16,76 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.

Minimum Krimpleme Yüksekliği (mm)				Maksimum Krimpleme Yüksekliği (mm)			
Ch	1,65	Cb	2,86	Ch	1,75	Cb	2,87
							
Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,85				Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=4,11			

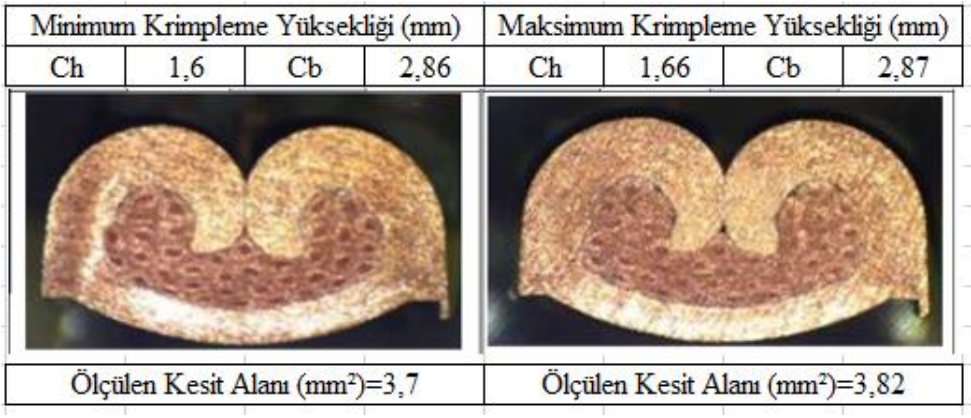
Şekil 4.8 : Kombinasyon 7 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.8'de kombinasyon 7'ye ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.7 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.7 : Kombinasyon 7 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,32	0,12	0,091	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,16	0,049	0,065	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,528	0,416	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,073	0,082	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,406	0,556	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %23,37 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %18,08 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.



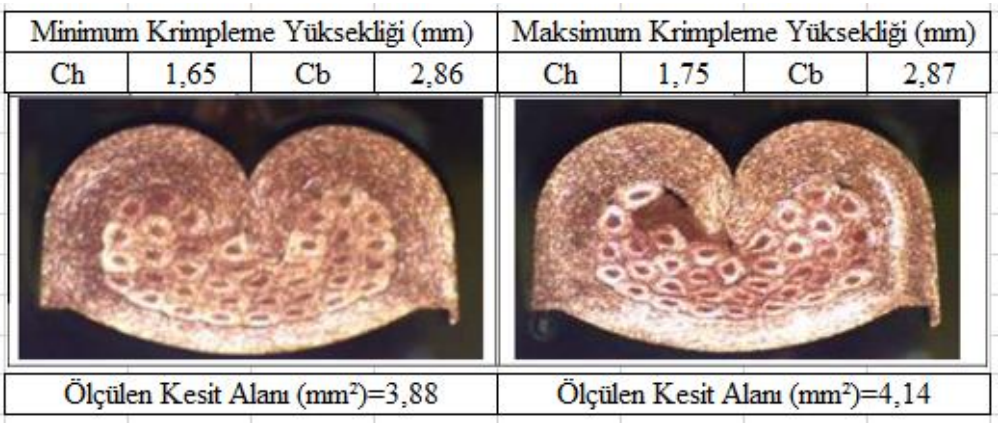
Şekil 4.9 : Kombinasyon 8 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.9'da kombinasyon 8'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.8 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.8 : Kombinasyon 8 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,32	0,129	0,122	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,16	0,052	0,057	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,34	0,381	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,015	0,028	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,472	0,562	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %18,96 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %16,18 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.



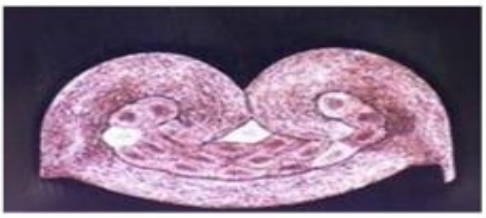
Şekil 4.10 : Kombinasyon 9 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.10'da kombinasyon 9'a ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.9 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.9 : Kombinasyon 9 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,32	0,105	0,15	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,16	0,049	0,005	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,44	0,554	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,128	0,084	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,467	0,402	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %23,27 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %18,13 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.

Minimum Krimpleme Yüksekliği (mm)				Maksimum Krimpleme Yüksekliği (mm)			
Ch	1,45	Cb	2,83	Ch	1,5	Cb	2,85
							
Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,27				Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,41			

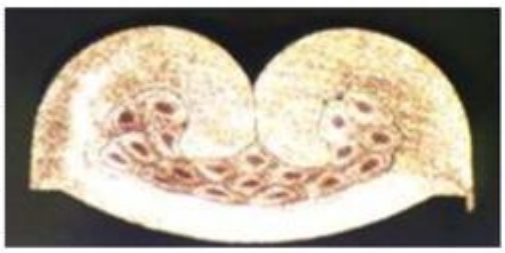
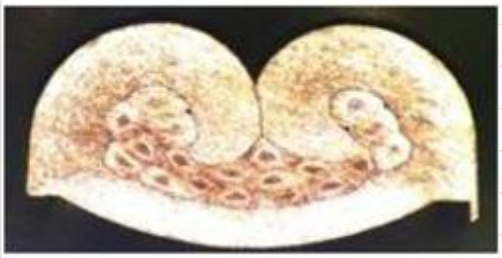
Şekil 4.11 : Kombinasyon 10 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.11'de kombinasyon 10'a ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.10 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.10 : Kombinasyon 10 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,32	0,161	0,192	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,16	0,087	0,098	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,159	0,216	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,002	0,057	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,465	0,457	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %20,50 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %17,10 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.

Minimum Krimpleme Yüksekliği (mm)				Maksimum Krimpleme Yüksekliği (mm)			
Ch	1,44	Cb	2,84	Ch	1,5	Cb	2,85
							
Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,22				Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,4			

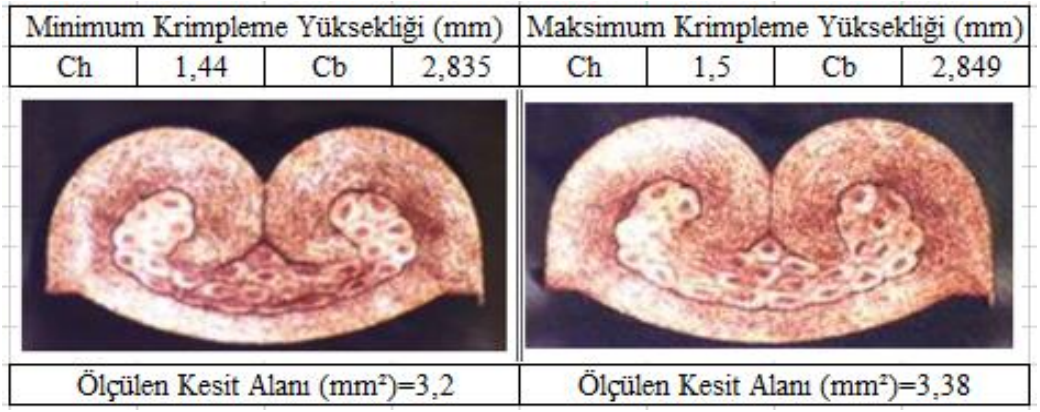
Şekil 4.12 : Kombinasyon 11 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.12'de kombinasyon 11'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.11 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.11 : Kombinasyon 11 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8) Çapak kalınlığı (7)	Bh≤e Bb≤1/2e	≤0,32 ≤0,16	0,095 0,04	0,131 0,048	Uygun Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,195	0,221	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,046	0,019	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,461	0,482	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %22,04 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %17,67 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.



Şekil 4.13 : Kombinasyon 12 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.13'de kombinasyon 12'ye ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.12 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.12 : Kombinasyon 12 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,32	0,007	0,071	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,16	0,043	0,052	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,225	0,273	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,037	0,057	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,505	0,506	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %21,90 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %17,4 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.

Minimum Krimpleme Yüksekliği (mm)				Maksimum Krimpleme Yüksekliği (mm)			
Ch	1,57	Cb	2,88	Ch	1,63	Cb	2,87
							
Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,63				Ölçülen Kesit Alanı (mm²)=3,81			

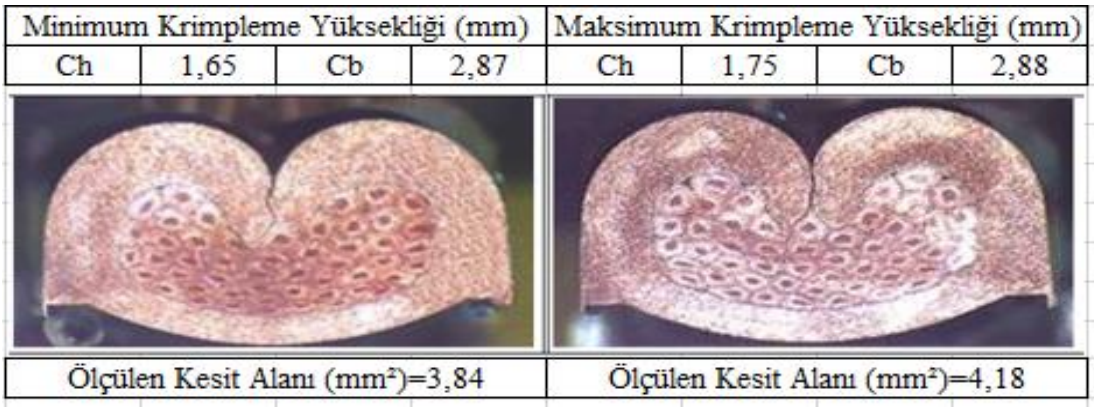
Şekil 4.14 : Kombinasyon 13 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.14'de kombinasyon 13'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.13 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.13 : Kombinasyon 13 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8) Çapak kalınlığı (7)	Bh≤e Bb≤1/2e	≤0,32 ≤0,16	0,121 0,036	0,08 0,04	Uygun Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,319	0,362	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,044	0,04	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,495	0,496	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %21,18 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %17,29 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.



Şekil 4.15 : Kombinasyon 14 mikro kesit görünümü.

Şekil 4.15'te kombinasyon 14'e ait olan mikro kesit görüntüsü yer almaktadır. Bu mikro kesit görüntüsü üzerinde ölçümler yapılarak Çizelge 4.14 oluşturulmuş ve terminal kıvırma (krimpleme) kalitesi değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.14 : Kombinasyon 14 ölçüm sonuçları.

No	Kriterler			Minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği	Değerlendirme
				Ölçülen değer	Ölçülen değer	
1	Çapak yüksekliği (8)	Bh≤e	≤0,32	0,075	0,088	Uygun
	Çapak kalınlığı (7)	Bb≤1/2e	≤0,16	0,038	0,052	Uygun
2	Mimimum mesafe (1), (2)	>e/2	>0,16	0,519	0,562	Uygun
3	Kanatlar arasındaki mesafe (3)	<e	<0,32	0,078	0,036	Uygun
4	Kanat Temas durumu	Tele temas etmeli	Uygun/Uygun değil	-	-	Uygun
5	Kanat baskı yüksekliği	>e/2	>0,16	0,375	0,438	Uygun

Sıkıştırma oranı minimum terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliği için %23,46 ve maksimum terminal kıvırma (krimpleme) yükseliği için %16,83 hesaplanmıştır. Her iki terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde de sıkıştırma oranı istenen %25 değerinden küçük çıkması sebebiyle bu terminal kıvırma (krimpleme) uygundur.

4.2 Çekme Testi Sonuçları

Çizelge 4.15 : Çekme testi sonuçları.

Kombinasyon	Tel Tipi	Kesit Alanı (mm^2)	İstenen Çekme Kuvvet Değeri (N)	Krimp Basma yüksekliği (mm)	Ölçülen Çekme Kuvvet Değerleri (N)	Sonuç
Kombinasyon 1	NF3Z	2.0	270	1,40	245	Uygun Değil
Kombinasyon 2	NF3Z	2.5	330	1,60	229	Uygun Değil
Kombinasyon 3	A3ZP	2.0	270	1,40	254	Uygun Değil
Kombinasyon 4	A3ZP	2.5	330	1,55	242	Uygun Değil
Kombinasyon 5	A3ZP	1.25+1.25	210	1,60	210	Uygun
Kombinasyon 6	NF3Z	2.0	270	1,67	278	Uygun
Kombinasyon 7	NF3Z	2.5	330	1,70	342	Uygun
Kombinasyon 8	A3ZP	2.0	270	1,63	288	Uygun
Kombinasyon 9	A3ZP	2.5	330	1,70	335	Uygun
Kombinasyon 10	NF3Z	1.5	210	1,47	223	Uygun
Kombinasyon 11	A3ZP	1.5	210	1,47	228	Uygun
Kombinasyon 12	FLRYB	1.5	210	1,47	218	Uygun
Kombinasyon 13	FLRYB	2.0	270	1,60	277	Uygun
Kombinasyon 14	FLRYB	2.5	330	1,70	310	Uygun Değil

Kombinasyonlar uygun krimp basma yüksekliklerinde çekme testine maruz bırakılmıştır. Çekme testi sonucunda cihazda okunan kopma değerleri ile minimum kopma değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.15'de çekme testi ölçüm sonuçları ve değerlendirmeleri gözükmektedir. Kombinasyon 1,2,3,4 ve 14 istenen çekme kuvvet değerlerini sağlayamadığı için uygun değildir. Diğer kombinasyonların IEC ve tedarikçi minimum çekme değelerini sağladığı görülmektedir.

4.3 Elektriksel Test Sonuçları

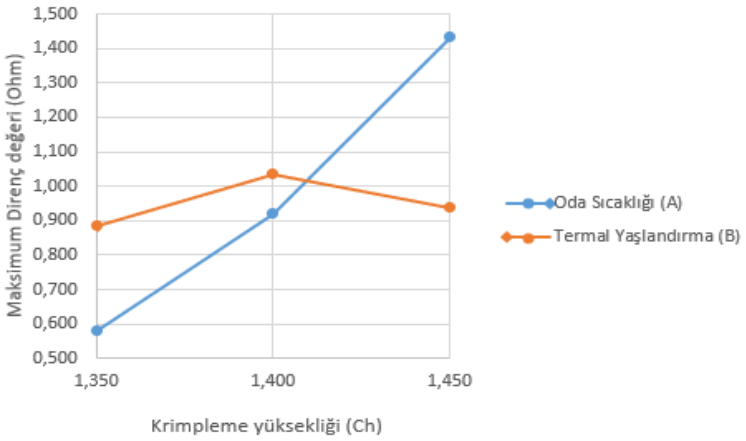
$$R_k = R_m - R_t \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de gösterildiği gibi R_k, terminal kıvırma (krimpleme) direnç değerini, R_m, ölçülen direnç değerini, R_t, tel direnç değerini ifade eder. Her telin malzeme yapısına göre ve kesit alanına göre bir direnç değeri bulunmaktadır. Krimpli terminalin direnci ölçülmekte ve telin direncinden çıkarılarak terminal kıvırma (krimpleme) direnci bulunmaktadır. Denklem 4.1'de hesaplama yöntemi gösterilmiştir. Terminal kıvırma (krimpleme) direncinin istenen değerlerde olması gerekmektedir.

Kombinasyon 1'de yer alan NF3Z 2 mm^2 telin direnci 1 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.16 : Kombinasyon 1 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,35		1,40		1,45	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,309	0,328	0,285	0,306	0,385	0,301
Ortalama R_k	0,495	0,584	0,605	0,581	0,689	0,582
Maksimum R_k	0,580	0,885	0,920	1,035	1,433	0,937
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil



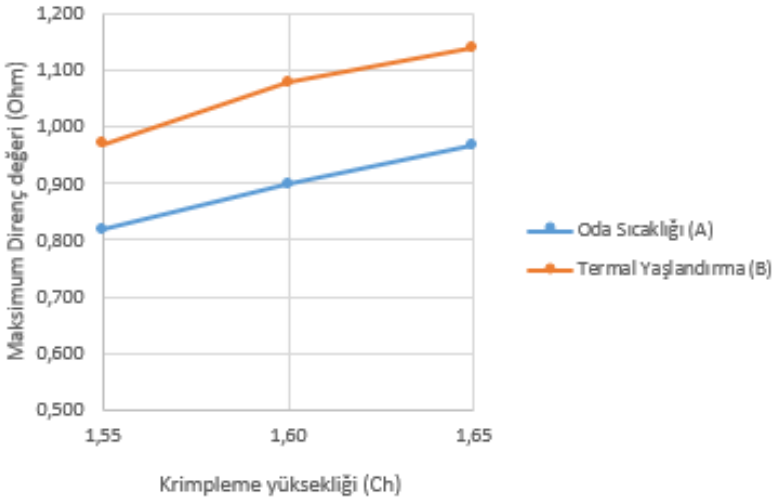
Şekil 4.16 : Kombinasyon 1 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği

Çizelge 4.16 ve Şekil 4.16'da kombinasyon 1'e ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç değeri sadece 1,35 mm kıvırma (krimpleme) yüksekliğinde basıldığında uygun gelmektedir. Üst terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğine doğru elektriksel direnç istenen değerden yukarı çıkmaktadır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygun değildir. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir.

Kombinasyon 2'de yer alan NF3Z 2,5 mm^2 telin direnci 0,76 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.17 : Kombinasyon 2 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,55		1,60		1,65	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,373	0,357	0,413	0,440	0,379	0,429
Ortalama R_k	0,641	0,676	0,656	0,780	0,662	0,806
Maksimum R_k	0,819	0,969	0,898	1,080	0,968	1,141
Değerlendirme	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil



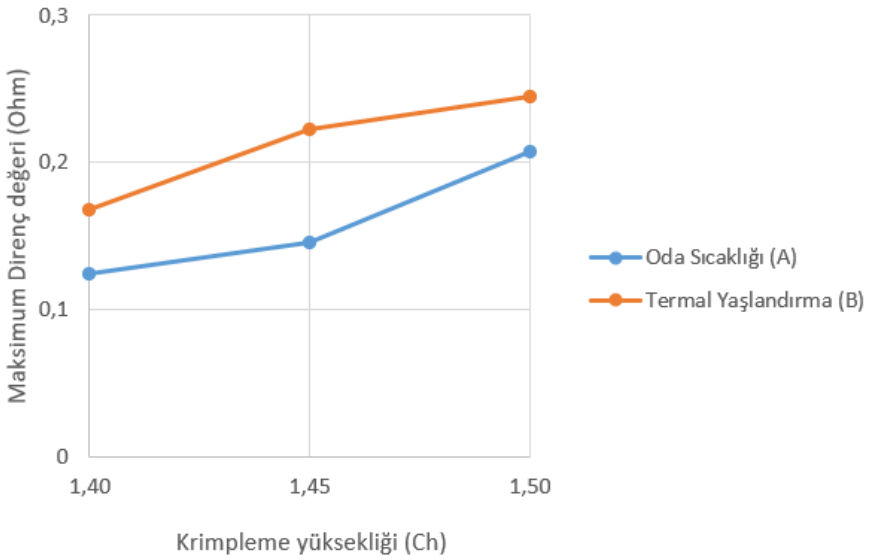
Şekil 4.17 : Kombinasyon 2 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.17 ve Şekil 4.17'de kombinasyon 2'ye ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygunsuz çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygun değildir. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir.

Kombinasyon 3'de yer alan A3ZP 2 mm^2 telin direnci 0,95 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.18 : Kombinasyon 3 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,4		1,45		1,5	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,074	0,136	0,103	0,153	0,101	0,204
Ortalama R_k	0,100	0,157	0,120	0,186	0,141	0,227
Maksimum R_k	0,124	0,168	0,146	0,223	0,207	0,245
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



Şekil 4.18 : Kombinasyon 3 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

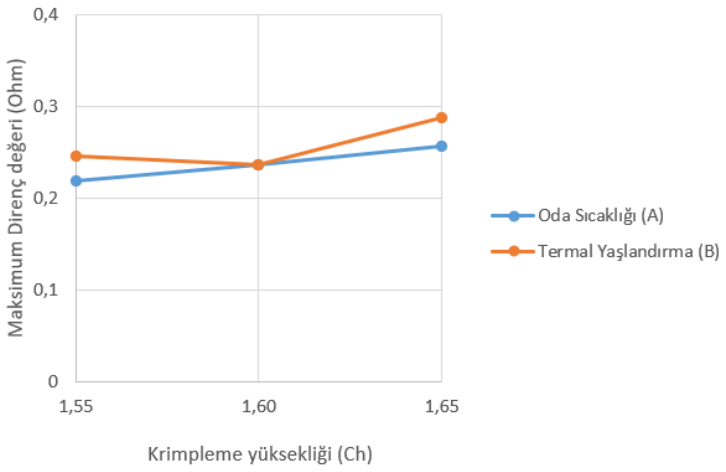
Çizelge 4.18 ve Şekil 4.18'de kombinasyon 3'e ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel

direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 4'de yer alan A3ZP 2,5 mm^2 telin direnci 0,74 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.19 : Kombinasyon 4 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
Ch (Krimp yüksekliği) (mm)	1,55		1,60		1,65	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum Rk	0,164	0,182	0,165	0,216	0,202	0,220
Ortalama Rk	0,188	0,216	0,209	0,241	0,232	0,262
Maksimum Rk	0,219	0,246	0,236	0,236	0,257	0,287
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



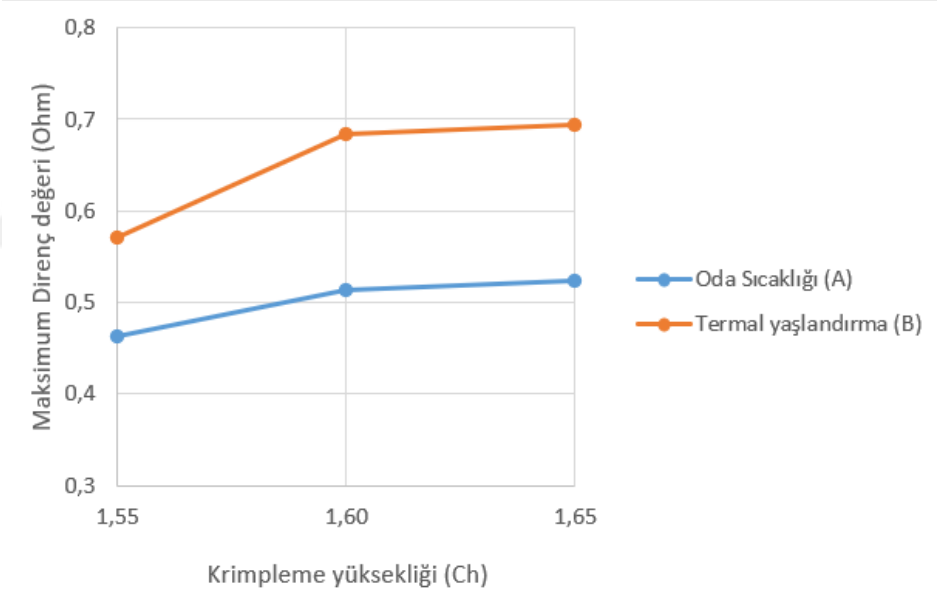
Şekil 4.19 : Kombinasyon 4 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.19 ve Şekil 4.19'da kombinasyon 4'e ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 5'de yer alan A3ZP 1,25 mm^2 + 1,25 mm^2 telin direnci 1,44 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,8 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 1,2 mOhm'dur.

Çizelge 4.20 : Kombinasyon 5 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,55		1,60		1,65	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,533	0,850	0,574	0,714	0,715	0,803
Ortalama R_k	0,490	0,673	0,538	0,702	0,598	0,770
Maksimum R_k	0,463	0,570	0,513	0,683	0,523	0,694
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



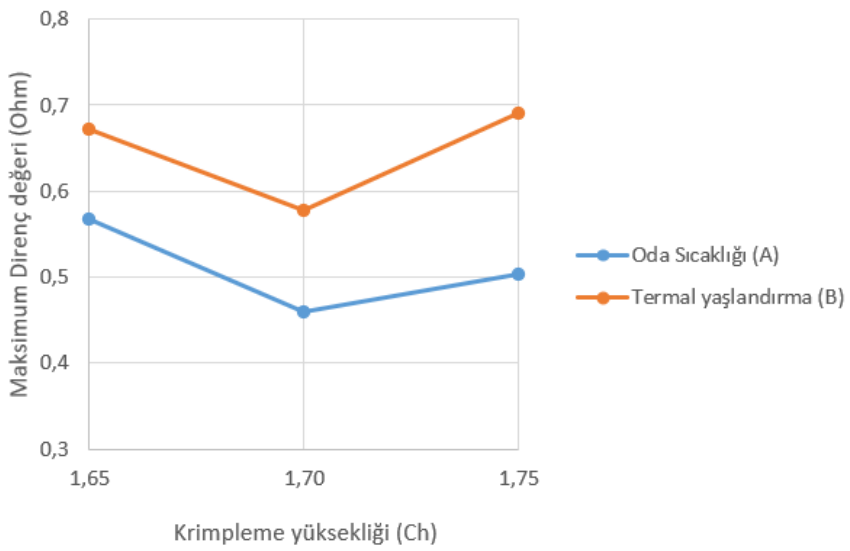
Şekil 4.20 : Kombinasyon 5 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.20 ve Şekil 4.20'de kombinasyon 5'e ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 6'de yer alan NF3Z 2 mm^2 telin direnci 1 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.21 : Kombinasyon 6 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,65		1,70		1,75	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,160	0,177	0,198	0,252	0,189	0,156
Ortalama R_k	0,387	0,413	0,362	0,438	0,364	0,391
Maksimum R_k	0,567	0,672	0,460	0,577	0,504	0,690
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



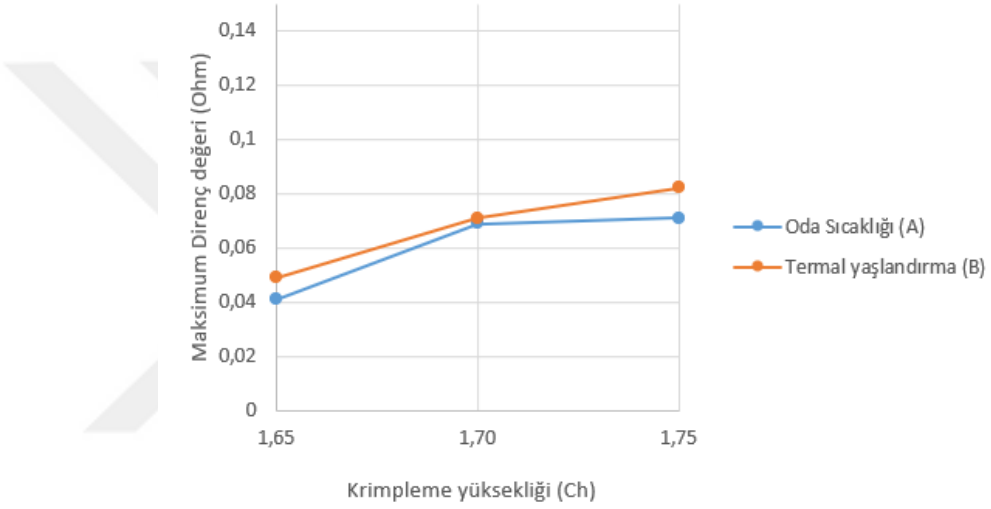
Şekil 4.21 : Kombinasyon 6 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.21 ve Şekil 4.21£de kombinasyon 6'ya ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 7'de yer alan NF3Z 2,5 mm^2 telin direnci 0,75 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur

Çizelge 4.22 : Kombinasyon 7 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,65		1,70		1,75	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,023	0,038	0,024	0,031	0,044	0,052
Ortalama R_k	0,034	0,045	0,049	0,062	0,065	0,072
Maksimum R_k	0,041	0,049	0,069	0,071	0,078	0,082
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



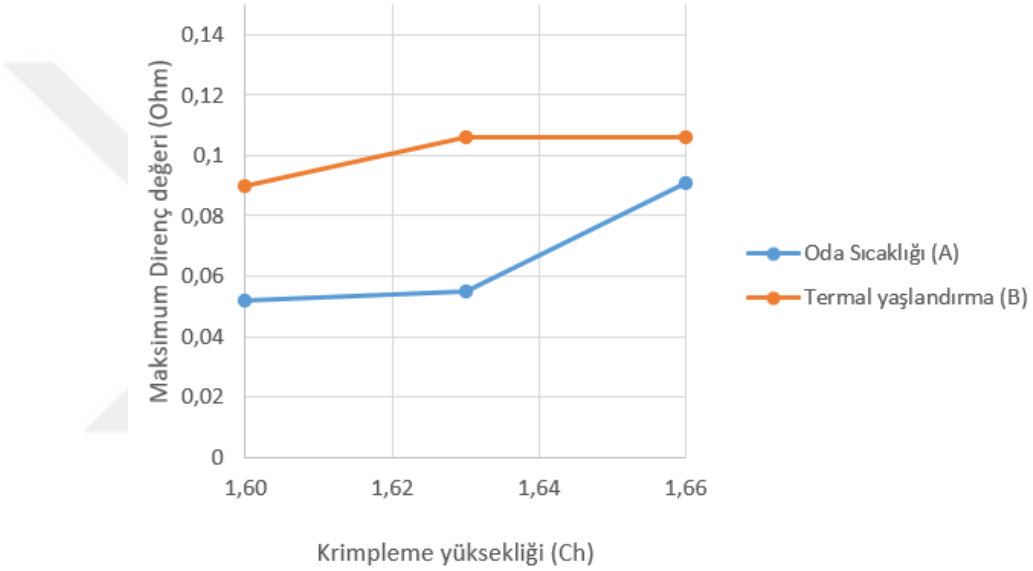
Şekil 4.22 : Kombinasyon 7 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.22 ve Şekil 4.22'de kombinasyon 7'ye ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 8'de yer alan A3ZP 2 mm^2 telin direnci 0,94 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.23 : Kombinasyon 8 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,60		1,63		1,66	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,030	0,041	0,033	0,053	0,053	0,060
Ortalama R_k	0,041	0,062	0,045	0,073	0,067	0,091
Maksimum R_k	0,052	0,090	0,055	0,106	0,091	0,106
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



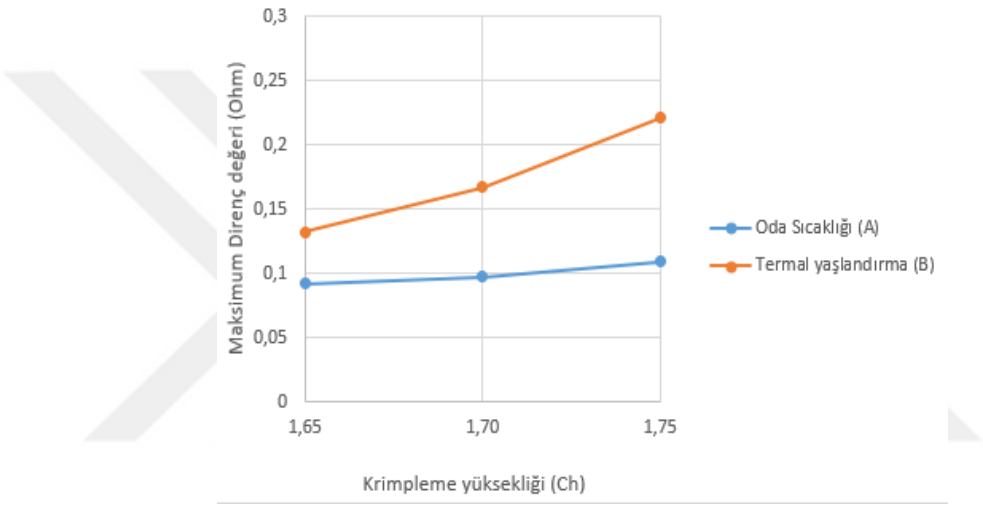
Şekil 4.23 : Kombinasyon 8 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.23 ve Şekil 4.23'de kombinasyon 8'e ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 9'da yer alan A3ZP 2,5 mm^2 telin direnci 0,94 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.24 : Kombinasyon 9 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,65		1,70		1,75	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,068	0,093	0,081	0,108	0,097	0,150
Ortalama R_k	0,081	0,110	0,091	0,136	0,102	0,186
Maksimum R_k	0,092	0,132	0,097	0,167	0,109	0,221
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



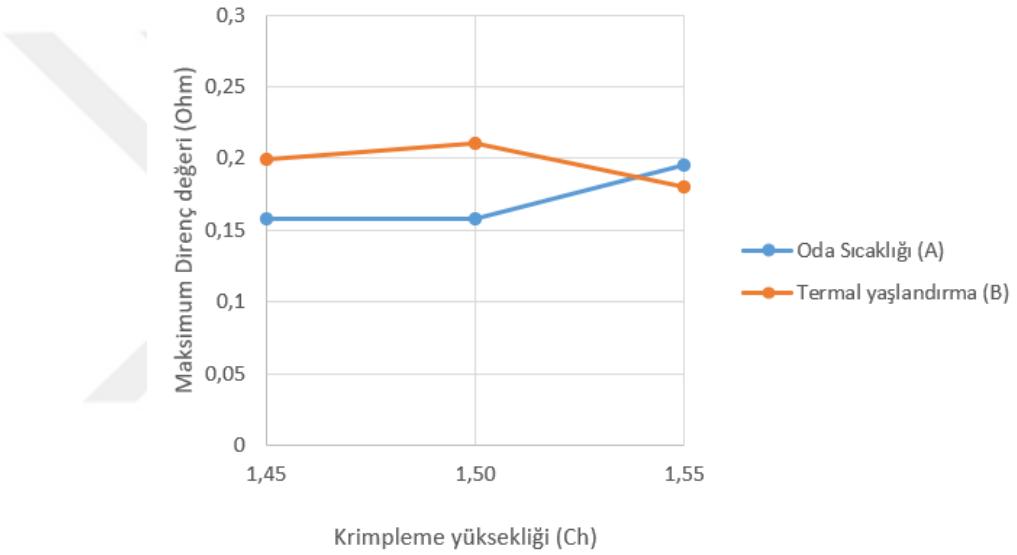
Şekil 4.24 : Kombinasyon 9 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.24 ve Şekil 4.24'te kombinasyon 9'a ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 10'da yer alan NF3Z 1,5 mm^2 telin direnci 1,24 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,8 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 1,2 mOhm'dur.

Çizelge 4.25 : Kombinasyon 10 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,45		1,50		1,55	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,028	0,079	0,094	0,085	0,118	0,162
Ortalama R_k	0,120	0,147	0,134	0,154	0,142	0,173
Maksimum R_k	0,158	0,199	0,158	0,211	0,195	0,180
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



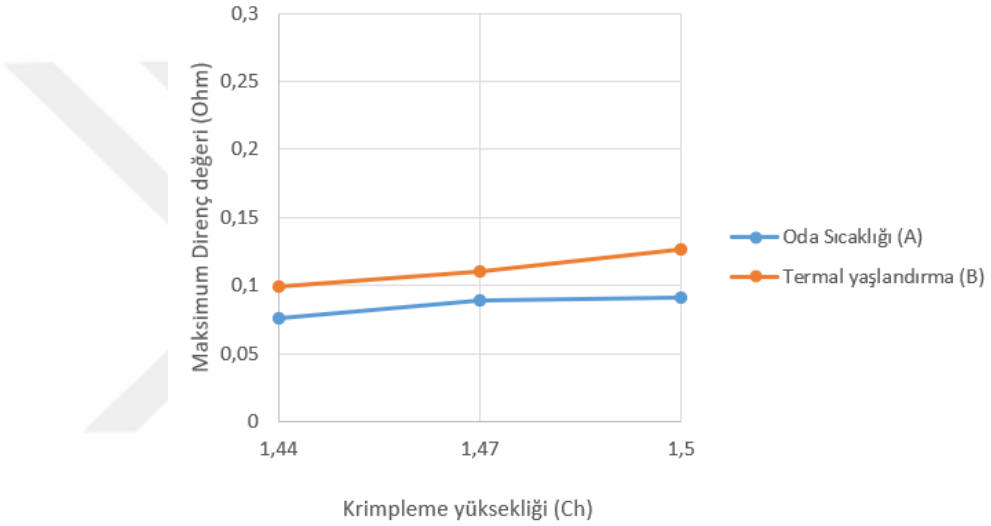
Şekil 4.25 : Kombinasyon 10 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.25 ve Şekil 4.25‘te kombinasyon 10‘a ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 11’da yer alan A3ZP 1,5 mm^2 telin direnci 1,24 mOhm/100 mm’dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,8 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 1,2 mOhm’dur.

Çizelge 4.26 : Kombinasyon 11 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
Ch (Krimp yüksekliği) (mm)	1,44		1,47		1,50	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum Rk	0,064	0,084	0,066	0,088	0,067	0,101
Ortalama Rk	0,072	0,088	0,077	0,099	0,080	0,113
Maksimum Rk	0,076	0,099	0,089	0,110	0,091	0,127
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



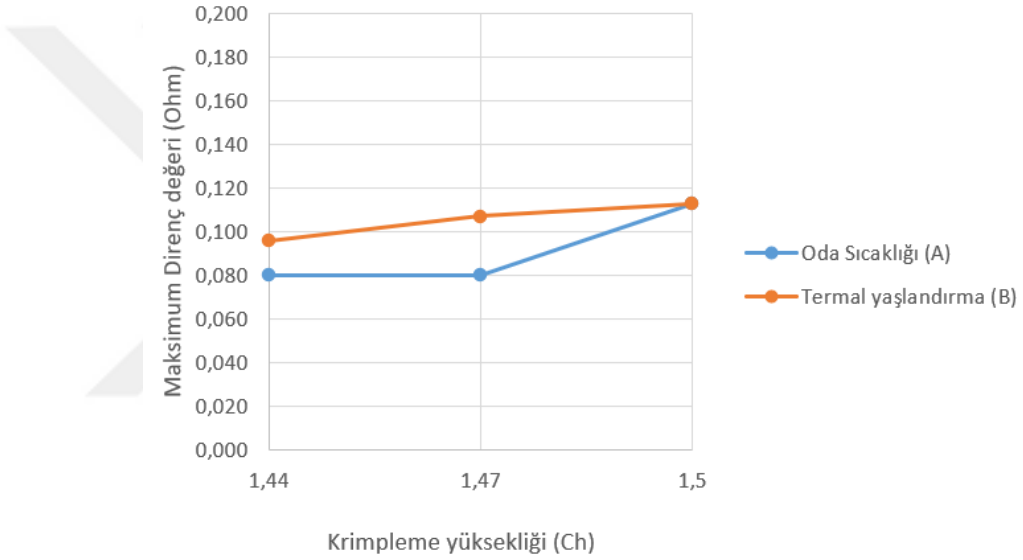
Şekil 4.26 : Kombinasyon 11 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.26 ve Şekil 4.26'da kombinasyon 11'e ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 12'de yer alan FLRYB 1,5 mm^2 telin direnci 1,24 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,8 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 1,2 mOhm'dur.

Çizelge 4.27 : Kombinasyon 12 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,44		1,47		1,50	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,048	0,067	0,068	0,074	0,081	0,082
Ortalama R_k	0,065	0,080	0,075	0,088	0,086	0,096
Maksimum R_k	0,080	0,096	0,080	0,107	0,091	0,113
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



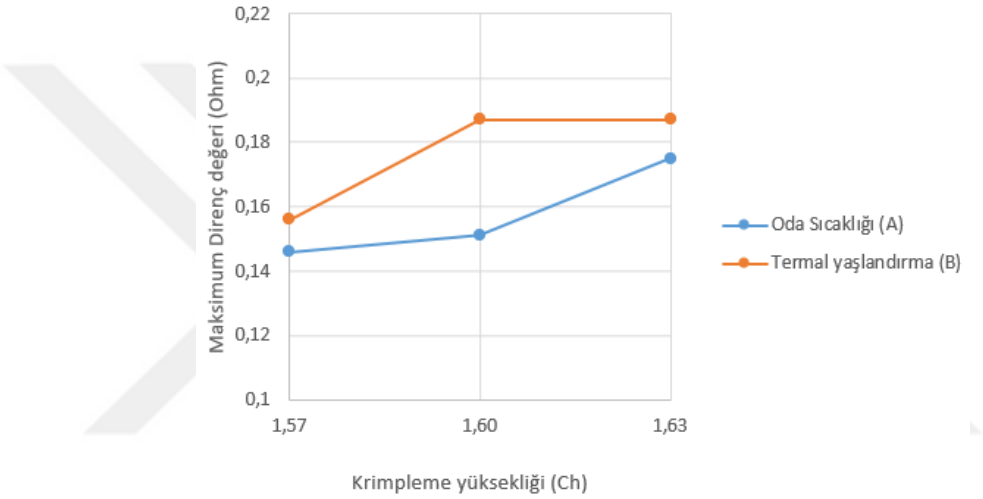
Şekil 4.27 : Kombinasyon 12 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.27 ve Şekil 4.27'de kombinasyon 12'ye ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 13'de yer alan FLRYB 2 mm^2 telin direnci 0,92 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.28 : Kombinasyon 13 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,57		1,60		1,63	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,097	0,106	0,101	0,111	0,106	0,113
Ortalama R_k	0,117	0,128	0,123	0,144	0,129	0,144
Maksimum R_k	0,146	0,156	0,151	0,187	0,175	0,187
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



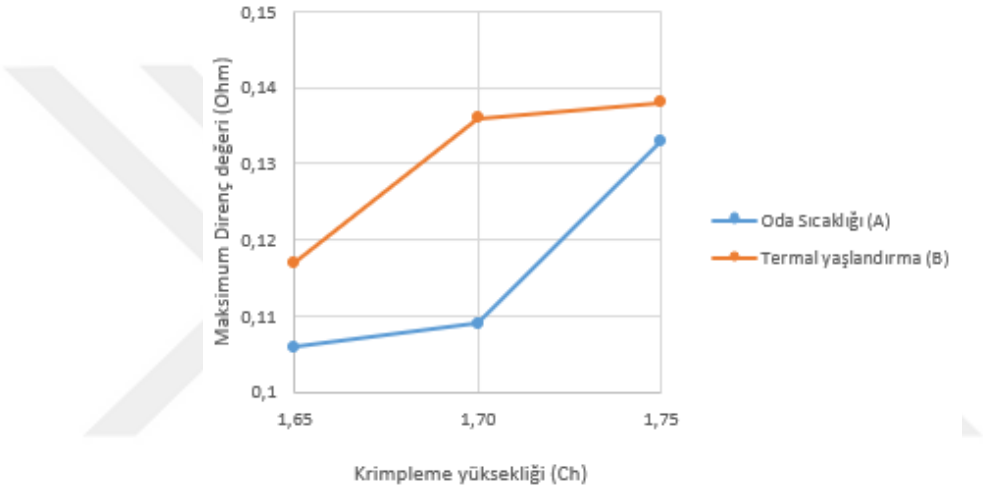
Şekil 4.28 : Kombinasyon 13 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.28 ve Şekil 4.28'de kombinasyon 13'ye ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

Kombinasyon 14'de yer alan FLRYB 2,5 mm^2 telin direnci 0,78 mOhm/100 mm'dir. İstenen direnç değerleri yaşlandırma öncesi oda sıcaklığında maksimum 0,6 mOhm ve yaşlandırma sonrası maksimum 0,9 mOhm'dur.

Çizelge 4.29 : Kombinasyon 14 direnç ölçüm sonuçları.

Test Durumu A: Oda sıcaklığı B: Termal yaşlandırma sonrası (120 C° x 120 saat)						
C_h (Krimp yüksekliği) (mm)	1,65		1,70		1,75	
Test Durumu	A	B	A	B	A	B
Minimum R_k	0,057	0,079	0,058	0,081	0,069	0,086
Ortalama R_k	0,087	0,097	0,092	0,109	0,095	0,110
Maksimum R_k	0,106	0,117	0,109	0,136	0,133	0,138
Değerlendirme	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun



Şekil 4.29 : Kombinasyon 14 direnç-krimpleme yüksekliği grafiği.

Çizelge 4.29 ve Şekil 4.29'da kombinasyon 14'e ait olan elektriksel direnç ölçüm sonuçları ve karşılaştırılması gözükmektedir. Elektriksel direnç tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde uygun çıkmıştır. Bu sebeple bu kombinasyon elektriksel direnç açısından uygundur. Tüm terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliklerinde elektriksel direncin uygun gelmesi beklenmektedir. Bu kombinasyonun alt krimp basma yüksekliğinden kullanılması elektriksel direnç açısından daha uygundur.

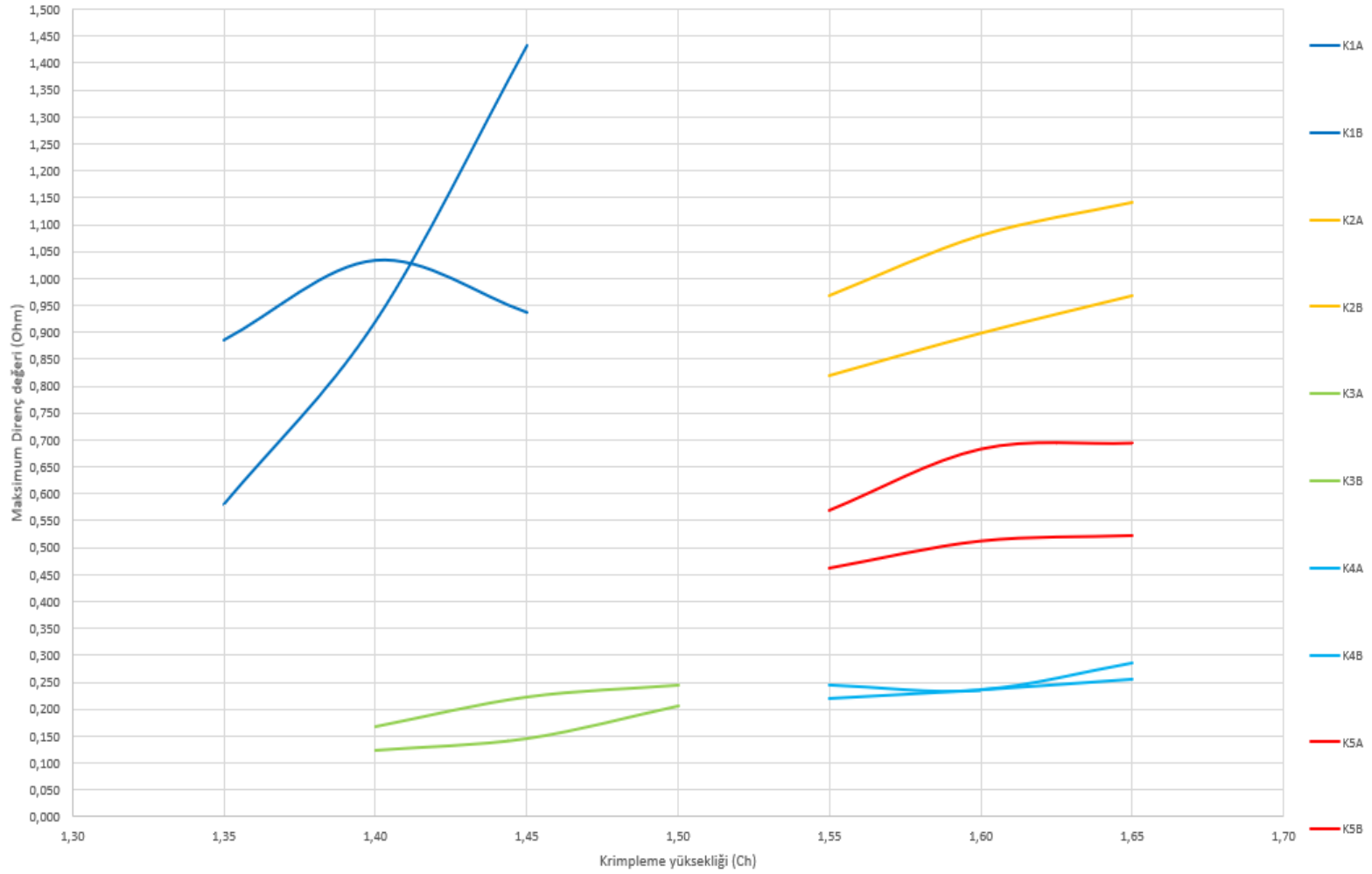
5.SONUÇ

Bu tez çalışmasında iki farklı terminal ile oluşturulan on dört adet krimpli tel kombinasyonu mekanik ve elektriksel açıdan değerlendirilmiştir. Standartlara uygun kombinasyonlar geliştirilerek seri üretim şartlarında kullanılması hedeflenmiştir. Yine standartlara uygun olan kombinasyonların elektriksel dirençleri ile krimp basma yükseklikleri arasındaki ilişki incelenerek en ideal krimp basma yüksekliği tespit edilmiştir.

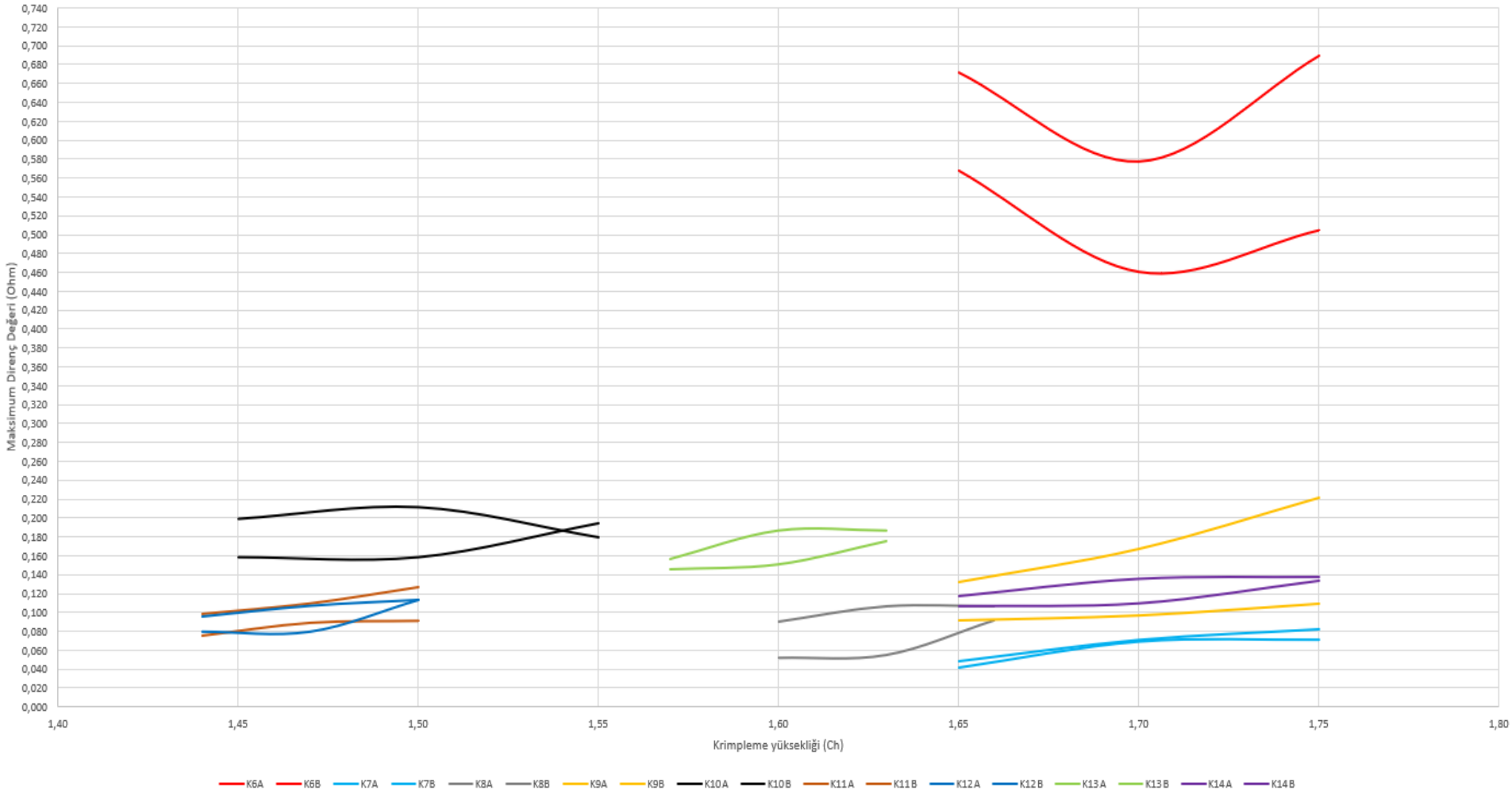
Çizelge 0.1 : Test sonuçları.

Kombinasyon	Testler		
	Mikro kesit analizi	Elektriksel direnç testi	Çekme testi
Kombinasyon 1	Uygun değil	Uygun değil	Uygun değil
Kombinasyon 2	Uygun	Uygun değil	Uygun değil
Kombinasyon 3	Uygun	Uygun değil	Uygun
Kombinasyon 4	Uygun	Uygun değil	Uygun
Kombinasyon 5	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 6	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 7	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 8	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 9	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 10	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 11	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 12	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 13	Uygun	Uygun	Uygun
Kombinasyon 14	Uygun	Uygun	Uygun değil

Çizelge 5.1'de standartlara uygun yapılan testlerin sonuçları tüm kombinasyonlar için yer almaktadır. Kombinasyon 1 tüm test sonuçlarının uygun olmaması sebebiyle kullanılması uygun değildir. Kombinasyon 2 elektriksel direnç ve çekme testi sonuçlarının istenen değerlerde olmaması sebebiyle kullanılması uygun değildir. Kombinasyon 3 ve kombinasyon 4'ün elektriksel direnç değeri istenen değerlerde olmadığı için kullanılması uygun değildir. Kombinasyon 5,6,7,8,9,10,11,12,13 tüm test sonuçları istenen değerlerde olması sebebiyle kullanılması uygundur.



Şekil 5.1 : Terminal 1 kombinasyonları elektriksel direnç değerleri karşılaştırması.



Şekil 5.2 : Terminal 2 kombinasyonları elektriksel direnç değerleri karşılaştırması.

Şekil 5.1'de terminal 1 ile oluşturulan kombinasyonların elektriksel direnç değerleri karşılaştırması görülmektedir. Terminal 1 ile NF3Z tellerin elektriksel direnç değerleri A3ZP tellere göre daha yüksek çıkmıştır. İki adet 1,25 mm^2 tel kombinasyonundan oluşan kombinasyon 5, kombinasyon 4'e göre daha yüksek elektriksel dirence sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 5.2'de terminal 2 ile oluşturan kombinasyonların elektriksel direnç değerleri karşılaştırması görülmektedir. Terminal 2 ile oluşturulan 2,5 mm^2 kesit alanlı teller değerlendirildiğinde en düşük elektriksel direncin NF3Z telde oluştuğu görülmektedir. Terminal 2 ile oluşturulan 2 mm^2 kesit alanlı teller değerlendirildiğinde en düşük elektriksel direncin A3ZP telde oluştuğu görülmektedir. Terminal 2 kombinasyonlarında NF3Z tellerin kesit alanı arttıkça elektriksel direncin azaldığı, A3ZP ile oluşturulan kombinasyonlarda tellerin kesit alanı arttıkça elektriksel direncin arttığı görülmüştür. Terminal 2 ile oluşturulan 1,5 mm^2 kesit alanlı teller değerlendirildiğinde en yüksek elektriksel direncin NF3Z telde oluştuğu görülmektedir. Terminal 2 ile oluşturulan tüm kombinasyonlar elektriksel açıdan uygun olduğu görülmektedir.

Genel olarak krimp basma yüksekliği arttıkça elektriksel direnç değerinin de arttığı görülmektedir. En düşük elektriksel direncin en alt krimp basma yüksekliğinde olduğu görülmektedir. Bu durum, terminal kıvırma (krimpleme) yüksekliğinin her zaman belirli bir aralıkta sınırlandırılması gerektiğine de işaret etmektedir. Terminallerin, her ne kadar kesit alanları uygun teller ile yapılmış olsalarda, bazı kombinasyonların uygun olmadığı görülmüştür. Bu durum tel tipininde terminal kıvırma (krimpleme) kalitesinde önemli bir etken olduğunu göstermektedir. Tel tipinin yanı sıra tel kesit alanları da terminal tipine bağlı olarak terminal kıvırma (krimpleme) kalitesini etkilemektedir. Aynı tel tipinde farklı kesitlerde uygunsuz sonuçlar çıkabileceği görülmüştür.

1,55 mm terminal kıvırma yüksekliğinde çift basım ile oluşturulan 2.5 mm^2 A3ZP tel kombinasyonunda tek basım A3ZP tele göre %47,3 elektriksel direnç artışı gözlenmiştir. 1.5 mm^2 kesit alanında terminal 2 kombinasyonlarında alt kıvırma yüksekliğinde FLRYB ve A3ZP tellerin NF3Z tele göre yaklaşık %50 daha az elektriksel direnç oluşturduğu görülmüştür. 2.5 mm^2 kesit alanları değerlendirildiğinde alt kıvırma yüksekliğinde maksimum elektriksel dirençler açısından NF3Z tel kombinasyonu A3ZP'nin %44,5 ve FLRYB telin %38,6 oranında direnç oluşturduğu

görülmektedir. FLRYB 1,5 ve 2 mm^2 kesit alanlı teller değerlendirildiğinde %8,2 terminal kıvırma yüksekliği artışına karşı %54,7 lik bir elektriksel direnç artışı görülmüştür. Terminal 1 kombinasyonlarında NF3Z ve A3ZP tellerindeki %20'lik kesit alanı artışı sonrası NF3Z tellerde %6 çekme dayanımı azalması ve A3ZP tellerde %4,7'lik bir çekme dayanımı azalması olmuştur. Terminal 2 kombinasyonlarında 1,5 mm^2 kesit alanlı teller değerlendirildiğinde A3ZP kombinasyonu %7,8, NF3Z kombinasyonu %5,8 ve FLRYB kombinasyonu %3,6 oranında beklenen çekme kuvveti değerinden fazla dayanım göstermiştir.

Bu çalışmanın ardından gelecekte yapılabilecek araştırmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Farklı tel malzelerinin (aluminyum, bakır vb.) elektriksel dirençlerinin karşılaştırılması incelenebilir.
- Daha geniş terminal kombinasyonlarının test sonuçları, minitab analiz programında istatiksel olarak incelenerek karşılaştırmalar yapılabilir.
- Daha farklı tel tipleri ile terminal kıvırma (krimpleme) yapılarak bunların elektriksel ve mekanik değerleri incelenebilir.
- Yüksek kesit alanına sahip tellerin terminal kıvırma (krimpleme) yükseklikleri ile elektriksel dirençleri arasındaki ilişki incelenebilir.
- Terminal kaplama malzeme değişiminin terminal kıvırma (krimpleme) elektriksel direnci üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Tilindis, J., Kleiza, V. (2014). The effect of learning factors due to low volume order fluctuations in the automotive wiring harness production. *Procedia CIRP, 19*, 129–134.

[2] Vehicle electrical wiring: The nervous system of the automobile. (n.d.). Retrieved February 28, 2025, from https://www.waycon.it/en/services/wiring-harness/

[3] Strategic Market Research. (2022). *Automotive wiring harness market size, global share, 2030.* Retrieved from https://www.strategicmarketresearch.com/market-report/automotive-wiring-harness-market

[4] Nguyen, H. G., Kuhn, M., Franke, J. (2021). Manufacturing automation for automotive wiring harnesses. *Procedia CIRP, 97*, 379–384.

[5] Handling high-mix harness assembly. (2016). Retrieved January 28, 2025, from https://www.assemblymag.com/articles/93476-handling-high-mix-harness-assembly

[6] **All connector collections**. (n.d.). Retrieved January 28, 2025, from https://auto-connectors.co.uk/collections/all

[7] Wire harness terminal. (2025). Retrieved January 28, 2025, from https://www.nationalcomponent.com/wire-harness-terminal-9766665.html

[8] Ogihara, S., Takata, K., Hattori, Y., Yoshida, K. (2006). Mechanical analysis of the crimping connection. *Proceedings of the 52nd IEEE Holm Conference on Electrical Contacts.*

[9] Elliott, B. (2007). *Electromechanical devices & components illustrated sourcebook.* McGraw-Hill Education.

[10] Rajak, A. K., Kore, S. D. (2017). Experimental investigation of aluminium–copper wire crimping with electromagnetic process: Its advantages over conventional process. *Journal of Manufacturing Processes, 26*, 57–66.

[11] Rajak, A. K., Kore, S. D. (2018). Comparison of different types of coil in electromagnetic terminal-wire crimping process: Numerical and experimental analysis. *Journal of Manufacturing Processes, 34*, 329–338.

[12] ZCTSA 2 Ton terminal kıvırma (krimpleme) presi. (n.d.). Retrieved January 28, 2025, from https://www.makiner.com.tr/urun/zctsa-2-ton-otomatik-kalip-ayarli-terminal-terminal kıvırma (krimpleme)-presi/1268

[13] MESA Terminal soket. (2012). Retrieved January 28, 2025, from https://www.mesaotoelektrik.com.tr/1699/terminal kıvırma (krimpleme)teknigi.html#:~:text=Terminal kıvırma (krimpleme)%20a%C3%A7%C4%B1k%20ya%20da%20kapal%C4%B1

[14] Uzun, U. E., Karademir, T., Pamuk, N., Onat, N. (2021). Methods and devices used in determining the quality of electric wires terminal crimping. *European Journal of Science and Technology*, *27*, 221-227.

[15] Camiresearch1. (2015). Improving cable quality & reliability resistance measurement to within 1mΩ. Retrieved from https://www.camiresearch.com/Campaigns/Web-Articles/4-wire-testing.html

[16] Standard1. (2018). Standard for wire connectors UL 486a-486b. Retrieved January 28, 2025, from https://standardscatalog.ul.com

[17] International Electrotechnical Commission (IEC). (2024). *IEC 60352-2: Solderless connections - Part 2: Crimped connections - General requirements, test methods and practical guidance*. Retrieved January 28, 2025, from https://webstore.iec.ch/en/publication/68899

[18] Liu, D. R., Bracket, T., McCarthy, S. (2001). Contact resistance comparison of good and bad crimp joints with tinned wires under thermal shock. *Proceedings of the Forty-Seventh IEEE Holm Conference on Electrical Contacts (IEEE Cat. No. 01CH37192)* (pp. 35-43). IEEE.

[19] Kıvanç, Ö. C., Özgönenel, O., Bostan, Ö., Güzel, Ş., Demirsoy, M. (2022). A novel crimping technique approach for high power white good plugs. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, *30*(4), 1525-1538. https://doi.org/10.55730/1300-0632.3863

[20] Hot sales ultrasonic welding machine of copper wires. (2010). Retrieved January 28, 2025, from https://ksyuanhan888.en.madeinchina.com

[21] Castro, T. A. M., Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G. (2017). Optimising a specific tool for electrical terminals crimping process. *Procedia Manufacturing*, *11*, 1438-1447.

[22] TE Connectivity. (2019). Crimp quality guidelines. Retrieved January 28, 2025, from https://www.te.com/content/dam/te-com/documents/application

[23] Yin, Z. H., Park, J. G., Choi, H. S., Kim, Y. S. (2009). Quality improvement for crimping process of electrical connector using FEM analysis. *Transactions of Materials Processing, 18(3)*, 229-235.

[24] Roccato, P. E., Bellavia, L., Galliana, F., Capra, P. P., Perta, A. (2020). Dependency of the electrical resistance in crimped connections on mechanical stresses. *Engineering Research Express, 2*(3), 035002.

[25] Galliana, F., Bellavia, L., Caria, S. E., Perta, A. P., Roccato, P. E. (2023). The effect of thermal stresses on the electrical resistance of crimped connections. *MAPAN*, *38*(1), 71–82.

[26] Li, P., Liu, G., Fan, J., Sun, J., Xiu, H., Tian, C. (2021). Mathematical model for the tensile strength of the crimping assembly of aviation wiring harness end. *Scientific Reports*, *11*(1), 17868.

[27] Mohd, R. M. M., Huzainie, S. A. H., Ahmad, B. A. G. (2013). Study of cable crimping factors affecting contact resistance of medium voltage cable ferrule and lug.

[28] **Trommnau, J., Kühnle, J., Siegert, J., Inderka, R., Bauernhansl, T.** (2019). Overview of the state of the art in the production process of automotive wire harnesses, current research and future trends. *Procedia CIRP, 81*, 387–392.

[29] Nguyen, H. G., Habiboglu, R., Franke, J. (2022). Enabling deep learning using synthetic data: A case study for the automotive wiring harness manufacturing. *Procedia CIRP, 107*, 1263–1268.

[30] Dragomir, F., Tiberiu, M., Gilbert-Rainer, G. (2024). Crimp height influence over resistivity in wiring crimping process. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1319, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

[31] ISO 19642-1. (2023). Road vehicles—Automotive cables—Part 1: Vocabulary and design guidelines. Erişim tarihi: 28 Ocak 2025, https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:19642:-1:ed-2:v1:en

[32] Egekablo. (2024). *Taşıt kabloları*. Retrieved January 28, 2025, from https://www.egekablo.com/tasitkablolari/flry-a-flyr-b

[33] KSCable. (n.d.). *Automotive cables*. Retrieved January 28, 2025, from http://www.kscable.co.kr/eng/business/product.html?ckattempt=1

[34] **Claravision.** (2025). *Crimp cross section analysis and measurement*. Retrieved January 28, 2025, from https://www.claravision.com/en/produit/crimp-analysis/#

[35] Schleuniger. (2018). *Modular system for crimp cross-section analysis datasheet*. Retrieved January 28, 2025, from https://www.schleuniger.com/en/products/qualityassurance/crimp-micrographanalysis/micrograph-system

[36] International Electrotechnical Commission (IEC). (2024). *IEC 60352-2: Solderless connections - Part 2: Crimped connections - General requirements, test methods and practical guidance*. Retrieved January 28, 2025, from https://webstore.iec.ch/en/publication/68899

[37] Wiring Harness News. (2023). *Micrograph: The inner values of a crimp*. Retrieved January 28, 2025, from https://wiringharnessnews.com/micrograph-the-inner-values-of-a-crimp/

[38] Jongwuttanaruk, K., Thavornwat, C. (2022). Optimization of mechanical crimping in the terminal crimping process using a response surface methodology. *Advances in Materials Science and Engineering, 2022*(1), 6508289. https://doi.org/10.1155/2022/6508289

[39] Mikrolab. (n.d.). ML3700 Mikrografi. Retrieved January 28, 2025, from https://www.cable-tec.de/en/products-crimping-line/complete-microlabs/complete-microlabs/produkt.microlab-ml-3700.html

[40] Keithley. (2018). Keithley 2750 multimeter. Retrieved January 28, 2025, from https://www.netes.com.tr/urun/keithley-2750-multimetre-veri-yakalama-switch-sistemleri

[41] Aralab. (n.d.). Climate chamber FitoTerm 150 CTE2. Retrieved January 28, 2025, from https://www.medicalexpo.com/prod/aralab/product-112541-785666.html

[42] UL Standards. (2018). *Standard for wire connectors UL 486a-486b*. Retrieved from https://standardscatalog.ul.com

[43] USCAR. (n.d.). *USCAR standards*. Retrieved January 28, 2025, from https://uscar.org/

[44] Mecmesin. (2023). *Multitest 2.5-i*. Retrieved January 28, 2025, from https://www.mecmesin.com/tr/yaz%C4%B1l%C4%B1m-kontroll%C3%BC-kuvvet-sistemleri/tek-s%C3%BCtunlu-kuvvet-test-cihaz%C4%B1

[45] Mecal. (n.d.). *P080 crimping press*. Retrieved January 28, 2025, from https://www.mecalbystarn.com/presses-p080-crimping-press/