



T.C.

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT ÖZLÜ ALÜMİNYUM İLETKENLERİN (ACCC) ÜRETİLMESİ
VE İLETKENLİĞİNİN YÜKSELTİLMESİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Ebru KISTI

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

MAYIS-2016



T.C.

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT ÖZLÜ ALÜMİNYUM İLETKENLERİN (ACCC)
ÜRETİLMESİ VE İLETKENLİĞİNİN YÜKSELTİLMESİ İÇİN YAPILAN
ÇALIŞMALAR**

Ebru KISTI

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

MAYIS-2016

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT ÖZLÜ ALÜMİNYUM İLETKENLERİN (ACCC) ÜRETİLMESİ
VE İLETKENLİĞİNİN YÜKSELTİLMESİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Ebru KISTI

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANSTEZİ**

Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan AKGÖL danışmanlığında hazırlanan bu tez 31/05/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan AKGÖL

Başkan

Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN

Üye

Prof. Dr. Faruk KARADAĞ

Üye

Bu tez Enstitümüz Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 12

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ

Enstitü Müdürü V.

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 3150824

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

31.05.2016

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Ebru KISTI

ÖZET

KOMPOZİT ÖZLÜ ALÜMİNYUM İLETKENLERİN(ACCC) ÜRETİLMESİ VE İLETKENLİĞİNİN YÜKSELTİLMESİ İÇİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tezde Kompozit özlü alüminyum iletkenlerin (ACCC) üretilmesi ve iletkenliğinin yükseltilmesi için yapılan çalışmalar anlatılacaktır. Bu konuyla ilgili yapılan ‘Yüksek Gerilim Nakil Hatlarında Ülkemizi Geleceğe Taşıyacak Olan Kompozit Özlü Alüminyum İletkenin Üretilmesi ve Geliştirilmesi’ isimli ‘3150824’ numaralı proje yöneticisi olduğum TÜBİTAK Projesi kabul edilmiştir.

Elektrik enerjisi taleplerinin büyümesiyle birlikte iletim hatlarının kapasitesinin ve etkinliğinin artırılması giderek önem kazanmaktadır. ACCC iletkeninin üretilmesinin temel nedeni geleneksel iletkenlerin dezavantajları göz önünde bulundurularak, artan enerji taleplerini karşılamaktır. Bu tez çalışmasında ACCC iletkeninin avantajları yapılan testlerle desteklenerek anlatılacaktır. İletkenlik değeri yükseltilirken uygulanan ısıl işlemler, elde edilen ısıl işlem verileriyle yapay sinir ağları kullanılarak optimizasyon yapılması ve standartlarda geleneksel iletkenler için belirtilmeyen fakat ACCC iletkenler için minimum değeri belirtilen alüminyumun uzama değerlerinin nasıl yakalandığı anlatılacaktır. Ülkemizde ilk defa üretilecek olan bu iletkenin yapısı, üretim prosesi, standartlarda belirtilen değerlerin tutturulması sırasında yapılan testler ve uygulanan yöntemler anlatılacaktır.

2016,81 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Kompozit özlü alüminyum iletken, ACCC, Isıl işlem ile iletkenliğin artırılması, iletken testleri

ABSTRACT

STUDIES ON THE PRODUCTION OF COMPOSITE CORED ALUMINIUM CONDUCTORS (ACCC) AND IMPROVING THEIR CONDUCTIVITY

In this thesis, the studies on the production of composite cored aluminum conductors (ACCC) and the works done for improving their conductivity will be proposed. TUBITAK Project “Production and Development of Composite Cored Aluminum Conductors that will move our Country to the Future in High Voltage Transmission Lines” with the number of 3150824 is accepted.

Together with the increasing electrical energy demands, increasing the capacity and the efficiency of the transmission lines has gained a great importance. The main reason for producing ACCC conductors is to meet the growing energy demand by considering the disadvantages of the traditional conductors. In this thesis, the advantages of ACCC conductors will be explained via the conducted tests. While improving the conductivity value, heat treatments, performing optimization by using an artificial neural network with the heat treatment values and how the aluminum extension values which are not given for traditional conductors but need to be considered in ACCC conductors are achieved will be explained in details. The structure of this conductor which will be manufactured for the first time in our country, manufacturing process, tests and the method applied for achieving the values stated in the international standard will be proposed.

2016, 81 pages

Keywords: Composite Core Aluminum Conductors, ACCC, Increasing the conductivity via thermal process, conducting tests.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans konusunun belirlenmesinde yardımcı olan ve tecrübeleriyle tezime katkıda bulunan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan AKGÖL'e ve lisans dönemimden beri hocam olan görüşleriyle aydınlatan Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin konusunu oluşturan, dünyada üretimi ve uygulamaları bulunan fakat Türkiye'nin henüz tanışacağı kompozit özlü alüminyum iletkeni(ACCC) ilk defa üreterek risk alan, yeniliklerin arkasında değil yeniliklerle yan yana yürüyen, ileri görüşlü, bilginin paylaşıldıkça çoğalacağına inanan, kaliteyi ilke edinmiş bir şirket politikasına sahip EMTA KABLO yöneticilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimi yazarken ve iş hayatımda yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşım Sayın Necati OCAK'a, yüksek lisansı tamamlamamı destekleyen müdürüm Sayın Ümit Galip UNCU'ya gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen eşim Aydın KISTI'ya, bana tezimi yazmamda fırsat veren 2 yaşındaki oğlum Yiğit Ege KISTI'ya, birkaç hafta sonra dünyaya gelecek olan tezimi birlikte yazdığım kızım Zeynep Ada KISTI'ya ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Havai Hatlarda Alüminyumun Tercih Edilme Nedenleri.....	1
1.2. Alüminyum Havai Hat İletkenleri	1
1.2.1. Tam Alüminyum İletkenler (AllAluminiumConductors).....	3
1.2.2. Tam Alüminyum Alaşımli İletkenler (AllAluminiumAlloyConductors).....	3
1.2.3. Çelik Özlü Alüminyum İletkenler(AluminiumConductor Steel Reinforced) .	4
1.2.4. Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler (AluminiumConductorCompositeCore)	4
1.3. İletken Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler.....	5
1.3.1. İletkenlik	5
1.3.2. Korona'ya Karşı Dayanıklılık	5
1.3.3. Çap.....	6
1.3.4. Özgül Ağırlık	6
1.3.5. Sehim (Fleş)	6
1.3.6. Mekanik Dayanıklılık).....	6
1.3.7. Isıya Karşı Dayanıklılık.....	7
1.4. Amaç.....	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. ACCC İletkenlerin Avantajları	11
2.2. ACCC İletkenler İçin Yapılan Mekanik Testler.....	14
2.3. Alüminyum Isıl İşlem Uygulamaları	20
2.3.1. Deformasyon	20
2.3.1.1. Elastik Deformasyon	20
2.3.1.2. Plastik Deformasyon.....	20
2.3.2. Tavlama	22
2.3.2.1. Toparlanma	23
2.3.2.2. Yeniden Kristalleşme.....	24
2.3.2.3. Tane Büyümesi	24
3. METARYEL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Metaryel.....	27
3.1.1. Alüminyum.....	27
3.1.2. Kompozit Malzemeler	30
3.2. Yöntem	34
3.2.1. ACCC İletken Üretim Prosesleri	34
3.2.1.1. Döküm Prosesi.....	34

3.2.1.2. Tel Çekme Prosesi Alüminyum.....	37
3.2.1.3. Örme Prosesi.....	39
3.2.1.4. Isıl İşlem Prosesi.....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	45
4.1. Alüminyum Tellere Uygulanan Isıl İşlem ve Sonuçları.....	45
4.2. Yapay Sinir Ağlarıyla Optimizasyon	51
4.3. ACCC Silvassa İletkeni İçin Yapılan Rutin Testler	55
4.3.1. Kimyasal Analiz	56
4.3.2. Adım Yönü	57
4.3.3. Adım Oranı	58
4.3.4. Birim Uzunluk Başına Kütle	62
4.3.5. Alüminyum Tellerin Kesit Alanının Hesaplanması	64
4.3.6. İletkenlik Testi	67
4.3.7. Çekme Deneyi	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Alüminyum İletken Çeşitleri.....	2
Şekil 1.2. AAC İletken.....	3
Şekil 1.3. AAAC İletken.....	3
Şekil 1.4. ACSR İletken.....	4
Şekil 1.5. ACCC İletken.....	4
Şekil 1.6. Çelik öz ve kompozit özün karşılaştırılması.....	8
Şekil 1.7. Optimizasyonun ana aşamaları.....	9
Şekil 1.8. İletkenlerin karşılaştırılması.....	10
Şekil 2.1. Tavsiye edilen termal sınırlar içerisinde çalıştırılan değişik iletken tiplerinin akım taşıma kapasiteleri (CTC Global, 2011).....	13
Şekil 2.2. HydroOne tarafından yapılan testlerde farklı iletken tipleri için sıcaklık sehim karşılaştırılmaları verilmiştir (CTC Global, 2011).....	14
Şekil 2.3. 100 bin kamçılama ve gerilme testinin ardından iletkenlerin son durumları (CTC Global, 2011).....	15
Şekil 2.4. Kasnak testi, 100 milyon titreşim, 100 bin kamçılama ve gerilme testinin ardından yorulma hatası veren alüminyum teller (CTC Global, 2011).....	16
Şekil 2.5. Bükme işlemi (Serfiçeli, 2002).....	16
Şekil 2.6. Bükme esnasında eksenler (Serfiçeli, 2002).....	17
Şekil 2.7. Bükme sonucu malzemede meydana gelen değişimler (Serfiçeli, 2002).....	17
Şekil 2.8. İletken 6 inç çapında, 90 derece açıyla 10 kez bükülmüştür (CTC Global, 2011).....	17
Şekil 2.9. İletken 6 inç çapında, 90 derece açıyla 10 kez büküldükten 2 dk sonra ilk noktalar (CTC Global, 2011).....	18
Şekil 2.10. Kompozit öz numunesi bir yıl boyunca 220°C’de fırınlanmıştır (CTC Global, 2011).....	18
Şekil 2.11. Kompozit öz numunesinin bir yıl boyunca 220°C’de fırınlandığı, Oksidasyon ~60 mikron derinliği geçmediği görülmüştür (CTC Global, 2011).....	19
Şekil 2.12. Kompozit öze uygulanan burulma deneyi sonucu 54 tur sonunda kopma olmamıştır. (CTC Global, 2011).....	19
Şekil 2.13. Çelik öze uygulanan burulma deneyi sonucu çelik özün 4 tur sonraki görüntüsü (CTC Global, 2011).....	20
Şekil 2.14. Soğuk şekillendirme (Savaşkan,2015).....	21
Şekil 2.15. AlMg5Mn alaşımını sıcak deformasyon sonrası yeniden kristalleşmesi (Savaşkan,2015).....	22
Şekil 2.16. Toparlanmış tanelerin yapısı(Savaşkan,2015).....	23
Şekil 2.17. Tane yapıları(Savaşkan,2015).....	24
Şekil 2.18. Tane büyüme hızı(Savaşkan,2015).....	25
Şekil 2.19. Sıcaklığın yeniden kristalleşme ile oluşan tanelerin büyüklüğüne etkisini gösteren eğri (Savaşkan,2015).....	25
Şekil 2.20. Soğuk şekil değiştirme ve ardından uygulanan tavlama işleminin malzemenin özelliklerine etkisi (Savaşkan,2015).....	26

Şekil 3.1.Örnek bir alüminyum külçe analizi	29
Şekil 3.2.Elyaf takviyesi ile plastik malzemenin çekme dayanımının artışı (Sayman O. ve ark. ,1978).....	32
Şekil 3.3. Farklı malzemelerin çeşitli özellikleriyle karşılaştırılması (Matthews, Analysis)	33
Şekil 3.4.Kompozit özün yapısı	33
Şekil 3.5. Kompozit özün makaraya sarılmış hali.....	34
Şekil 3.6.Döküm prosesi ergime ve dinlendirme fırınları.....	35
Şekil 3.7. Döküm prosesi bakır teker soğutma ünitesi ve alüminyum bara oluşumu	35
Şekil 3.8.Döküm prosesi haddeleme ünitesi	35
Şekil 3.9.Döküm prosesi sepet ünitesi	36
Şekil 3.10.Döküm prosesi akış diyagramı	36
Şekil 3.11.Tel çekme prosesi	37
Şekil 3.12.Tel çekme prosesi haddeleri	38
Şekil 3.13.ACCC Silvassa iletkeni için örnek bir mamül hadde tasarımı. Alt katman ve üst katman için iki farklı seri tasarlanmıştır	38
Şekil 3.14.Tel çekme prosesi akış diyagramı.....	39
Şekil 3.15.Örme makinesi	40
Şekil 3.16.Örme makinesine eklenen örme kafası.....	41
Şekil 3.17.Örme makinesinde tellerin haddeye girmeden emülsiyon yağı kullanılması.....	41
Şekil 3.18. Örme prosesi akış diyagramı	42
Şekil 3.19. Alüminyum filmaşine uygulanan ısıl işlem	43
Şekil 3.20. Alüminyum tellere uygulanan ısıl işlem.....	43
Şekil 4.1. EN 1715-2 Standardında belirtilen iletkenlik değerleri.....	45
Şekil 4.2. Sinir hücrelerinde dört ana bölümün gösterilmesi.....	51
Şekil 4.3. Yapay sinir ağı şeması	52
Şekil 4.4. Eğitim aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle saçılım grafiği	53
Şekil 4.5. Eğitim aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle dağılım grafiği	53
Şekil 4.6. Test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle saçılım grafiği.....	54
Şekil 4.7. Test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle dağılım grafiği.....	54
Şekil 4.8. ACCC Silvassa iletkeninin teknik şartnamesi	55
Şekil 4.9. Spektrometre test cihazı	56
Şekil 4.10. Kimyasal analiz cihazında analizi yapılan bir alüminyum alaşım.....	57
Şekil 4.11. ACCC Silvassa iletkeni üst katmanının sağ adım yönünde örüldüğünün gösterilmesi	57
Şekil 4.12. Üst katmanda bulunan iletken tellerin izlerinin karbon kağıdı yardımıyla kağıda çıkarılması	58
Şekil 4.13. Üst kat 12 telli katmanın adım uzunluğu testi	58
Şekil 4.14. Kumpas yardımıyla en üst katman 12 telli tabakanın iletken çapının ölçülmesi sonucu üst katmanın çapının 14.35 mm olduğu görülmüştür.....	59
Şekil 4.15. Üst katmanın adım oranı, üst katman 12 telli tabakanın adım uzunluğunun, üst katman 12 telli tabakanın çapına bölünmesiyle 10.52 olarak hesaplanmıştır	60

Şekil 4.16. 12 telli üst katmanın soyulması	60
Şekil 4.17. Alt katmanda bulunan 8 telli katmanda bulunan tellerin izlerinin karbon kağıdı yardımıyla kağıda çıkarılması	61
Şekil 4.18. Alt Kat 8 telli katmanın belirlenen adım uzunluğunun çelik cetvel yardımıyla 111 mm olarak ölçülmüştür	61
Şekil 4.19. Alt katman 8 telli tabakanın dış çapının ölçülmesi sonucu çap 10.16 mm olarak ölçülmüştür.....	62
Şekil 4.20. Alt kat 8 telli tabakanın adım uzunluğunun çapına bölünmesiyle adım oranı 10.92 olarak hesaplanmıştır	62
Şekil 4.21. ACCC Silvassa iletkeninin 1 metre (1000mm) ölçülen iletken uzunluğunun gösterilmesi	63
Şekil 4.22. ACCC Silvassa İletkenin 1 metresinin ağırlığı hassas terazi yardımıyla 394 gr olarak ölçülmüştür	63
Şekil 4.23. ACCC Silvassa iletkeninin birim ağırlığının hesaplanması sonucu 394 kg/km olduğu görülmüştür	64
Şekil 4.24. Yuvarlak şekilli tellerin çapının ölçülmesi	64
Şekil 4.25. Silindirin çap ve uzunluğunun gösterilmesi	65
Şekil 4.26. Sert çekilmiş alüminyum tel için TS EN 60889 Standardında verilen değerler.....	66
Şekil 4.27. ACCC Silvassa iletkeni trapez şeklindeki telin 1 metre uzunluğunda kesilmesi.....	66
Şekil 4.28. 1 metre uzunluğundaki telin hassas teraziyle tartılması sonucu 17 gr geldiği görülmüştür	66
Şekil 4.29. ACCC Silvassa iletkeninde kullanılan 1 metre uzunluğunda tek telin direnci 4,333 mΩ olarak ölçülmüştür	68
Şekil 4.30. ACCC Silvassa iletkenin direnç ölçer cihazına yerleştirilmesi	69
Şekil 4.31. ACCC Silvassa iletkenin ölçülen direnç değeri	69
Şekil 4.32. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı	70
Şekil 4.33. Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının Ş2belirlenmesini gösteren diyagram(Yıldızlı, 2011).....	72
Şekil 4.34. Gevrek ve sünek malzemenin kırılma şekilleri.....	74
Şekil 4.35. Gevrek ve sünek malzemelere ait çekme deneyi grafiği (Yıldızlı, 2011)....	74
Şekil 4.36. ACCC Silvassa tellerinin çekme cihazında koparılması sonucu gerilme uzama grafiği.....	75
Şekil 4.37. ACCC Silvassa telinin çekme cihazıyla koparılması.....	75
Şekil 4.38. Alüminyum tellerin kopma sonucu ekran resmi.....	76
Şekil 4.39. ACCC Silvassa tellerinin kopma sonuçları.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. ACSR Drake iletkeni ile aynı çapa sahip ACCC iletkenin boyutlarının karşılaştırılması(Alawar ve ark. , 2005).....	11
Çizelge 4.1. Mukavemeti 65Mpa, iletkenliği 63,15 %IACS olan filmaşinden çekilen 20 adet bobineuygulanan ısıtma işlem ve sonuçları.....	47
Çizelge 4.2. Mukavemeti 65 Mpa, iletkenliği 63,4 %IACS olan filmaşinden çekilen 20 adet bobineuygulanan ısıtma işlem ve sonuçları.....	48
Çizelge 4.3. Mukavemeti 92Mpa, iletkenliği 62,21 %IACS olan filmaşinden çekilen 20 adet bobineuygulanan ısıtma işlem ve sonuçları.....	49
Çizelge 4.4. Mukavemeti 93Mpa, iletkenliği 62,08 %IACS olan filmaşinden çekilen 20 adet bobineuygulanan ısıtma işlem ve sonuçları.....	50
Çizelge 4.5. ACCC Silvassa iletkeni teknik özellikleri	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACCC: Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler

AAC: Tam Alüminyum İletkenler

AAAC: Tam Alüminyum Alaşımli İletkenler

ACSR: Çelik Özlü Alüminyum İletkenler

IACS: Uluslar Arası Tavlanmış Bakır Standardı

Al: Alüminyum

S: Kesit Alanı

D: Çap

d: Özkütle

m: Kütle

V: Hacim

L: Boy

ρ : Özdirenç

E: Elektrik Alan Şiddeti

J: Elektrik Akım Yoğunluğu

V: İki Uç Arasındaki Gerilim

R: Direnç

I: Akım Şiddeti

F: Kuvvet

Δl : Uzama

σ : Gerilme

ϵ : Şekil Değişirme (Birim Uzama)

σ_0 : Orantı Sınırı

E: Elastiklik Modülü

σ_E : Elastiklik Sınırı

σ_a : Akma Dayanımı

F_a : Akma Kuvveti

A_0 : İlk Kesit Alanı

σ_c : Çekme Dayanımı

F_{maks} : Uygulanan En Yüksek Kuvvet

σ_k : Kopma Dayanımı

KU: Kopma Uzaması

l_k : Numunenin Kırılma Anındaki Boyu

l_0 : Numunenin İlk Ölçü Uzunluğu

KU(%): Yüzde Kopma Uzaması

KB: Kopma Büzülmesi

A_k : Kırılma Anındaki Kesit Alanı

1.GİRİŞ

1.1.Havai Hatlarda Alüminyumun Tercih Edilme Nedenleri

Termik (kömür, fuel-oil, motorin, doğalgaz, jeotermal), hidrolik ve nükleer gibi çeşitli enerjilerden yararlanılarak üretilen elektrik enerjisi, genelde uzun mesafelere iletilir; şehir ve köy gibi yerleşim bölgelerine, sanayi tesislerine dağıtılır ve buralarda tüketilir. Çıplak iletkenler, baralar, yalıtılmış hava hattı ve yeraltı güç kabloları ve ek malzemeleri elektrik enerjisi iletim ve dağıtımının başlıca elemanlarıdır. (Anonim, 2012)

Yakın zamana kadar, elektrik enerji iletim ve dağıtımında, bakır, uygun özellikleri nedeni ile bu alandaki ana iletken malzemesi olmuştur. Bakır, yüksek elektrik geçirgenliği, işlenebilirlik ve mekanik özellikleri iyi olan bir metaldir. Pek çok ülkede, alüminyumun iletim ve dağıtım sistemlerinin tüm elemanları için bakırın yerine, ana iletken malzemesi olarak kabul edilmeye başlamıştır. Bunun pek çok nedeni bulunmaktadır. Alüminyum bakıra göre çok hafiftir, alüminyumun yoğunluğu, yaklaşık olarak bakırın % 30'u kadardır. Özellikle, hava hattı direk konstrüksiyonlarında hafiflik çok önemlidir, çünkü ağır iletkenler, ağır direk yapılarına ihtiyaç gösterir. Ayrıca, alüminyum iletkenlerin taşınması, işlenmesi ve montajı, ağır bakır iletkenlere göre daha kolaydır. Alüminyumun hafifliği, ağır bakır iletkenlere göre birçok avantaj sağlamaktadır. Alüminyum cevheri, yeryüzü kabuğunda en çok bulunan metaldir, yaklaşık yeryüzünün % 8' ini kapsamaktadır. (Anonim, 2012)

Günümüzde bakır cevherleri çok azalmış ve sınırlı olması sonucu bakır fiyatları yüksek ve yükselme eğilimindedir. Alüminyum, ucuzluğun, hafifliğin ve özelliklerinin verdiği avantajları nedeni ile alüminyum çıplak iletken ve kablo fiyatları, bakır çıplak iletken ve kablo fiyatlarının çok altındadır. Hafifliği, doğada bol miktarda bulunması gibi birçok avantajı sayesinde havai hat iletkenlerinde alüminyum kullanımı tercih edilmektedir.(Anonim, 2012)

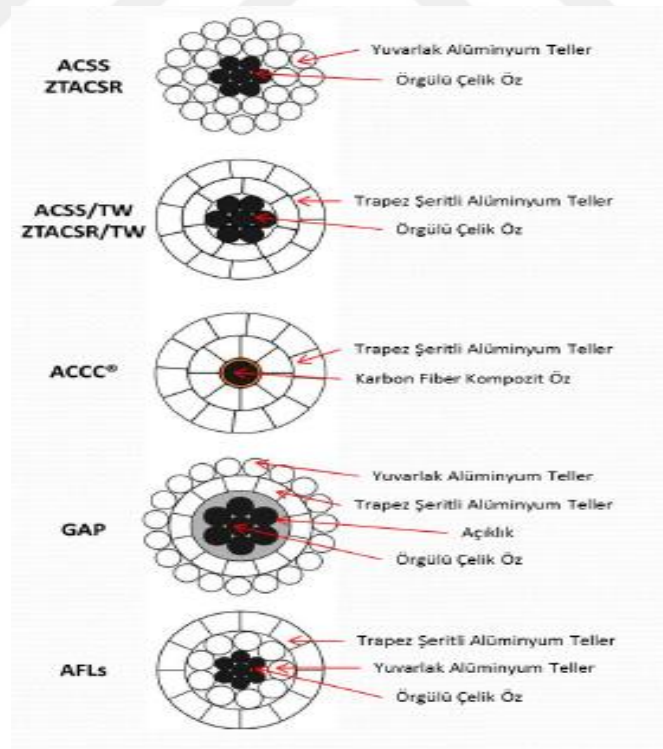
1.2.Alüminyum Havai Hat İletkenleri

Yüksek gerilim hava hatlarında kullanılan iletkenlerin hem enerji taşınması hem de mekanik yönden uygun olarak seçilmesi gerekir. İletkenlerin gerekli esnekliği

sağlamak, askı ve gergi noktalarında oluşan titreşimler sebebiyle kopmasını önlemek amacıyla spiral şekilde örgülü olarak yapılır. (Üstünel ve ark. , 2011)

Spiral şeklinde örgülü yapılmış iletkenlerde her bir damarın yüzeyinde meydana gelen kir ve oksit tabakaları sebebiyle akım, damardan damara değil de spiral örgünün içinde akar. Bu bakımdan örgülü iletkenlerin direnç ve endüktansları, dolayısıyla endüktifreaktansları aynı kesit ve cinsteki örgülü olmayan iletkenlere göre daha büyüktür. Endüktans artışını azaltmak için katlardaki damarlar birbirlerini izleyen katlarda ters yönde konsantrik olarak yapılır. (Üstünel ve ark. , 2011)

Seçilecek iletkenin tipi tespit edilirken elektrik enerjisinin taşınmasında elektriksel etkilerin olduğu gibi mekanik yapısı da dikkate alınmalıdır. Mekanik yapı izolatörlere ve direklere etki edeceğinden elektriksel değerlerle birlikte göz önünde bulundurulmalıdır. İletken seçiminde en çok enerji kaybı, optimal maliyet, gerilim düşümü, ısınma durumu ve korona kaybı dikkate alınmalıdır. Ayrıca iletim hatlarının geçtiği güzergâhlarda buz yükleri de dikkate alınmak zorundadır. (Üstünel ve ark. , 2011)



Şekil 1.1. Alüminyum İletken Çeşitleri

Bazı iletken çeşitleri şekil 1.1’de verilmiştir. Fakat günümüzde en çok tercih edilen alüminyum örgülü havai hat çeşitleri tam alüminyumlu iletkenler (AAC), tam alüminyum alaşımlı iletkenler (AAAC) , çelik özlü alüminyum iletkenlerdir (ACSR). Yurt dışında üretimi ve kullanımı başlayan, ülkemizde üretimi henüz yapılmaya başlayacak olan kompozit özlü alüminyum iletkenlerde avantajlarından dolayı tercih edilen iletken çeşitlerindedir.

1.2.1. Tam Alüminyum İletkenler (All Aluminium Conductors)

AAC olarak tanımlanan bu tip sadece alüminyum tel ihtiva eder. Bu iletkenler yuvarlak şekilli alüminyum tellerin standart ve teknik şartnamelere göre belirlenen konstrüksiyonla birbiri üzerine örülmesiyle oluşturulur.



Şekil 1.2. AAC İletken

1.2.2. Tam Alüminyum Alaşımlı İletkenler (All Aluminium Alloy Conductors)

AAAC olarak tanımlanan bu tip içeriğinde uygun oranlarda alaşım elementleri içerir. Yuvarlak şekilli alaşım tellerin standartta belirlenen konstrüksiyonla birbiri üzerine örülmesiyle oluşturulan iletken yüksek mekanik ve korozyon direncine sahiptir.



Şekil 1.3. AAAC İletken

1.2.3. Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (Aluminium Conductor Steel Reinforced)

ACSR olarak tanımlanan bu tip % 6-40 oranında değişen tek tel ya da örgülü çelik özler üzerine sarılan alüminyum tellerden meydana gelir. Çeliğin ana görevi hatta binen yükü taşımaktır. Yüksek gerilim hatları için tercih edilen bir iletkenidir.



Şekil 1.4. ACSR İletken

1.2.4. Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler (Aluminium Conductor Composite Core)

ACCC olarak tanımlanan bu tip merkezinde kompozit öz üzerine sarılan trapez şeklindeki alüminyum tellerden meydana gelir. Henüz çok yeni olan yurt dışında uygulamaları bulunan bu iletken ihtiva ettiği kompozit öz sayesinde diğer geleneksel iletkenlere göre çok daha yüksek mukavemet ve düşük sehim performansı göstermektedir.



Şekil 1.5. ACCC İletken

1.3.İletken Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Kriterler

Elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine iletimi ve dağıtımını iletkenlerle yapılır. Kullanılan iletkenler iletken özelliği yüksek olan örgülü bakır, alüminyum, çelik örgülü alüminyum gibi metallere imal edilir. Enerji nakil hatlarında ve dağıtım hatlarında kullanılan iletkenlerin görevlerini iyi bir şekilde yerine getirebilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir. Eğer iletkenlerin sahip oldukları kriterler önceden bilinirse gerilimin büyüklüğüne ve hattın özelliğine göre iletkenlerin seçilmesi daha iyi olur (Üstünel ve ark.,2011). Bu duruma göre iletkenlerin seçilmesinde dikkat edilmesi gereken kriterler şunlardır:

1.3.1. İletkenlik

Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında en çok bakır ve alüminyumdan yapılan iletkenler kullanılır. İletkenlik veya geçirgenlik, kullanılan metalin cinsine göre değişir. Gümüş çok iyi iletken olmasına rağmen pahalı olması sebebi ile tercih edilmez. Bakır iletken de alüminyum iletkene göre daha iyi iletken olmasına rağmen ağır ve pahalı olduğundan dolayı seçilmez. Galvanizlenmiş çelik tel ile tam alüminyum veya alüminyum alaşımı olan iletkenler hava hatlarında çok kullanılır. İki ayrı metalden yapılan iletkenin kullanışlı olmasının nedeni çelik tel ile alüminyum tel arasında hiçbir kimyevi bağıntının olmaması ile sağlanır. Çelik tel sadece dayanım bakımından önemlidir. Esas iletkenlik görevini alüminyum tel yerine getirir (Üstünel ve ark. , 2011).

1.3.2. Korona'ya Karşı Dayanıklılık

Hava hatlarında uygulanan gerilime bağlı olarak özellikle nemli havalarda iletkenin etrafında mor renkli bir ışık demeti görülür. Eğer iletkenin etrafında bir zedelenme varsa ve iletkenin etrafındaki bu ışıklı silindirler birbirine temas edecek olursa iletken yüzeyinde delinmeler olur. Dolayısıyla bu durum iletken yüzeyinin iyonize olarak aşınmasına sebep olur.Hava hatlarında kullanılan iletkenlerin korona olayının bu olumsuz etkisine karşı dayanıklı ve yüzeyinin düzgün olmasına dikkat edilmelidir (Üstünel ve ark. , 2011).

1.3.3. ap

Yüksek gerilimli hava hatlarında örgülü alüminyum veya elik örgülü alüminyum iletkenler kullanılır. Alüminyum iletkenler bakır iletkenlere göre daha az iletken olduğundan çapları daha fazla olur. İletken apı üzerinde buz ve rüzgâr yükü etkili olduğundan, iletkenlerin seçilmesinde bu durum göz önüne alınmalıdır (Üstünel ve ark. , 2011).

1.3.4. Özgöl Ağırlık

Hava hatlarında kullanılan iletkenlerin özgöl ağırlıkları az olursa durdurucu direğe gelen çekme kuvveti de az olur. İletkenlerin mekanik olarak zorlanmasına özgöl ağırlığının etkisi büyüktür. Bu sebeple hava hatlarında kullanılan iletkenlerin özgöl ağırlığının küçük olması gerekir. Özgöl ağırlığının küçük olmasıyla direk ve hava hattı donanım malzemelerinde ekonomi sağlanır (Üstünel ve ark. , 2011).

1.3.5. Sehim (Fleş)

Yüksek gerilim enerji nakil hatlarında direkler arasına çekilen bir enerji nakil iletkeni kendi ağırlığı nedeni ile sarkar. Gerilmiş olan iletken uçlarının bağlı olduğu iki izolâtör arasındaki var sayılan doğru çizgi ile iletkenin en çok sarktığı yer arasındaki uzaklığa sehim(fleş) denir. Hava hattı iletkenleri durdurucu direkler arasına iletkenin çekme ve gerilme kuvveti, ağırlığı, rüzgar yükü, buz yükü, iklim şartları ve direkler arası uzaklık dikkate alınarak çekilir. Sehim hava hattı direklerinin geçeceği yerin arazi şekli ve iklim koşullarına göre ayrılmış, bölgelerin durumlarına göre hazırlanmış olan cetvellerden veya formüllerden hesap edilir(Üstünel ve ark. , 2011).

İletkenin iki tarafında bulunan direkler aynı yükseklikte ise teldeki en büyük fleş, direkler arası uzaklığın tam ortasındadır. Farklı yükseklikteki direkler arasına gerili iletkenin en büyük fleşi ise daha düşük seviyede bulunan direğe yakındır (Üstünel ve ark. , 2011).

1.3.6. Mekanik Dayanıklılık

Enerji nakil hatlarında kullanılan iletkenlerin mekanik dayanımlarının önceden bilinmesi önemlidir. Hava hatlarında kullanılan iletkenler dış tesirlerin etkisinde kalırlar. Rüzgâr, buz, kar, sıcak ve soğuk havanın etkisinde bulunan iletkenler tüm bu

olumsuz şartlara dayanıklı olmalıdır. İletkenlerin mekanik olarak dayanıklılığı örgülü alüminyum tellerin iç kısmında ve orta yerde bulunan galvanizli çelik tellerle sağlanır. Eğer iletkenin mekanik dayanımı az olursa dış tesirlerin etkisiyle kopabilir. Kopan iletken başka bir hat üzerine düşebilir. Bütün bu durumların önlenmesi için mekanik kopma dayanıklılığının yüksek olması gereklidir (Üstünel ve ark. , 2011).

1.3.7. Isıya Karşı Dayanıklılık

Yüksek gerilim hava hatlarında örgülü çelik alüminyum iletkenler çok kullanılır. Üzerinden akım geçen bir iletken ısınır. İletken yaz aylarında havanın sıcaklığı dolayısıyla da ısınır. İletkenin bu ısı artışı sonucu boyu uzar ve sarkma olur. Havanın sıcaklığından dolayı ısı artışı neticesi iletkendeki sarkma sehimi hesaplarında dikkate alınmalıdır. Alüminyum iletkenler havadaki hafif bir rüzgârla bile soğuyabilir. Ancak rüzgâr olmadığı ve hava sıcaklığı fazla olduğu zaman iletkendeki uzama çok fazla olur. Bu sebeple alüminyum iletkenin sıcaklıkla orantılı olarak uzama katsayısının önceden bilinmesinde fayda vardır (Üstünel ve ark. , 2011).

1.4.Amaç

Yüksek gerilim enerji nakil hatlarında kullanılacak iletken seçimi önemlidir.İletken seçiminde kayıpların minimum olması amaçlanır.İletken seçimini etkileyen temel parametreler; iletkenlik, korozyon dayanımı, çap, özgül ağırlık, sehimi, mekanik dayanıklılık, ısıya karşı dayanıklılıktır.

Ülkemizde yüksek gerilim nakil hatlarında genellikle çelik özlü üzerine yerleştirilen alüminyum tellerden meydana gelen ACSR (çelik özlü alüminyum iletken) kullanılmaktadır.Bu iletkenlerde akım taşıma kapasitesini arttırmak için ebatlar arttırılır. Çeliğin özgül ağırlığı alüminyumdan çok daha fazla olduğundan dolayı artan bu ağırlıkta çeliğinde önemli bir payı vardır ancak taşıma görevini gördüğü için bu özellikten ödün vermek oldukça zordur.Bir diğer önemli problem ise yüksek sıcaklıklarda sarkmaya neden olan ve hattın ömrünü kısaltan sehimi olayıdır.

Hızla gelişen teknolojiyle beraber geleneksel iletkenlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için yeni arayışlar başlamıştır. Bu arayışların sonucunda iletken seçimini etkileyen temel parametrelerin geleneksel iletkenlerden çok daha verimli olduğu ACCC (kompozit özlü alüminyum iletken) üretimi ve kullanımı

gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde henüz üretimi başlayan fakat kullanımı bulunmayan, dünyada 100'den fazla elektrik idaresi tarafından kullanılan, 257'den fazla projede, 25.000 Km'nin üzerinde uygulamaları bulunan ACCC İletkenler tercih edilmeye başlamıştır (CTC Global,2011).

ACCC iletkenlerde geleneksel ACSR iletkenlerde kullanılan çelik öz yerine daha yüksek mukavemetli ve çok daha hafif hibrit karbon kompozit öz kullanılmaktadır. ACCC iletken içerdiği kompozit öz sayesinde geleneksel çelik özlü iletkenlere göre %70 daha hafif ,%40 daha mukavemetli10 kat daha az termal uzama katsayısına sahiptir(Şekil 1.6).

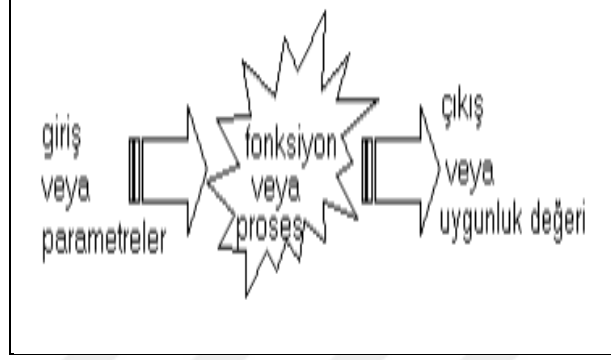
Nitelikler	Çelik Öz	Kompozit Öz	Faydaları
Ağırlık	7.750 kg/m ³	1.900 kg/m ³	Daha hafif → daha düşük sehim → daha az/kısa direkler = düşük maliyet ve kısa kurulum süresi
Termal Genleşme Katsayısı	11,5 x 10 ⁻⁶ /°C	1,61 x 10 ⁻⁶ /°C	Düşük termal uzama → yüksek çalışma sıcaklığı = daha yüksek akım taşıma kapasitesi
Çekme Mukavemeti	1.517 N/mm ²	2.158 N/mm ²	Mukavemetli kompozit öz = daha uzun menzillerde ve ağır buz veya rüzgar yükünü sehim limitini aşmadan çalışabilmesi Mukavemetli kompozit öz → daha fazla alüminyum kullanımı → daha düşük direnç = düşük kayıp oranları & daha yüksek akım taşıma kapasitesi
Elastisite Modülü	200.000 N/mm ²	112.300 N/mm ²	Esnek yapı = düşük elastik deformasyon
Korozyon Dayanımı	İşlem gerekli (gres yağı)	Üstün	Fiberglas kaplı kompozit öz korozyona dayanıklı olduğu için korozif bölgeler için oldukça uygundur

Şekil 1.6.Çelik öz ve kompozit özün karşılaştırılması

ACCC iletken hibrit karbon kompozit özün çevresinde 1350–O tipi daha yüksek iletkenliğe sahip (minimum 63% IACS) trapez şeritli alüminyum tellerin örülmesiyle oluşturulur. Geleneksel iletkenlerde istenen minimum değer 61%IACS'dir. İletkenliğin yükseltilmesi için alüminyum tellere ısıl işlem uygulanmalıdır. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi tellerin mekanik özelliklerini etkilemektedir. İstenilen mekanik özellikler için uygun sıcaklık ve sürede alüminyum tellere ısıl işlem uygulanmalıdır. Isıl işlem

uygulamalarıyla elde edilen veriler değerlendirilerek, deneme üretimlerini azaltmak ve kısa sürede optimum verilere ulaşabilmek için optimizasyon yöntemi kullanılacaktır.

Optimizasyon, belirli koşullar altında herhangi bir şeyi en iyi yapma olarak tanımlanabilir. Optimizasyonun temel aşamaları şekil 1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Optimizasyonun ana aşamaları

Optimizasyonlar, yapay sinir ağları ile yapılacaktır. Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilmeyetisini taklit eden bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağları; insan beyninden esinlenerek, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, çalışmalar beyni oluşturan biyolojik üniteler olan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamış, daha sonraları bilgisayar sistemlerinin gelişimine de paralel olarak gelişmiştir.

Isıl işlem uygulanan alüminyum tellerin sonucunda elde edilen verilerden faydalanılarak yapay sinir ağları ile optimizasyon yapılacaktır.

Trapez şeklindeki alüminyum daha düzenli bir biçimde hibrit karbon kompozit özün etrafına örülerek teller arası boşluklar minimum seviyeye getirildiğinden dolayı ACCC tipindeki iletkenler ACSR tipindeki iletkene kıyasla aynı çapta daha fazla alüminyum kullanımını mümkün kılmaktadır.

ACCC iletken tellerin trapez şekli sayesinde daha düzenli yapısından dolayı geleneksel iletkenlerdeki dairesel şekilli alüminyum teller gibi mekanik olarak ayrı ayrı çalışmazlar ve böylelikle alüminyum teller arasındaki mekanik aşınma minimuma indirgenmiş olur. ACCC iletkenlerin farklı tipte iletkenlerle karşılaştırılması şekil 1.8’de gösterilmiştir.

İletken Özellikleri		İletken Tel			Öz		
İletken Cinsi	Alüminyum Tipi	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	İletkenlik (%IACS)	Tip	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Termal Genleşme Katsayısı (x 10 ⁻⁶ /°C)	
ACCC [®]	Kompozit Özlü Alüminyum İletken	1350-O	~59	63,0	karbon kompozit	2137 – 2482	1,6
ACIR	Nikel-Çelik Destekli Alüminyum İletken	Al-Zr alaşımı	159 – 179	60,0	nikel-çelik	1034-1069	3,7
ACCR	Kompozit Destekli Alüminyum İletken (3M™)	Al-Zr alaşımı	159 – 179	60,0	metal matris	1310	6,0
ACSR	Çelik Özlü Alüminyum İletken	1350-H19	165 – 193	61,2	kaplanmış çelik	1379 – 1517	11,5
AACSR	Çelik Özlü Alüminyum Alaşımli İletken	6201-T81	317 – 331	52,5	kaplanmış çelik	1379 – 1517	11,5
ACSS	Çelik Öz Takviyeli Alüminyum İletken	1350-O	~59	63,0	kaplanmış çelik	1517 – 1965	11,5
AAC	Tam Alüminyum İletken	1350-H19	165 – 193	61,2	1350-H19	165 – 193	23,0
AAAC	Tam Alüminyum Alaşımli İletken	6201-T81	317 – 331	52,5	6201-T81	317 – 331	23,0
ACAR	Alüminyum Alaşım Destekli Alüminyum İletken	1350-H19	165 – 193	61,2	6201-T81	317 – 331	23,0

Şekil 1.8. İletkenlerin karşılaştırılması

ACCC iletkenlerin sahip olduğu düşük sehim ve sağlamlığı sayesinde; taşıma kapasitesi artar, kayıplar ve maliyet azalır, daha az kısa devre arızaları ve yüksek güvenilirlik sağlanır, daha fazla direkler arası açıklık mesafesi ve hafif direk kullanımını sağlar. Ağırlığı değişmeden daha fazla alüminyum kullanımı sayesinde; hat yüküne göre değişebilen oranlarla birlikte %25-%40 daha az enerji kayıpları, daha az yakıt tüketimi ve daha az emisyon salınımını sağlar.

Elektrik enerjisi taleplerinin büyümesiyle birlikte iletim hatlarının kapasitesinin ve etkinliğinin artırılması giderek önem kazanmaktadır. ACCC iletkeninin üretilmesinin temel nedeni geleneksel iletkenlerin dezavantajları göz önünde bulundurularak, artan enerji taleplerini karşılamaktır. ACCC iletkeninin avantajları yapılan testlerle desteklenerek anlatılacaktır. İletkenlik değeri yükseltirken uygulanan ısıl işlemler, ısıl işlem verileri kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla optimizasyon yapılması ve geleneksel iletkenlerde standartlarda belirtilmeyen fakat ACCC iletken için standartlarda minimum değeri belirtilen alüminyumun uzama değerlerinin tutturulması anlatılacaktır. Ülkemizde ilk defa üretilecek olan bu iletkenin üretim prosesi ve standartlarda belirtilen değerlerin tutturulması sırasında yapılan testler, uygulanan yöntemler anlatılacaktır.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1.ACCC İletkenlerin Avantajları

ACCC iletkenler, geleneksel ACSR iletkenler ile karşılaştırılmış ve dezavantajlarını ortadan kaldırmak için birkaç temel performansı iyileştirilerek geliştirilmiştir. Tasarımın ana hedefi, geleneksel iletkenlerde bulunan örgülü çelik özün yerine daha güçlü bir öz kullanarak, yüksek sıcaklıklarda sarkmayı azaltmak ve akım taşıma kapasitesini artırmaktır. Bu hedefi karşılamak için, ACSR de kullanılan örgülü çelik öz yerine karbon kompozit öz kullanılmıştır. Kompozit öz, örgülü çelik öze göre çok daha düşük yoğunluk ve termal genleşme katsayısı gibi birçok avantaj sağlar. Kompozit öz geleneksel ACSR iletkenlerdeki öz gibi örgülü çelik tellerden değil, tek bir damardan meydana gelir. Bu durum, merkezin daha küçük çapta daha büyük kesit alanına sahip olmasını sağlar. Kesit alanı artmış olan kompozit öz, çelik öze göre daha büyük yüklenmelere izin verir (Alawar ve ark. , 2005).

ACCC iletkenler trapez şeklindeki tavllanmış alüminyum tellerden üretilir. ACSR Drake iletken ile aynı çapta tasarlanan, alt katmanda 8 ve üst katmanında 14 adet birbirine ters yönlere örülmüş trapez şeklindeki alüminyum tellerden meydana gelen ACCC iletkenin ebatları çizelge 2.1’de karşılaştırılmıştır. İletken dış çapları 28,15 mm iken alüminyum kesit alanları ACSR Drake iletken için 403 mm², ACCC iletken için 516,8 mm²’dir. ACCC iletken aynı çapta ACSR Drake iletkene göre yaklaşık %28 daha fazla alüminyum ihtiva etmektedir (Alawar ve ark. , 2005). Bu durum ACCC iletkenin, ACSR Drake iletkenine göre akım taşıma kapasitesini artırır.

İletken Tipi	Dış Çap (mm)	Korun Çapı (mm)	İletken Kesit alanı (mm ²)	Korun Kesit Alanı (mm ²)
ACSR Drake	28,15	10,36	468,6	65,6
ACCC / TW	28,15	9,53	588,1	71,3

Çizelge2.1. ACSR Drake iletkeni ile aynı çapa sahip ACCC iletkenin boyutlarının karşılaştırılması (Alawar ve ark. , 2005)

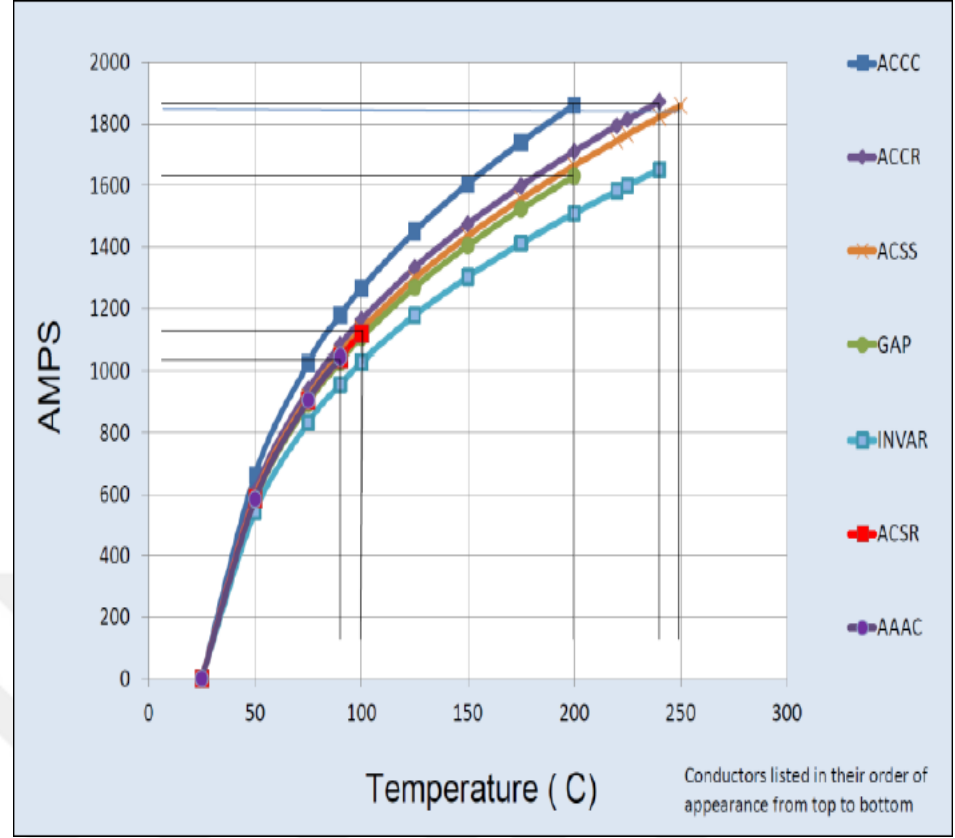
ACCC iletken yüksek akım taşıma kapasitesine sahip ve yüksek hat sıcaklıklarına çıkabilen bir iletkenidir. Geleneksel iletkenlerden olan ACSR’nin çalışma

sıcaklığı 60° ile 80°C arasındayken ACCC iletkenlerin nominal çalışma sıcaklıkları 180° ile 200°C arasında değişmektedir.

İletkenlerin çalışma sıcaklıklarının üzerine çıkması iletkenin ısınmasına ve kayıpların artmasına neden olmaktadır. Elektrik iletimi sırasında olanları kısaca şu şekilde özetleyebiliriz. İletken bir maddenin iki ucu arasında bir potansiyel farkı uygulandığı zaman malzemenin içinde bir elektrik alan oluşur ve elektronların üzerine bir kuvvet etki eder. Kuvvetin büyüklüğü, elektrik alanının büyüklüğü ile doğru orantılıdır, ancak yönü elektrik alanının yönünün tersidir. İdeal olarak elektronların, malzeme içinde hiçbir engelle karşılaşmadan hareket etmesi istenir. Fakat malzemenin içindeki atomlar genellikle buna engel olur. Elektrik akımını oluşturan elektronlar hareketleri sırasında malzemeye bağlı durumda bulunan elektronlarla karşılaştıkları zaman çeşitli yönlere hatta tamamen geriye doğru saçılır. Bu sırada, akımı taşıyan elektronların enerjisinin bir kısmı iletken malzemeyi oluşturan atomlara aktarılır ve malzeme ısınır. Malzemeye aktarılan enerji ne kadar fazla olursa, akım o kadar yavaş akar. Dolayısıyla iletken malzemenin direnci de o ölçüde artar. Katı bir maddeyi oluşturan atomlar, bir gazın içindeki atomlar gibi ötelenme hareketi yapamazlar da sürekli titreşirler. Hatta kuantum mekaniğine göre bu titreşim hareketi mutlak sıfır sıcaklığında bile durmaz. Ancak atomların enerjisi ne kadar fazlaysa titreşim hareketlerinin genliği de o kadar fazladır. Dolayısıyla ortalama kinetik enerjinin bir ölçüsü olan sıcaklık arttıkça, atomların titreşim hareketinin genliği de artar. Böylece akımı taşıyan elektronların iletken malzemedeki atomlarla çarpışma sıklığı ve bu çarpışmalar sonucunda ısıya dönüşen enerji miktarı artar. Sonuç olarak sıcaklık arttıkça malzemelerin direnci artar (Ocak, 2016). Sıcaklık artışı hat kayıplarının artmasına neden olur.

ACCC iletkenlerde 1350–O tipi daha yüksek iletkenliğe sahip (63% IACS) alüminyum kullanılmasıyla artırılan iletkenlik ve iletken ağırlığında artış meydana gelmeden aynı çapta daha fazla alüminyum kullanımını mümkün kılması, ACCC iletkenlerin diğer iletkenlere kıyasla daha verimli çalışmasını sağlar (CTC Global, 2011).

Tavsiye edilen termal sınırlar içerisinde çalıştırılan değişik iletken tiplerinin akım taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması şekil 2.1 de gösterilmiştir. ACCC iletkenin 200 °C'deki acil durum sıcaklığında taşıdığı akımın, 250 °C acil durum sıcaklığında çalışan diğer iletkenlerden daha fazla olduğu görülmüştür (CTC Global, 2011).



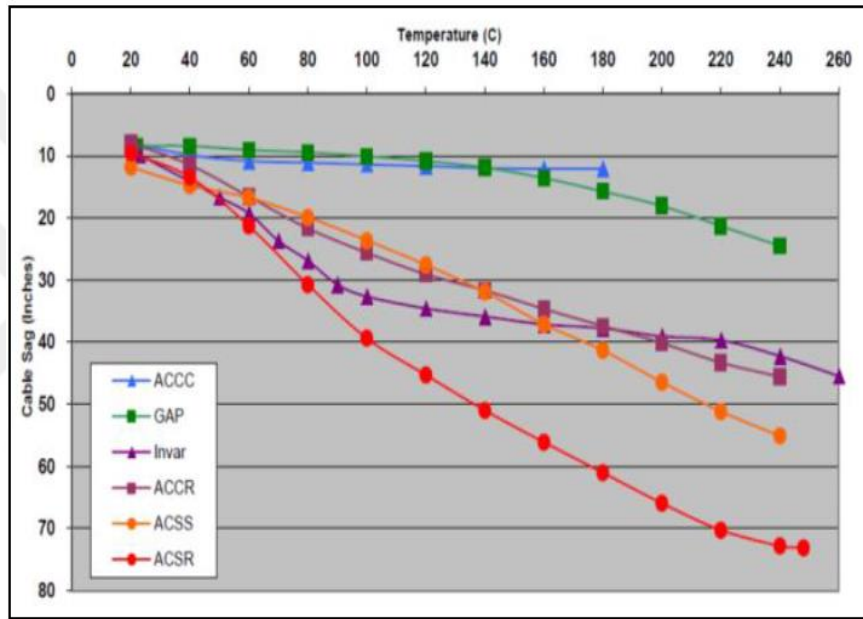
Şekil 2.1. Tavsiye edilen termal sınırlar içerisinde çalıştırılan değişik iletken tiplerinin akım taşıma kapasiteleri (CTC Global, 2011)

ACCC iletkenler yüksek yük taşıma koşullarında, diğer iletkenlere kıyasla daha az ısınmasından dolayı azalan enerji kayıpları sayesinde, enerji üretim gereksiniminin azalmasını sağlar. Enerji üretim gereksiniminin azalması, yaşam maliyetlerinin ve enerji üretmek için kullanılan yakıt tüketiminin azalması sayesinde emisyon salınımının azalmasına katkıda bulunur. ACCC iletkenler avantajlarından dolayı, dünya çapında 24.000 km den fazla 275'in üzerinde projede kullanılmıştır. (CTC Global, 2011)

ACCC iletken kompozit özün çevresinde tavllanmış 1350-O tipi trapez şeklindeki alüminyum tellerin örülmesiyle oluşturulur. ACCC iletkenin kompozit özü, merkezinde karbon fiber ve etrafında onu çevreleyen fiberglas malzemeden oluşmuştur. Kompozit özün karbon fiber kısmı epoksi reçine matrisi içerisinde karbon elyaf takviye malzemesi, fiberglas kısmıysa epoksi reçine matrisi içerisinde cam elyaf takviye malzemesi eklenmesiyle oluşturulmuştur. Karbon fiberin üzerinin fiberglas malzemeyle çevrilmesinin nedeni alüminyumla karbon fiber arasındaki korozyonu engellemektir.

Kompozit öz yüksek mukavemet ve düşük termal genişleme katsayısına sahiptir (CTC Global, 2011).

HydroOne tarafından 1600 Amper, 65 metre açıklık varsayımları alınarak kapalı bir düzenekte gerçekleştirilen testler sonucu farklı tipteki iletkenlerin sehim performansları şekil 2.2’de verilmiştir (Goel,2005). Şekil 2.2 deki veriler incelendiğinde nominal çalışma sıcaklığındaki en iyi sehim performansının ACCC iletken tarafından sergilendiği görülmüştür.



Şekil 2.2. HydroOne tarafından yapılan testlerde farklı iletken tipleri için sıcaklık sehim karşılaştırmaları verilmiştir (CTC Global, 2011)

2.2.ACCC İletkenler İçin Yapılan Mekanik Testler

ACCC iletkenler için uluslararası akredite laboratuvarlarda mekanik performansını gösteren yorulma testi, bükülme testi, termal oksidasyon testi ve burulma testleri yapılmıştır. İletkenin mekanik performansının değerlendirileceği testler sonucunda ACCC iletkenin avantajları görülmektedir.

➤ Yorulma Testi;

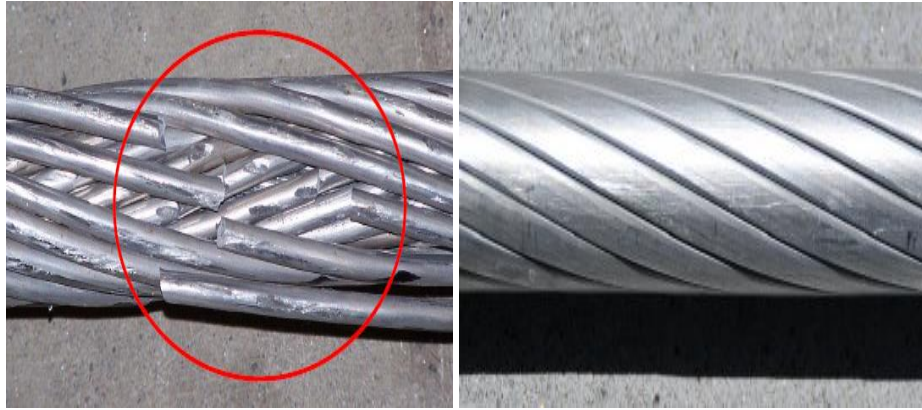
Yorulma, tekrarlanan gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda parçanın statik dayanımından küçük gerilmeler uygulanmasına rağmen, belirli bir tekrarlanma

sayısı sonunda yüzeyde bir çatlama meydana getiren ve malzemenin kopmasıyla sonuçlanan olaydır. Malzeme dereceli olarak arttırılan yükler altında denenebilir belirli bir sınırdaki gerilime geldiğinde kopmaktadır. Bu şekilde denenecek bulunan değere malzemenin statik dayanımı denir.

Yorulma konusundaki ilk testler 1850–1860 yılları arasında August Wöhler tarafından yapılmıştır. Yorulma olayı malzemenin mekanik dayanımı hakkında bilgi veren, gelişen teknolojiyle beraber önem kazanan bir olaydır.

Başlangıçta hiçbir bozukluk içermeyen metalde yorulma testiyle elastik sınırlar içerisinde malzemede değişimler meydana gelir. Malzemeye uygulanan tekrarlı zorlamaların etkisiyle oluşan tersinir olmayan plastik şekil değiştirmesi sonucu malzeme pekleşir, gevrekliği artar ve ani yorulma kırılması meydana gelir. (Anonim, 2014)

American Electric Power (AEP) tarafından yapılan test ACCC iletkenin titreşime ve döngüsel yük yorulmasına karşı üstün direncini kanıtlar niteliktedir. ACCC ve ACSR iletkenlerine uygulanan kasnak testiyle, 100 milyon titreşim, 100 bin kamçılama ve gerilme testi sonucunda iletkenlerin son durumları Şekil 2.3’de verilmiştir. Yorulma hatası veren alüminyum teller Şekil 2.3(a)’da kırmızıyla gösterilmiştir. ACCC iletkeninde alüminyum tellerde yorulma hatası gözlemlenmemiştir (Şekil 2.3 (b)). (CTC Global, 2011)



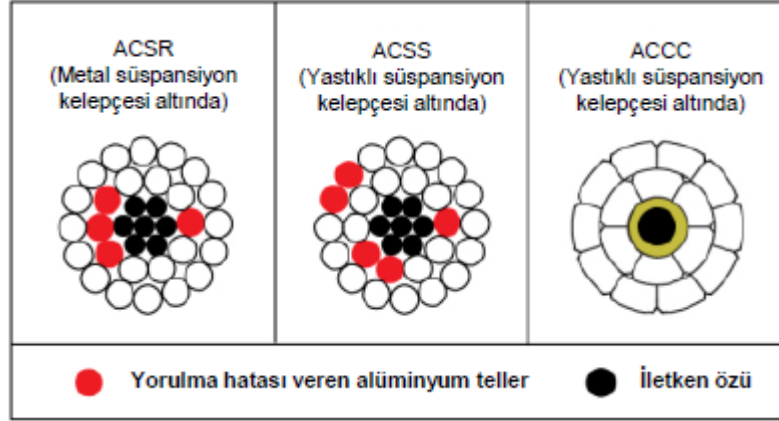
(a)

(b)

Şekil 2.3. 100 bin kamçılama ve gerilme testinin ardından iletkenlerin son durumları (CTC Global, 2011)

a) ACSR İletken

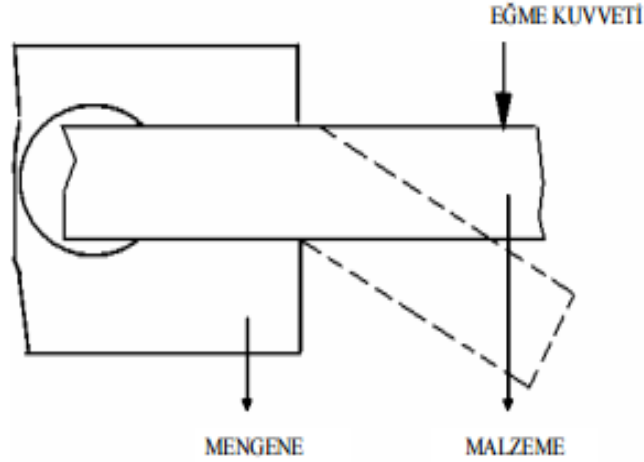
b) ACCC İletken



Şekil 2.4.Kasnak testi, 100 milyon titreşim, 100 bin kamçılama ve gerilme testinin ardından yorulma hatası veren alüminyum teller (CTC Global, 2011)

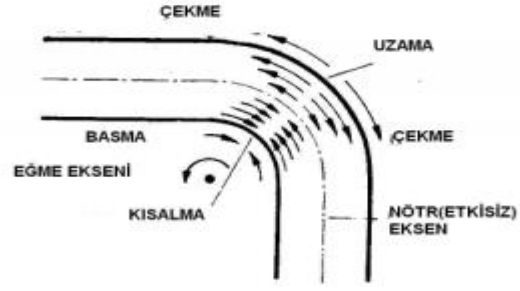
➤ Bükülme Testi;

Metal parçaların kalıcı biçim değişimine (plastik şekil değişimine) uğrayacak şekilde, eğme kuvvetleri altında, şekil değiştirmesine bükme denir. Şekil 2.5’de, eğme kuvveti uygulanarak bükme işleminin yapılması gösterilmektedir.(Serfiçeli, 2002)

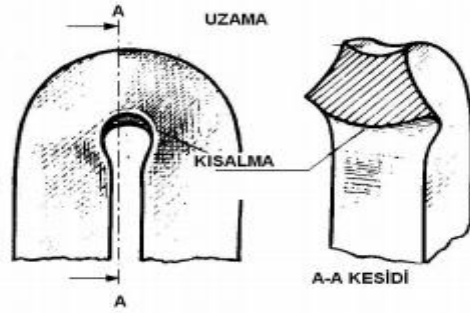


Şekil 2.5. Bükme işlemi (Serfiçeli, 2002)

Bükme esnasında iş parçasının dış yüzeyi çekme kuvvetleri etkisiyle uzar. İç yüzey basma kuvvetleri etkisi ile kısalır (Şekil 2.6). İkisinin arasında bulunan bir merkez eksen ise sabit kalır, uzama ya da kısalma meydana gelmez. Bu uzama veya kısalmanın olmadığı eksen, nötr eksen adını alır. Şekil 2.7’de ise çekme ve basma bölgesindeki değişim görülmektedir.(Serfiçeli,2002)



Şekil 2.6. Bükme esnasında eksenler (Serfiçeli, 2002)

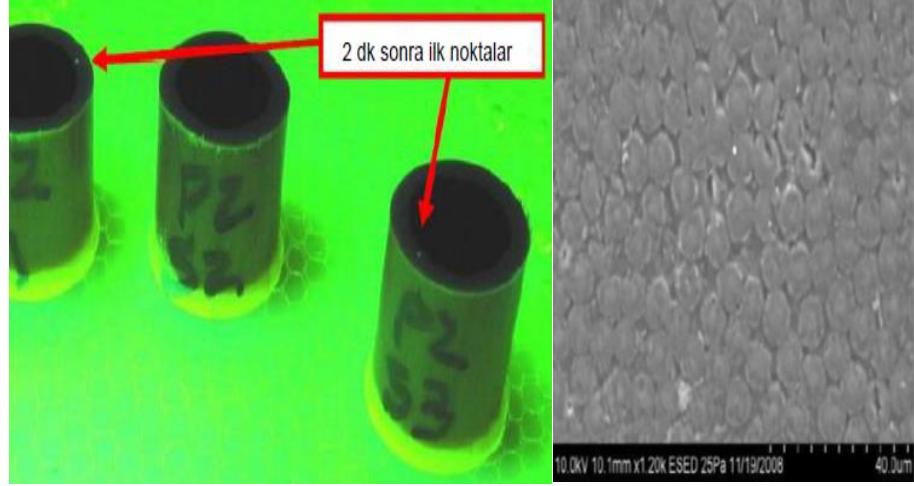


Şekil 2.7. Bükme sonucu malzemede meydana gelen değişimler (Serfiçeli, 2002)

ACCC iletkeni şekil 2.8’de görüldüğü gibi 6 inç çapında, 90 derece açıyla 10 kez bükülmüştür. Özde hiçbir görsel hasar tespit edilmemiştir. Karbon özün dışındaki fiberglas malzemede 2. dakikanın sonunda şekil 2.9’da görüldüğü gibi ancak penetrant boyası yardımıyla görülebilecek bozulmalar olduğu tespit edilmiştir. (CTC Global, 2011)



Şekil 2.8. İletken 6 inç çapında, 90 derece açıyla 10 kez bükülmüştür (CTC Global, 2011)



Şekil 2.9. İletken 6 inç çapında, 90 derece açıyla 10 kez büküldükten 2 dk sonra ilk noktalar (CTC Global, 2011)

➤ Termal Oksidasyon Testi;

Termal oksidasyon testi, malzemedeki antioksidan katkının, yüksek sıcaklık şartlarında oksijen ortamında malzemenin oksidasyona uğramasını önlediği süredir. Bu test, malzemenin uzun dönem dayanım şartlarında ne kadar iyi stabilizeoldüğünün ölçüsüdür. Şayet malzeme iyi stabil hale gelmezse, yüksek sıcaklık uygulamalarında bozulmaya başlayacak olup bunun sonucunda ömrü azalacaktır.

Kompozit öz numunesi şekil 2.10’da görülen fırınlarda bir yıl boyunca 220°C’de fırınlanmıştır. Oksidasyonun~60 mikron derinliği geçmediği görülmüştür (Şekil 2.11). (CTC Global, 2011)



Şekil 2.10. Kompozit öz numunesi bir yıl boyunca 220°C’de fırınlanmıştır (CTC Global, 2011)



Şekil 2.11. Kompozit öz numunesinin bir yıl boyunca 220°C’de fırınladığı, Oksidasyon ~60 mikron derinliği geçmediği görülmüştür (CTC Global, 2011)

➤ Burulma Testi;

Burulma deneyi, iki ucundan sıkıştırılmış numuneye, bir ucu sabit olmak şartıyla diğer ucundan burulma momenti uygulanarak yapılır.

Yapılan deneyde 54 turun sonunda kompozit özün en çok inceldiği yer kırmızı okla gösterilmiştir. Kompozit öz kırılmamıştır ve deney sonlandırılmıştır (Şekil 2.12)(CTC Global, 2011).Çelik öz için yapılan burulma testinde 4. tur sonunda açılmalar meydana gelmiştir(Şekil 2.13).



Şekil 2.12.Kompozit öze uygulanan burulma deneyi sonucu 54 tur sonunda kopma olmamıştır (CTC Global, 2011)



Şekil 2.13. Çelik öze uygulanan burulma deneyi sonucuçelik özün 4 tur sonraki görüntüsü (CTC Global, 2011)

2.3.Alüminyum Isıl İşlem Uygulamaları

Isıl işlem, katı haldeki metal ve alaşımlarına belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir.

2.3.1.Deformasyon

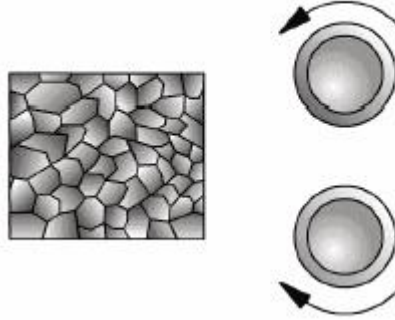
2.3.1.1.Elastik Deformasyon

Elastik şekil değiştirme, genel itibariyle malzemeye bir kuvvet uygulandığında atomları arasındaki bağ kopmadan sadece atomların birbirlerinden uzaklaşması anlamına gelir. Elastik deformasyonda malzemeye uygulanan kuvvet ortadan kalktığında malzeme kuvvet uygulanmadan önceki haline geri döner. (Savaşkan,2015)

2.3.1.2.Plastik Deformasyon

Malzemeye uygulanan kuvvete bağlı kalarak oluşan deformasyonun malzemenin elastiklik sınırını geçmesi sonucu ortaya çıkan kalıcı deformasyona plastik deformasyon denir. Plastik deformasyona uğrayan malzemeye uygulanan kuvvet ortadan kalktığında malzeme tekrar eski haline dönmez. Plastik şekil değiştirme özelliği, malzemelerin birbirleri arasında karşılaştırma yapılırken kullanılan kıstasların en başında gelmektedir. Birçok işlem malzemenin plastik şekil değiştirme özelliğine göre yapılmaktadır. Örneğin haddeleme, çekme, dövme, ekstrüzyon, bükme, çubuk veya tel çekme, gererek şekillendirme, sıvama gibi işlemler yapılırken en önemli kıstasların başında plastik şekil değiştirme gelir.(Savaşkan,2015)

Plastik deformasyon sonrası taneler çarpıtılmış ise o malzeme soğuk şekillendirilmiş demektir. Kafes yapısına göre bütün özellikler değişir. Çekme gerilmesi, akma gerilmesi sertlik artarken, süneklik, elektrik iletkenliği ve korozyon direnci azalır.(Savaşkan,2015)



Şekil 2.14. Soğuk şekillendirme (Savaşkan,2015)

Dislokasyon, kristal yapıların atomsal dizilişlerinde bir çizgi boyunca görülen kusurlardır. Denge konumundan ayrılan atomlar sonucunda çizgi çevresinde artık gerilimler meydana gelir ve şekil değiştirme enerjisi depo edilir. Dislokasyonlar genellikle malzemelerin katılma sürecinde oluşmakla birlikte, plastik şekil değiştirme sırasında sayıları artar. Öte yandan boş köşelerin yığılması ve katı eriyiklerde görülen atomsal uyumsuzluk da bu kusurların oluşmasına sebep olabilir. Kusurların varlığı 1907 yılında İtalyan fizikçi ve matematikçi Vito Volterra tarafından ortaya atılmıştır (Volterra, Vito ,1907). Fakat atomik boyuttaki kusurları tanımlayan dislokasyon terimi ilk kez G. I. Taylor tarafından 1934'te kullanıldı (G. I. Taylor ,1934).

Kafes yapısındaki çarpılma dislokasyon hareketini engellediği için mukavemet artar, süneklik azalır ve elektron hareketini zorlaştırdığı için elektrik iletkenliği düşer. Plastik şekil verme hem dislokasyonların hareketini sağlar, hem de yeni dislokasyonların oluşumuna sebep olur. Soğuk işlem sonrası mukavemetin artmasının sebebi deformasyon sertleşmesidir(Savaşkan,2015).

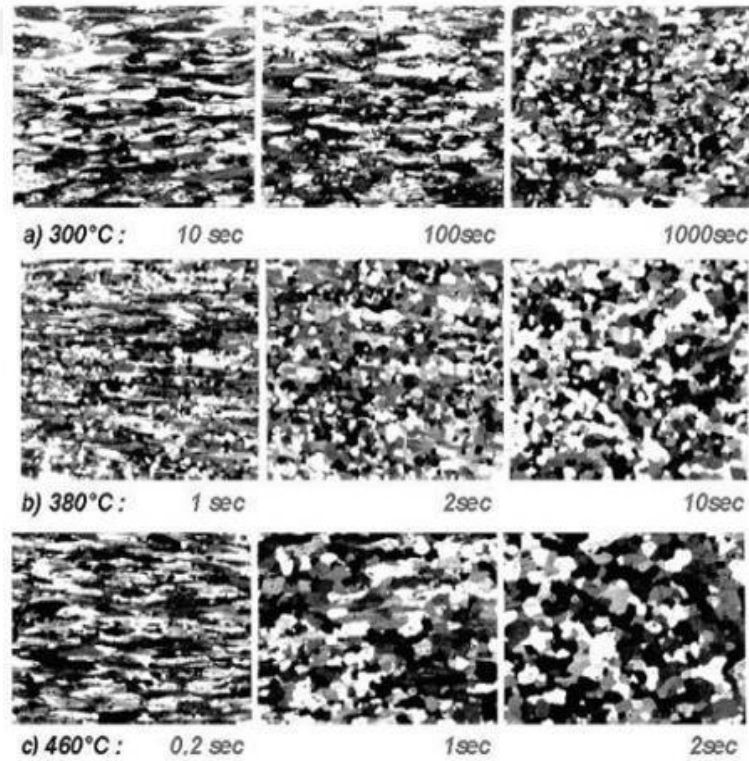
Plastik şekil değişimine uğrayan bir malzemenin sertliği genelde artar, deformasyon sertleşmesi hızı artan sıcaklıkla azalır. Yüksek sıcaklıkta plastik şekil değişimine uğrayan bir malzeme, aynı zamanda birbirine ters iki olay meydana gelir. Bunlardan biri plastik şekil değişimi nedeniyle meydana gelen sertleşme, diğeri de yeniden kristalleşme ile ortaya çıkan yumuşamadır. Belirli bir şekil değiştirme hızı için

sertleşme ve yumuşama etkilerinin birbirini engellediği bir sıcaklık vardır. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşen şekil değişimine sıcak şekil değiştirme, altındaki sıcaklıklarda meydana gelen deformasyonlara da soğuk şekil değiştirme denir(Savaşkan,2015).

2.3.2.Tavlama

Tavlama, metali yumuşatma amaçlı uygulanan ısı işlemlerin geneline verilen isimdir. Tavlama yapılarak malzemenin işlenebilirliği, sıcak ve soğuk şekillendirme kabiliyeti artırılır ve işleme, dövme veya kaynak sonrası oluşan iç gerilimler alınır.Tavlamayla mekanik özellikler iyileştirilir, süneklik artırılır, kimyasal homojensizlik kaldırılır.

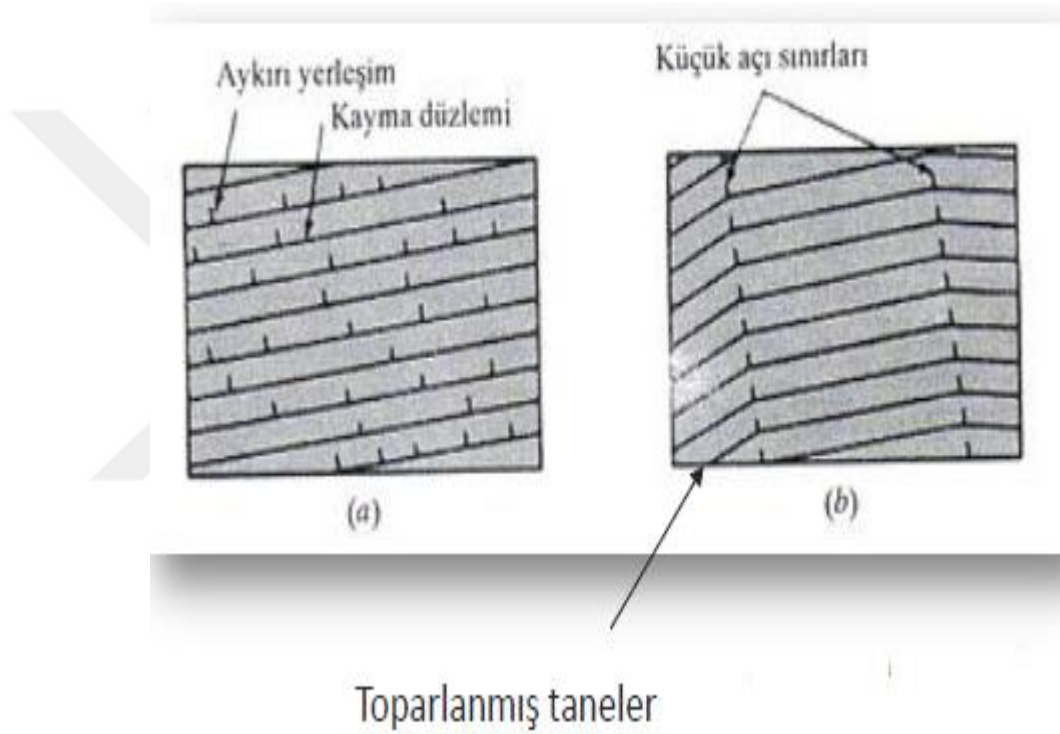
Soğuk işlem sonrası sarf edilen enerjinin büyük bir kısmı dislokasyon enerjisi şeklinde malzemenin içerisinde depo edilir. Bir kısım enerji ise ısı şeklinde kaybolur. Tavlama ile soğuk işlem ile kaybolan eski özellikler tekrar sağlanır. Bu olay; toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi şeklinde olur.(Savaşkan,2015)



Şekil 2.15.AlMg5Mn alaşımını sıcak deformasyon sonrası yeniden kristalleşmesi (Savaşkan,2015)

2.3.2.1. Toparlanma

Toparlanma, soğuk deforme edilen malzemelerde yeniden kristalleşme sıcaklığından daha düşük sıcaklıklardaki tavlama sırasında meydana gelir. Bu sebeple dislokasyonlar yeni bir düzene girer. Bu düzen dislokasyonların daha düşük enerjiye sahip oldukları yapıdır. Dislokasyonlar küçük açılı sınırlar meydana getirir. Böylece dislokasyonlar tarafından alt taneler oluşturulur. Toparlanma esnasında iç gerilmeler büyük ölçüde giderilir.(Savaşkan,2015)



Şekil 2.16. Toparlanmış tanelerin yapısı (Savaşkan,2015)

Soğuk deformasyon sırasında malzemede oluşan deformasyon sertleşmesi başlangıçta hızla azalır, fakat bu azalma zamanla düşer. Toparlanmada, dislokasyon sayısını azalmasından çok dislokasyonların yeniden düzenlenmesi vardır. Dislokasyonların yeniden düzenlenmesi sonucunda oluşan alt tanelerde dislokasyonsuz bölgeler oluşur. Bu bölgeler sayesinde elektron hareketi kolaylaşır ve elektrik iletimi eski değerine geri döner. Piyasada bu işlemin diğer ismi gerilme giderme tavlamaştır. Toparlanma sonucunda; iç gerilmeler azalır, elektrik iletkenliği artar, kafes çarpılması azalır, mekanik özellikler çok değişmez (Savaşkan,2015).

2.3.2.2. Yeniden kristalleşme

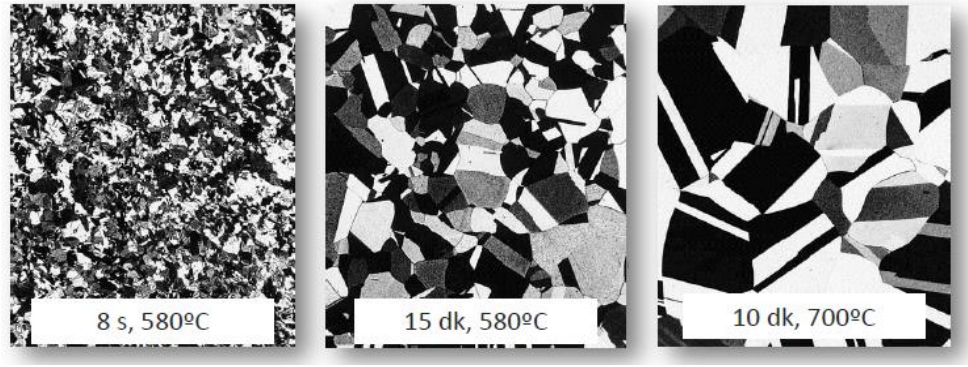
Dislokasyon içeren toparlanmış taneler kaybolur ve yerine yeni taneler çekirdeklenir. Çekirdeklenme genellikle hatalı bölgelerde, tane sınırlarında meydana gelir. Toparlanmış tanelerdeki dislokasyonlar yeni oluşan tanelerin sınırlarına kaçarlar. Böylece içlerinde dislokasyon miktarı çok az olan veya dislokasyon bulunmayan küçük yeni taneler oluşur ki bu yapıya yeniden kristalleşmiş yapı denir. Soğuk şekillendirme oranı ve metal saflığı artıçça yeniden kristalleşme sıcaklığı düşer. Yeniden kristalleşme sıcaklığı malzemenin pratik olarak 1 saat içerisinde %50 sinin yeniden kristalleştiği sıcaklıktır ve yaklaşık olarak ergime sıcaklığının 0.3-0.5 katıdır (Savaşkan,2015).



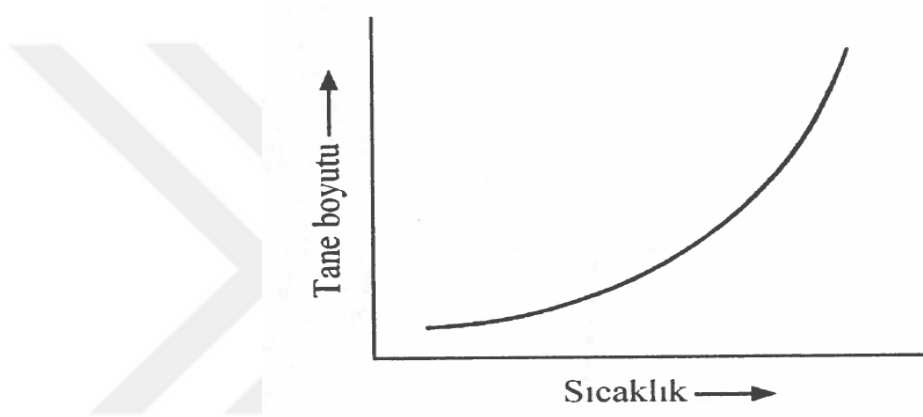
Şekil 2.17.Tane yapıları (Savaşkan,2015)

2.3.2.3. Tane Büyümesi

Yeniden kristalleşmiş taneler, tavlama sıcaklığında uzun süre tutulursa veya yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde tavlansa difüzyonla zamanla büyürler. Malzemedeki iri taneler, ince tanelerden daha düşük serbest enerjiye sahiptir. Bunu sebebi tane sınırlarının azalmasıdır. Bu nedenle tek kristalli malzemeler en düşük enerjiye sahiptir. İri ve ince tanelerin serbest enerjileri arasındaki fark, tane büyümesi için gerekli itici gücü oluşturur ve atomlar arası bağ kuvvetleri bu kuvvete karşı koyar. Sıcaklık artıçça kafes rijitliği (atomlar arasındaki bağ kuvveti) ve tane büyüme hızı artar (Savaşkan,2015).



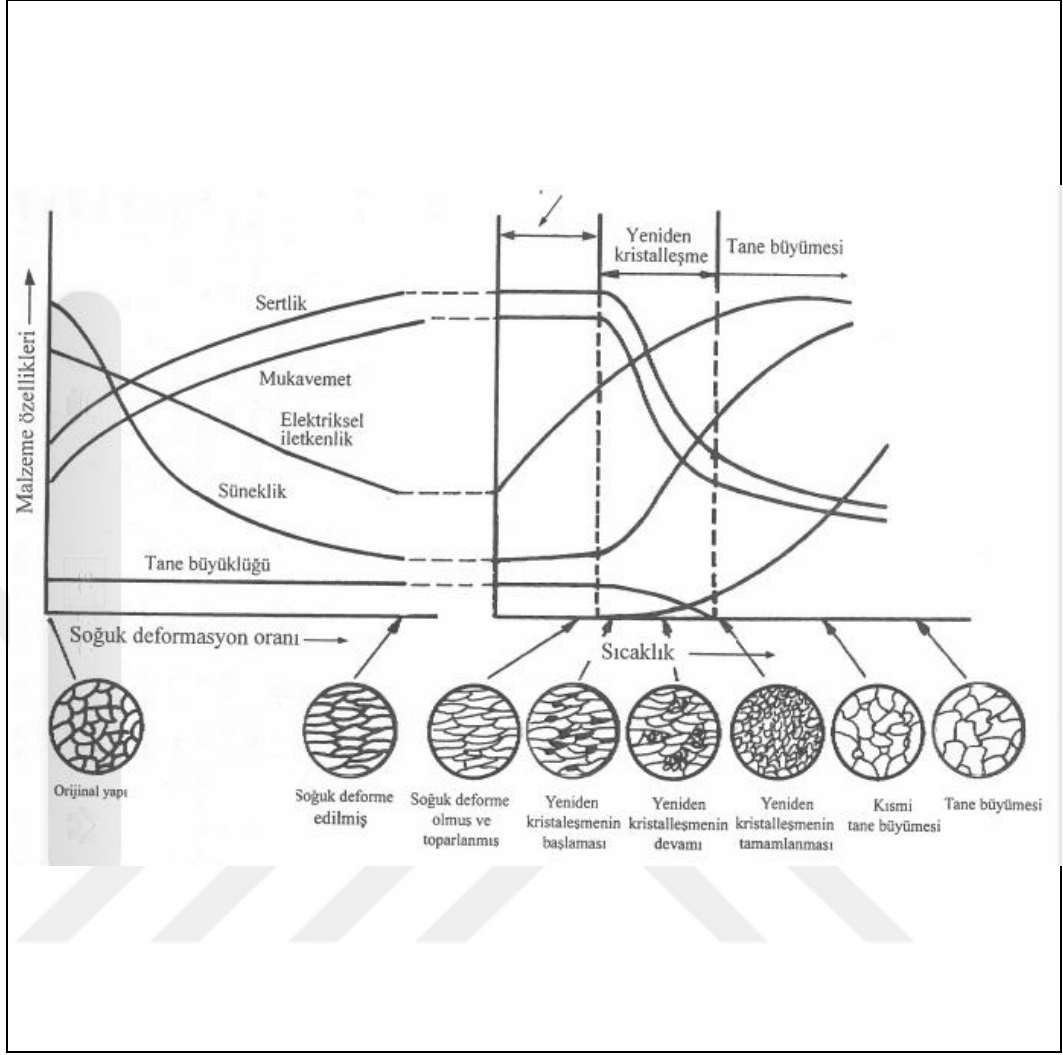
Şekil 2.18. Tane büyüme hızı



Şekil 2.19. Sıcaklığın yeniden kristalleşme ile oluşan tanelerin büyüklüğüne etkisini gösteren eğri (Savaşkan,2015)

Tavlama sıcaklığı ile yeniden kristalleşme sıcaklığı arasındaki fark arttıkça, oluşan tanelerin boyutu da artar. Diğer taraftan tavlama sıcaklığına kadar ısıtma ve tutma süreleri ne kadar kısa olursa taneler de o ölçüde ince olur. Malzeme yavaş ısıtılırsa birkaç tane çekirdek oluşur ve büyüme hızı artarak iri taneli bir yapı elde edilir. (Savaşkan,2015)

Tavlama işleminin soğuk deforme edilen malzemenin özelliklerine etkisi şekil 2.17de gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi soğuk deformasyon nedeniyle malzeme özelliklerinde meydana gelen değişimler tavlama işlemi sonucunda tamamen giderilmekte ve malzeme orijinal özelliklerini yeniden kazanmaktadır. Bu nedenle tavlama sırasında malzemenin sertlik ve mukavemeti azalırken, süneklik ve elektriksel iletkenliği artar. (Savaşkan,2015)



Şekil 2.20. Soğuk şekil değiştirme ve ardından uygulanan tavlama işleminin malzemenin özelliklerine etkisi (Savaşkan,2015)

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Materyal

3.1.1.Alüminyum

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile gerçekleşmiştir.Alüminyum, diğer çok kullanılan metaller olan demir, kurşun ve kalay gibi, doğada bileşikler halinde bulunur.(Gedik,2008).

Alüminyumu oksit halindeki bileşiğinden ilkayran ve elde eden kişi, 1807 yılında, SirHumphreyDavy olmuştur. Daha sonra, HansChristianOersted, FrederickWöhler ve Henry Sainte-ClairreDeville, alüminyum eldesinde yenilikler getirmişlerdir(Gedik,2008).

Alüminyumun endüstriyel çapta üretimi ise, 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul T. Heroult'un birbirlerinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır. Bu, günümüzde halen kullanılan yöntem olduğundan, 1886 yılı alüminyum endüstrisinin başlangıç yılı olarak kabul edilir.1886 yılında Werner Von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K.J.Bayer'in, boksitten alümina elde edilmesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi çok kolaylaşmış ve bu en genç metal, demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur (Gedik,2008).

Saf alüminyumun özellikleri ;

- Kimyasal sembol : Al
- Atom numarası :13
- Atom Ağırlığı :26.98
- Kafes Yapısı :YMK
- Yoğunluğu (20 °C) :2.703 gr/cm³
- Kaynama sıcaklığı :2300 °C
- Ergime sıcaklığı :660.24 °C
- Ergime ısısı :94.6 cal/gr

Alüminyumun metal olarak özellikleri birçok durumda onun ideal ve ekonomik bir malzeme olmasını sağlar. Alüminyumun genel özellikleri aşağıda özetlenmiştir :

- Alüminyum hafiftir. Aynı hacimdeki bir çelik malzemenin ağırlığının ancak üçte biri kadar ağırlıktadır.

- Alüminyum, hava şartlarına, yiyecek maddelerine ve günlük yaşamda kullanılan pek çok sıvı ve gazlara karşı dayanıklıdır.
- Alüminyumun yansıtma kabiliyeti yüksektir. Gümüşü beyaz renginin bu özelliğe olan katkısı ile beraber gerek iç gerekse dış mimari için cazibeli bir görünüme sahiptir. Alüminyumun bu güzel görünümü, anodikoksidasyon (elokal), lâke maddeleri vs. gibi uygulamalar ile uzun müddet korunabilir. Hatta, birçok uygulamada tabii oksit tabakası bile yeterli olur.
- Çeşitli alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine denk veya daha yüksektir.
- Alüminyum elastik bir malzemedir. Bu nedenle ani darbelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, dayanıklılığı düşük sıcaklıklarda azalmaz. (Çeliklerin, düşük sıcaklıklarda ani darbelere karşı mukavemeti azalır.)
- Alüminyum, işlenmesi kolay bir metaldir. Öyle ki, kalınlığı 1/100 mm. den daha ince olan folyo veya tel haline getirilebilir.
- Alüminyum ısı ve elektriği bakır kadar iyi iletir.
- Alüminyuma şekil vermek için döküm, dövme, haddeleme, presleme, ekstrüzyon, çekme gibi tüm metotlar uygulanabilir. (Gedik,2008)

Alüminyum 40-540 N/mm² ortalama mukavemeti ile bir çok kullanım alanı için optimum çözümler sunmaktadır. (Gedik,2008)

Alüminyum gerek ısı, gerekse elektrik açısından çok iyi bir iletkenidir. Saf halde iken iletkenlik amacından başka uygulamalarda kullanılmaz. Buna karşın, Alaşımları mutfak eşyalarından uçak ve uzay araçlarına dek sayısız uygulama alanlarında kullanılır. (Gedik,2008)

Yerkabuğunda bol miktarda (%7,5 - %8,1) bulunmasına rağmen serbest halde çok nadir bulunur ve bu nedenle bir zamanlar altından bile daha kıymetli görülmüştür. Alüminyum, yer kabuğunda en çok bulunan üçüncü elementtir. Bunun anlamı, insan var oldukça, yeterli alüminyum her zaman var olacaktır. Günümüzün en geçerli alüminyum hammaddesi olan boksitin bilinen rezervleri, halihazır tüketim hızına göre 3000 yıl yetecek miktardadır. Tüketim hızının iki misli miktarda yeni boksit rezervleri bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, kaolin esaslı yeni cevherlerden alüminyum eldesi için de çalışmalar devam etmektedir. Boksit, açık alan maden

3.1.2.Kompozit Malzemeler

En az iki farklı malzemenin makro seviyede (birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde) birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. Amaç ise bileşenlerde tek başına iken mevcut olmayan bazı özelliklerin (hafiflik, dayanım esneklik, vb.) geliştirilmesi ve biraraya getirilmesidir. Kompozit aslında karışım anlamına gelmekle birlikte çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmaz. Bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır. Kompozit bileşenleri kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler. Malzemeler birbiri içerisinde çözünürse ve atom seviyesinde bir karışım söz konusu olursa, bu tür malzemeler kompozit değil alaşım olur. Karışım nanometre seviyesindeki partiküller düzeyinde olursa ise bu tip kompozitler enanokompozitler denir. Kompozitler genel olarak matris ismi verilen bir ana malzeme ve takviye elemanı ismi verilen daha mukavim bir malzemedan oluşturulur. Bu iki malzeme grubundan, takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir (Zor, 2006).

Kompozit malzemeler nispeten yeni bir alan olup II. Dünya Savaşı esnasında mevcut konvansiyonel malzemeler tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamış ve o zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmiştir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuştur. Bu nedenle de spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Bu malzemeler, belirli uygulama alanları için üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla belli spesifik konfigürasyonda değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarından çok fazlı malzeme olarak da adlandırılırlar (Şahin, 2006).

Kompozit bir malzeme, kimyasal bileşenleri farklı birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin, kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun malzeme oluşumu için makro seviyede birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzemelerdir. Kompozit malzemelerde ana malzeme genelde metaller, seramikler, cam ve polimerler olmak üzere dört sınıfa ayrılabilirler. Fiber takviyeli

kompozit malzemeler bu dört grup malzemenin herhangi birinin fiberle takviye edilmesiyle elde edilirler. Fiberlerin gömüldüğü ana malzemeye matris malzemesi denir. Kompozit malzemelerde matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, fiberleri bir arada tutmak, yükü fiberlere dağıtmak ve fiberleri çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi, düşük viskoziteli yapıda iken daha sonra fiberleri sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir (Türkmen,2012).

Matris fazı mukavemetlendirici bileşeni bir arada tutan bir bağlayıcı gibi etki gösterip, yapının yapısal bütünlüğünü sağlayıp, uygulanan yükün mukavemetlendirici faza transferini temin eder. Matris fazı aynı zamanda mukavemetlendiriciyi çevresel etkilerden koruyup, çatlak oluşumunu başlatabilecek fiziksel hasarlara karşı korur (Tanoğlu,2005).

Matris seçiminde, malzemenin nem ve su alma özelliklerinin de gözönünde bulundurulması gerekir. Mukavemeti, uzaması, kopması, yorulması, darbe özellikleri de çok önemlidir. Matrislerin çoğu sıvı halde bulunduğu için viskozitesi de önemlidir. Kür zamanı ve sıcaklığı gibi fiziksel özelliklerde matris seçiminde önemli rol oynar (Uluçay,1989).

Matris malzeme içinde yer alan lifler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan elyaf kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Aramid, karbon ve cam elyafının kısa veya uzun sürekli elyaf formları modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli yer tutar (Mısıroğlu,1996).

Dokuma yapısındaki lifler, yönlendirilmiş haldedir ve takviye özellikleri yüksektir. Günümüzde üretilen kompozitlerin dokuma dâhil %90'ı liflerle takviye edilmiş kompozitlerdir. Uygulamada değişik elyaf türlerinden yararlanılmaktadır (Becenen,2008).

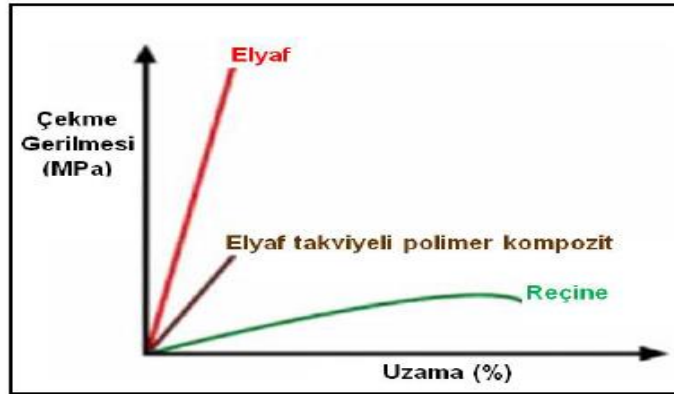
Karbon elyafının en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaf, nemden etkilenmez ve sürtünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Karbon elyaf çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle

kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar (Rouchan,1987).

Cam elyaf takviyesi plastik kullanılan işlerin %90'ında yer alır. Nedeni ise ucuz olması ve bununla birlikte iyi bir ağırlık/mukavemet oranı vermesidir. Cam elyaf üretiminde; çeşitli taşlar yaklaşık 1600 °C'de sıvı halde birleşerek camı oluştururlar. Bu sıvı çok ince kovanlardan geçerek 9 ile 25 mikron çaplarındaki cam elyaf ipliklerini oluşturur. Bu iplikler de sıkı bir şekilde birleşerek lifleri ya da gevşek bir şekilde fitilleri oluşturur. Bunlar daha sonra çeşitli kimyasallarla kaplanarak ipliklerin yapışma özellikleri oluşturulur ve aşınmaya karşı direnci artırılır. Camelyaf, iyi bir kimyasal direnç ve kolay işlenebilirlik gösterir. Çekme mukavemetleri mükemmeldir (Greene,2006).

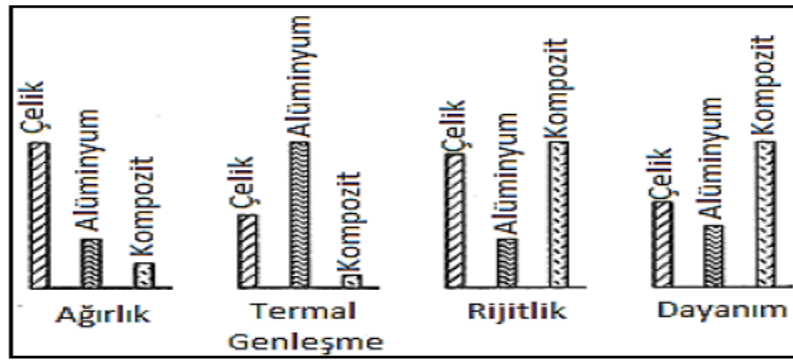
Takviyenin istenilen başarıyı göstermesi uygun matris seçimine bağlıdır. Matrisin başlıca görevleri; kuvvetleri liflere iletmek, lifleri korozyon, oksidasyon gibi ortam etkisi ve darbelerden korumaktır(Becenen,2008)Takviye olarak kullanılan liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemet değeri yükselir, sertliği artar (Ülkü, Korkmaz ,1988).

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin ayarlanması çeşitli parametreleri değiştirmek suretiyle mümkün olmaktadır. Bu parametreler; takviye ve matris malzemesinin cinsi, takviye malzemesinin oranı ve birlikte kullanılan lif ve matris cinsine göre değişen lif/matris arabirim kayma gerilmesidir. Bu nedenle herhangi bir yükleme durumunda kompozitin mukavemetinin nasıl olacağını bilenebilmesi için bu parametrelerden her birinin ayrı ayrı nasıl davrandığını bilmek gerekir(Yazıcı,2003)(Şekil 3.2).



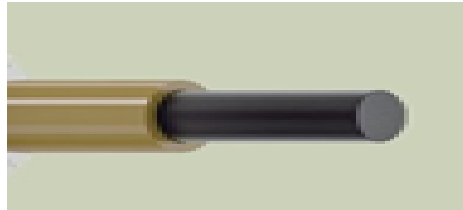
Şekil 3.2. Elyaf takviyesi ile plastik malzemenin çekme dayanımının artışı (Sayman O. ve ark. ,1978)

Kompozit malzemelerde; genellikle kendi başlarına elde edilemeyen, bileşenlerinin en iyi özelliklerinin bir malzemede toplanması önemli avantaj meydana getirir. Kompozit malzeme üretilmesi ile bazı özellikler sağlanabilmektedir. Bunlar genel olarak şöyle sıralanabilir: yüksek dayanım,yüksek rijitlik,yüksek yorulma dayanımı, mükemmel aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi korozyon direnci, iyi termal ve ısı iletkenliği, düşük ağırlık, çekicilik ve estetik görünümdür.(Türkmen,2012) Şekil 3.3’de farklı malzemeler, çeşitli özellikleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil3.3. Farklı malzemelerin çeşitli özellikleriyle karşılaştırılması
(Matthews,Analysis)

Taşıdığı karakteristik özellikleri ile diğer malzemelere göre birçok avantajları bulunan kompozit malzemeler uzun ömürleri, hafiflikleri, yüksek kimyasal ve mekanik dayanımları gibi pek çok üstün özelliklerinden dolayı tercih edilirler. Havai hatlarda kullanılmaya başlanmasının temel nedenleri de bu avantajlarıdır. Havai hatlarda kullanılan kompozit öz karbon fiber ve fiberglastan oluşmaktadır. Karbon fiber kısmı karbon elyaf takviyeli reçineden, fiberglas kısmı cam elyaf takviyeli reçineden oluşmaktadır. Şekil 3.4’de kompozit özün yapısı verilmiştir burada siyah kısım karbon fiber, onu saran kısım ise fiberglas malzemedir.



Şekil 3.4. Kompozit özün yapısı

Kompozit öz iletkenlerde kullanılırken çok dikkat edilmelidir. Makineye verilirken özel vericilerle daha dikkatli verilmelidir. Kompozit malzeme sürekli düz hale gelme eğiliminde olduğu için ucu kaçırıldığında makara üzerinde açılmaya başlar.İletken üretiminde kullanılacak olan kompozit özün makaraya sarılmış hali şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5.Kompozit özün makaraya sarılmış hali

3.2.Yöntem

3.2.1.ACCCİletken Üretim Prosesleri

Üretim prosesleri genel olarak döküm, tel çekme, örme, ısıl işlem fırınları olmak üzere 4 ana procesten oluşur.

3.2.1.1.Döküm Prosesi

Döküm prosesi 1 tane ergitme fırını ve 2 adet dinlendirme fırınından oluşmaktadır. Döküm prosesi sonucu alüminyum rod (filmaşın) üretilmektedir. Alüminyum rod, genel olarak çapları değişmeyen, daire biçimli, sıcak haddelenerek elde edilmiş, tel imalinde ve sıkı sarımda kullanılan, 9.5 mm veya 12 mm çapında, uzun, som çubuktur.

%99,8 saflıkta alüminyum külçeler döküm yapmak üzere ergitilerek sıvı faza dönüştürülür ve bir kanal vasıtası ile sürekli bir şekilde dinlendirme fırınına aktarılır(Şekil 3.6). Eğer alaşım yapılacaksa gerekli alaşımlar burada eklenir. Dinlendirme fırınından 690-730°C de alınan sıvı metal, sabit debide döküm makinasına verilir. Döküm makinasında bakır dış zarflı döküm tekerleği ve dışında bulunan kanal vasıtası ile soğutma suyu verilerek yaklaşık 500°C sıcaklıkta alüminyum bara elde edilir(Şekil 3.7). Bu bara, döküm makinası ile senkronize çalışan haddeleme makinasında 9.5 mm veya 12 mm çaplı alüminyumfilmaşın sekline dönüştürülür(Şekil 3.8). Filmaşın çıkış sıcaklığı 180 - 220°C dir. Filmaşın müteakiben ve sürekli olarak deveboynu denilen bir aktarma kısmı ile filmaşın sepetlerine istiflenir.(Şekil 3.9)



Şekil 3.6. Döküm prosesi ergime ve dinlendirme fırınları



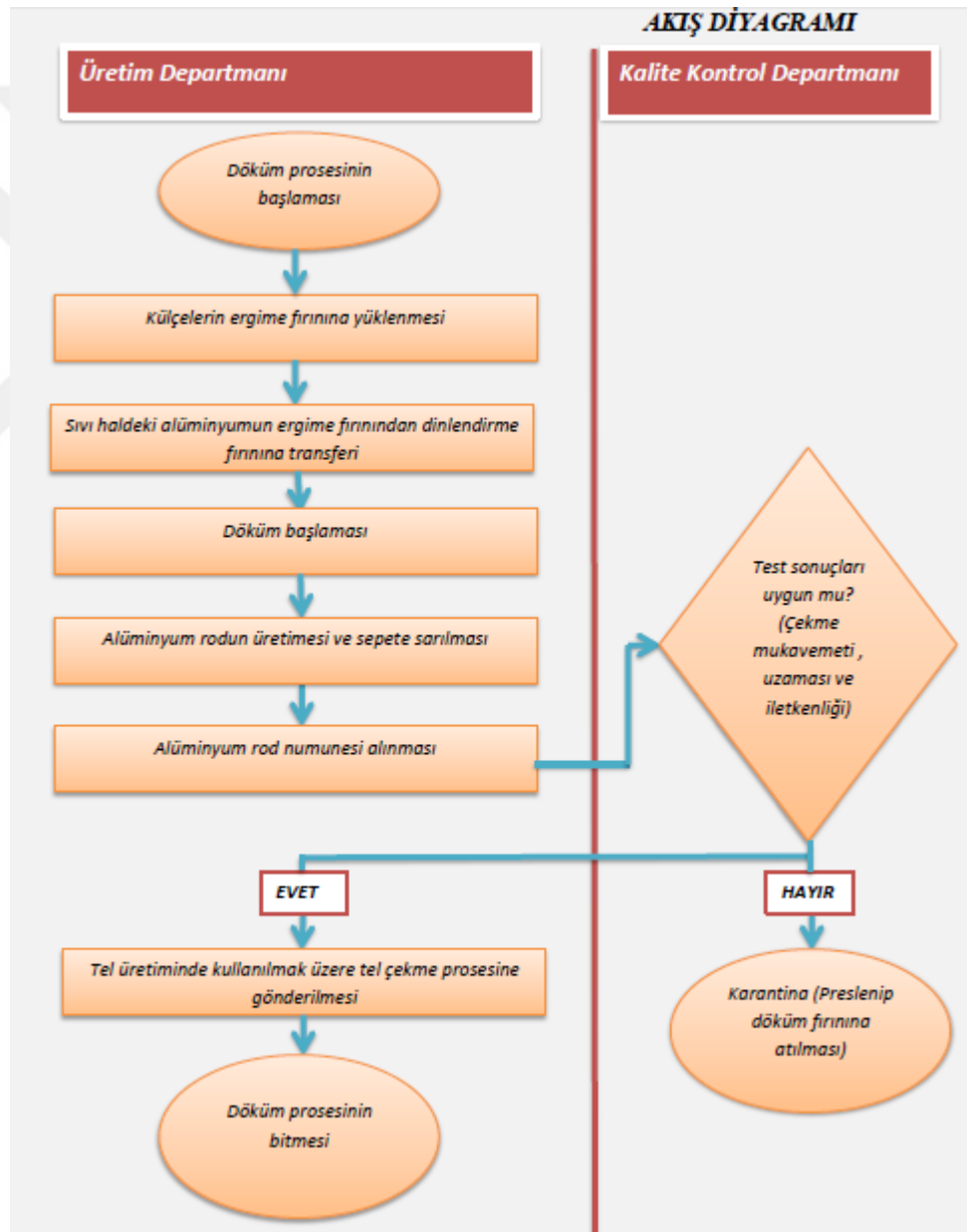
Şekil 3.7. Döküm prosesi bakır teker soğutma ünitesi ve alüminyum bara oluşumu



Şekil 3.8. Döküm prosesi haddeleme ünitesi



Şekil 3.9. Döküm prosesi sepet ünitesi



Şekil 3.10. Döküm prosesi akış diyagramı

3.2.1.2.Tel Çekme Prosesi

Tel çekme prosesi sonucu dökümde üretilen alüminyum filmaşınlar kullanılarak alüminyum tel üretimi gerçekleştirilir. Alüminyum tel, çapı öngörülen tolerans sınırları içinde kalarak değişen, daire kesitli ve tel çekme makinalarında, alüminyum çubuklardan soğuk olarak elde edilen ince, uzun, som teldir.

Tel Çekme ünitesi kalın kesitli olan bir telin bir matris (hadde) içinden geçirilerek kesitini küçültme işlemidir. Tel kesitleri genelde daireseldir. Sürekli alüminyum filmaşın üretim hattından gelen 9,5 veya 12mm çaplı alüminyum filmaşınlar tel çekme makinelerinde soğuk çekilerek 1,50 - 5 mm çaplarında tel haline getirilmektedir.

Alüminyum filmaşınlar çekilirken tel çekme yağı kullanılmaktadır. Tel çekme yağları yüksek sıcaklıklarda olursa hadde sarabilir. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda (40-50°C) tutulması gerekmektedir. Tel çekme yağı sürtünmeyi azaltmakta ve şekillendirmeyi kolaylaştırmaktadır. Tel çekme yağını düşük sıcaklıklarda tutmak için soğutma eşanjörü kullanılmaktadır.

Telin istenilen çapa getirilinceye kadar, sürekli olarak ardışık matrislerden geçirilmesi gerekmektedir. Her bir matrisin ve ardışık matrislerin çapları materyalin giriş çapından küçüktür ve telin kesiti her bir matristen geçtikçe küçülmektedir. Teorik olarak, tel çekme işlemi, hiçbir materyalin atılmasının istenmediği atıksız bir işlemdir. Bu nedenle, telin hacmi çekilse bile aslında aynı kalırken, telin boyu uzamakta veya sünmektedir. Yarı Mamul olan filmaşın tel çekme makinalarınının giriş kısmına getirilerek deveboynu denilen kuleden geçirilmekte ve tel çekme makinasına verilmektedir. Verilen filmaşın hangi nihai ürün isteniyorsa o nihai ürünü oluşturan tel çaplarına göre hadde istasyonlarında hadde çapları ayarı yapılarak soğuk çekilmektedir. Soğuk çekilen teller bobinlere sarılmaktadır. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11.Tel çekme prosesi

Geleneksel iletkenlerde kullanılan alüminyum teller yuvarlak şekillidir, ACCC iletkenlerde ise trapez şekilli teller üretebilmek için trapez şeklinde özel haddelerin tasarlanması gerekmektedir.



(a)

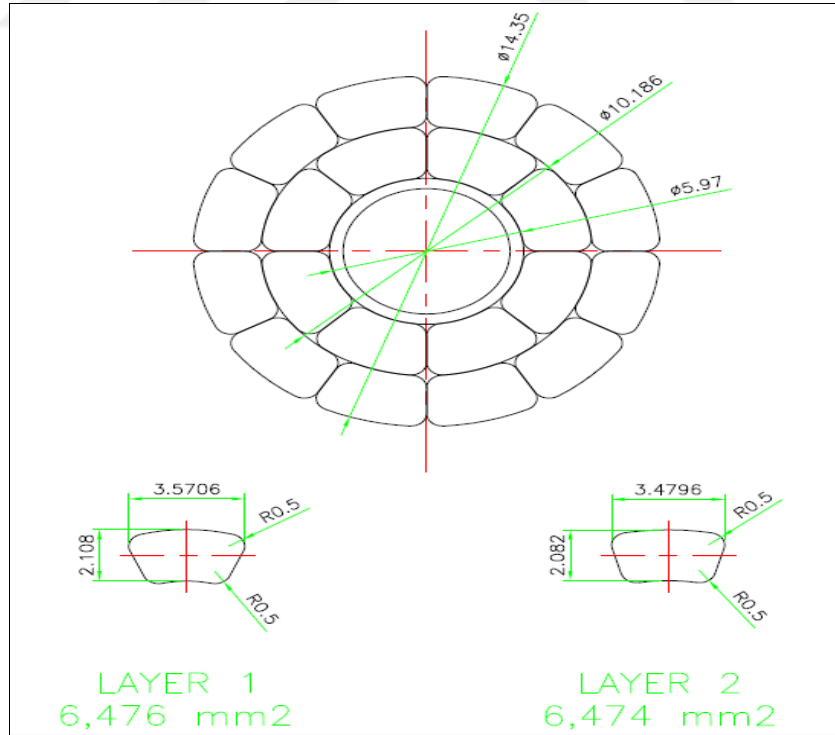
(b)

Şekil 3.12. Tel çekme prosesi haddeleri

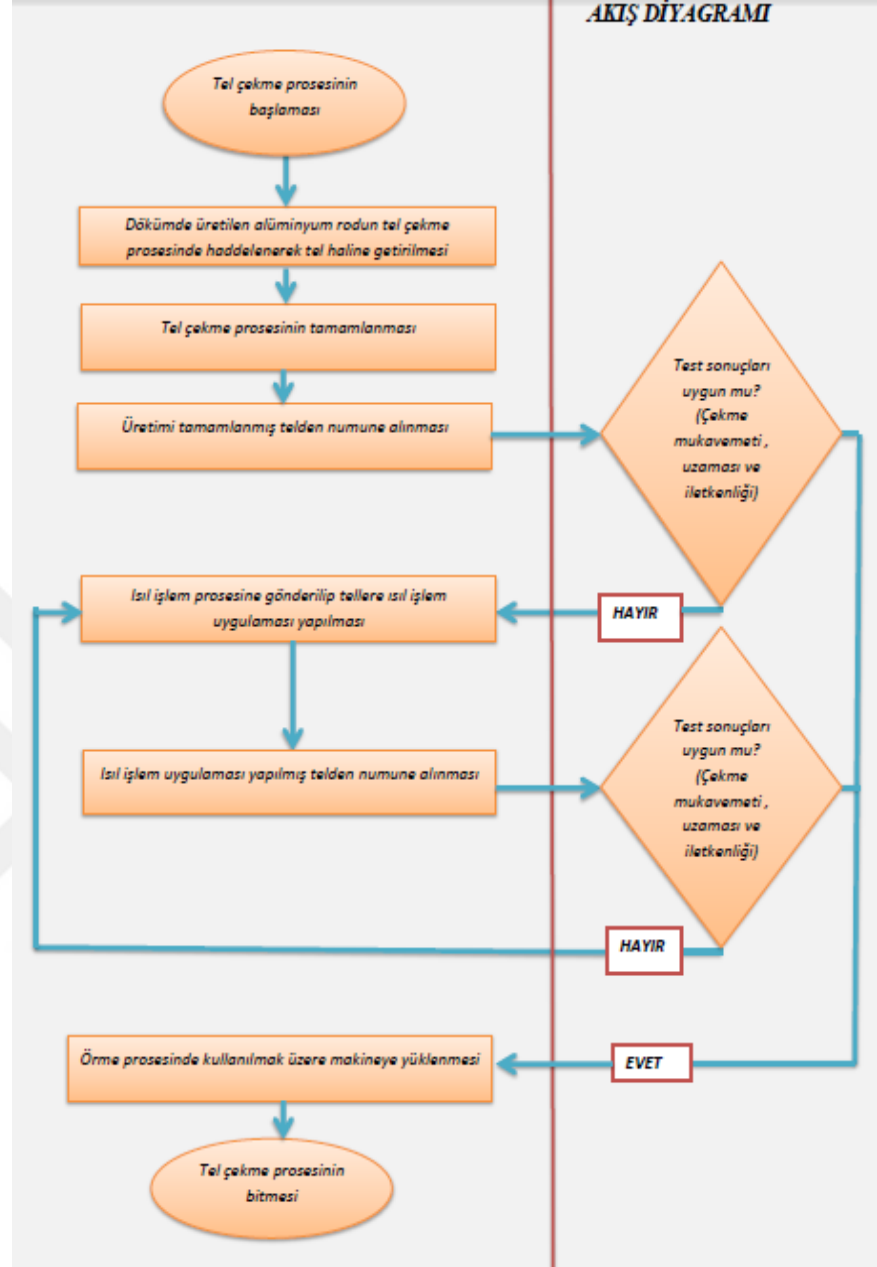
a) Geleneksel iletken tel haddeleri

b) ACCC iletken tel haddeleri

İletkenin türüne göre kullanılan tel sayıları, tel çapları, katman sayıları değişmektedir. Her iletken çeşidi için yeni bir hadde serisi belirlenmelidir. Çıkış haddesi tasarlandıktan sonra redüksiyon oranları dikkate alınarak hadde serisi tasarlanmalıdır.



Şekil 3.13. ACCC Silvassaitkeni için örnek birmamülhadde tasarımı. Alt katman ve üst katman için iki farklı seri tasarlanmıştır



Şekil 3.14. Tel çekme prosesi akış diyagramı

3.2.1.3.Örme Prosesi

Yüksek gerilim hava hatlarında kullanılan iletkenlerin mekanik yönden uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. İletkenlerin gerekli esnekliği sağlamak, askı ve gergi noktalarında oluşan titreşimler sebebiyle kopmasını önlemek amacıyla spiral şekilde örgülü olarak yapılmaktadır. Örgülü iletkenlerde katmanlar birbirine zıt yönde sarılmıştır. Bunun nedeni burulmalarda tellerin açılmaması ve zıt yönde oluşan manyetik alanın birbirini yok etmesidir.

Uygun çap ve uzunluk değerlerinde çekilmiş alüminyum teller, işletmede bulunan örme makinelerinde örülerek örgülü alüminyum iletken olarak mamul hale getirilmektedir. Bu üretim için alüminyum tel çekme makinelerinde çekilen alüminyum teller kullanılmaktadır.

Çekilen Alüminyum teller bobinlere sarılarak örme ünitesine gönderilmektedir. Bobinler örme makinalarına hidrolik sistemle yüklenmektedir. Üretilecek ürünün türüne göre merkezden geçirilen tel, çelik halat, kompozit kor ya da alüminyum teldir. Üst katmanları örmek için örme makinasına yüklenen bobinlerdeki teller makinada bulunan deliklerden geçirilmekte ve ürünün konstrüksiyonuna göre örülerek makaralara sarılmaktadır. Metre sayaçlar vasıtasıyla iletkenin uzunluğu tespit edilmektedir. (Şekil 3.15)

Örme makinalarında; ACSR (çelik özlü alüminyum iletken), AAC (tam alüminyum iletken), AAAC (tam alüminyum alaşımlı iletken), AACSR(Çelik özlü alüminyum alaşımlı iletken) ve ACCC (alüminyum kompozit özlü iletkenler) üretimleri yapılmaktadır.



Şekil 3.15. Örme makinesi

Trapez şekilli alüminyum tellerin iletken örümü sırasında düzgün oturabilmesi için örme makinelerinde ek teçhizatlar kullanılması gerekmektedir. Örme makinesine, iletkeni oluşturmak üzere makineye yerleştirilen tellerin yüzeyi çizilmeden iletken örümüne düzgün girmesini sağlayacak özel tasarlanan bir örme kafası eklenmelidir. (Şekil 3.16)

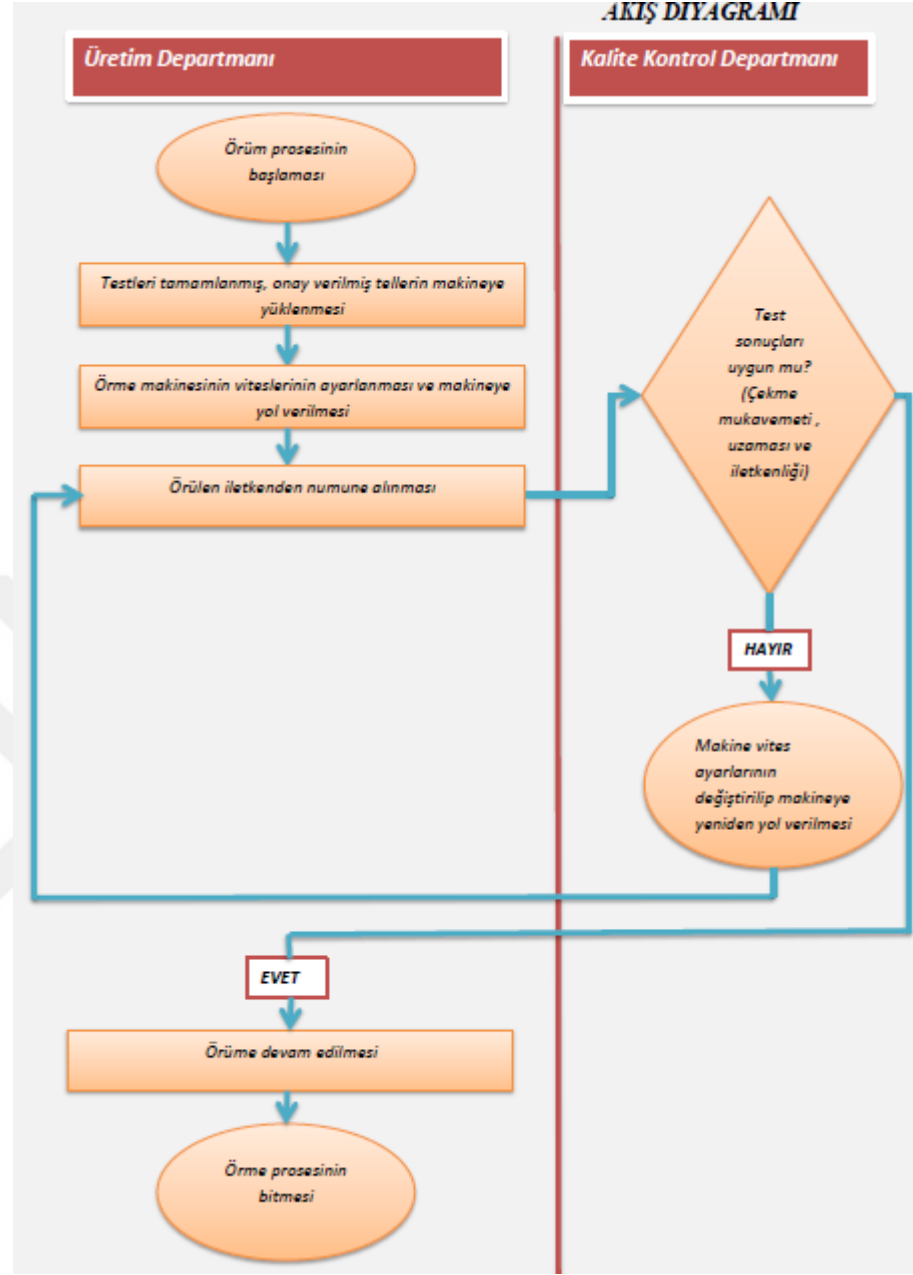


Şekil 3.16.Örme makinesine eklenen örme kafası

ACCC iletken telleri geleneksel iletkenlerde kullanılan tellerden daha yumuşaktır. Bu durum tellerin çok kolay çizilmesine neden olur. Tasarlanan örme kafasına ek olarak tellerin örüme girdiği haddeden önce emülsiyon yağı kullanılması haddeyle tel arası sürtünmeyi minimize ederek yüzey kalitesini artıracaktır.



Şekil 3.17. Örme makinesinde tellerin haddeye girmeden emülsiyon yağı kullanılması



Şekil 3.18. Örme prosesi akış diyagramı

3.2.1.4. Isıl İşlem Prosesi

Isıl işlem, özellikle metalik malzemelere uygulanan, malzemenin sertlik, mukavemet ve benzeri mekanik özelliklerini belirli metotlar doğrultusunda sıcaklık değişimi ile iyileştirme amaçlı, değerine değer katan prosesler bütünüdür.

Isıl işlem metallerin mekanik özelliklerini örneğin sertlik, mukavemet vb. geliştirmek amaçlı uygulanan işlemlerin genel adıdır. Metalurjik bir işlem türüdür.

Genel anlamda, metalleri belirli bir sıcaklıkta tavlayarak yapılarını istenilen faza getirmek suretiyle yapılır. Daha sonra metal ani olarak soğutulur ve bu sayede granüller oda sıcaklığında termodinamik açıdan denge fazı olmayan bir faza hapsolmuş olur. Bu faz genellikle malzemenin daha üstün mekanik özellikler gösterdiği bir fazdır.(Şekil 3.19) Isıl işlem alüminyum filmaşine uygulanabildiği gibi alüminyum tellere de uygulanabilir. (Şekil 3.20)



(a)

(b)

Şekil 3.19. Alüminyum filmaşine uygulanan ısıl işlem

a) Filmaşinin sıcaklığı önceden belirlenmiş fırına atılması

b) Filmaşinin belirlenen saat sonunda fırından çıkarılması ve soğutulması



Şekil 3.20. Alüminyum tellere uygulanan ısıl işlem

ACCC Silvassa iletkeni için üretilen alüminyum teller, tel çekme ünitesinde bobinlere sarılır. Bobinlere sarılan teller paletin üzerine koyularak ısıtılma fırınına yerleştirilir(Şekil 3.20).Belirlenen derece ve sürede bobinler fırında bekletilir. Sürenin dolmasıyla fırından çıkarılan bobinlerin her biri için standartta istenen testler yapılır. İstenilen özellikleri sağlayan bobinler örme makinesinde kullanılmak üzere ayrılır.

Isıl işlem uygulamalarında uygulanan sıcaklık ve ne kadar süreyle uygulandığı çok önemlidir. İstenilen mekanik özellikler uygun sıcaklıkta uygun süreyle tavlınırsa yakalanabilir.



4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1.Alüminyum Tellere Uygulanan Isıl İşlem ve Sonuçları

Döküm prosesinden çıkan filmaşınlar tel haline getirilmek üzere tel çekme proseslerine gönderilir. Çıkan her filmaşının kendine özgü iletkenlik ve mukavemet değerleri vardır. İletkenliğe direk etki eden parametrelerin başında hammaddenin saflığı gelmektedir. Dökümde kullanılan hammadde %99.8 saflıkta alüminyum külçelerden oluşmaktadır. Alüminyumun saflığının yanı sıra ihtiva ettiği %0.2 diğer elementlerin içerisindeki vanadyum ve titanyum da tanecik inceltici özelliğinden dolayı iletkenliğe etki eden parametreler arasındadır. Döküm fırınına alüminyum-boron (Alüminyum bor alaşımı, AlB₃) eklendiğinde, titanyum ve vanadyum ile bileşik oluşturarak iletkenliğe olan olumsuz etkiyi azaltır ve iletkenliği yükseltir. Kimyasal analiz numuneleri, fırında sıvı hale getirilmiş alüminyumun bir kalıba dökülmesiyle alınır. Numune tornalanıp yüzeyi düzeltildikten sonra spektrometre test cihazında analizi yapılır.

Mukavemeti etkileyen parametre ise, alüminyumun içeriği ve dökümün devridir. Döküm devri artırıldığında haddeleme prosesinde emülsiyonla daha az soğutulan alüminyumun mukavemeti düşük, devir yavaşladığında daha çok soğumaya maruz kalan alüminyumun mukavemeti yüksek olacaktır. Sepetten çıkan her filmaşının iletkenlik, mukavemet ve uzama testleri yapılır. EN 1715-2 standardında bulunan tabloya göre filmaşınların sınıflandırılması yapılır. (Şekil 4.1)

BS EN 1715-2:2008
EN 1715-2:2008 (E)

Table 1 — Main alloys for electrical purposes - Tempers for delivery - Mechanical and electrical properties

Alloy designation	Temper	Mechanical properties			Electrical properties (temperature : 20 °C)	
		Tensile strength R_m		Elongation typical A_{100} %	Resistivity $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ max.	Conductivity % IACS min.
		min.	max.			
EN AW-1110 [Al 99,1]	F	125	145	15	2,97	58,0
	H14	115	130	14	2,801	61,5
EN AW-1370 [Al 99,7] and EN AW-1350 [Al 99,5]	H13	105	120	16	2,801	61,5
	H12	95	110	20	2,801	61,5
	H11	80	95	25	2,785	61,9
	O	60	80	40	2,725	63,3
EN AW-5005 [Al Mg1]	H16	165	205	20	3,31	52,0
EN AW-5154A [Al Mg3,5]	F	210	280	16	5,20	33,1
	O	210	275	20	5,10	33,8
	O3	210	260	25	5,10	33,8
EN AW-6101 [Al MgSi]	T1 ^a	190	-	17	3,50	49,2
	T4 ^a	150	-	23	3,50	49,2
EN AW-6201 [Al Mg0,7Si]	T1 ^a	205	-	17	3,60	47,8
	T4 ^a	160	-	21	3,60	47,8
EN AW-8030 [Al FeCu]	O	60	110	40	2,86	60,2
	H24	100	150	25	2,86	60,2
EN AW-8176 [Al FeSi]	O	60	110	40	2,86	60,2
	H24	100	150	25	2,86	60,2

^a Measurements made not less than 3 days after quenching.

Şekil 4.1. EN 1715-2 Standardında belirtilen iletkenlik değerleri

Döküm prosesinden çıkan alüminyum filmaşınlar kullanılarak üretimi yapılan ACCC Silvassa trapez şeklindeki alüminyum tellerin her biri için rutin testler tamamlanarak, iletkenlik, uzama ve mukavemet değerleri belirlenmiştir. Örme makinesine yerleştirilen tellerin örümden sonraki uzama değeri minimum %20, iletkenlik değeri minimum %63 IACS, mukavemet değeri ise 60-95 Mpa aralığında olmalıdır. (EN 50540)

ACCC Silvassa iletkeninin örümü sonunda standartlardaki değerleri yakalayabilmek için kullanılan filmaşınleriniletkenlik, mukavemet ve uzama değerleri önemlidir.Filmaşınlerden üretilen teller tel çekme ünitesinde,bobinlere belirlenen metrajda sarılırlar. Her bobin için iletkenlik, mukavemet ve uzama değerleri belirlenir. Farklı mukavemet, iletkenlik ve uzama değerlerine ait filmaşınlerdenüretilen tellerin sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Örüm sonu standart değerlerin tutması için gelmesi gereken değer aralıkları aşağıda bulunan tabloların üst kısımlarında belirtilmiştir.Filmaşından soğuk şekillendirme ile elde edilen trapez şeklindeki tellere istenilen mekanik ve elektriksel özelliklerin kazandırılması için tavlama ısıl işlemi uygulanır. Malzeme içerisindeki dislokasyon gerilmeleri azaltılarak, toparlanma, yeniden kristalleşme ve tanecik büyümesiyle istenilen elektriksel ve mekanik özellikler kazandırılır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık olarak ergime sıcaklığının 0,3-0,5 katıdır.(Savaşkan,2015) Alüminyum ergime sıcaklığı 660°C'dir. Bu durumda amaçlanan özelliklerin kazandırılması için 198°C -330°C arasında ısıl işlem uygulaması yapılmalıdır. Kaç derece ve kaç saat tavlama sonucunda istenilen özelliklerin yakalanacağı, farklı filmaşınler kullanılarak üretilen alüminyum tellere farklı derece ve saatte yapılan ısıl işlem uygulaması sonuçlarıyla oluşturulan çizelgelerdeki veriler yorumlanarakbelirlenecektir.Oluşturulan çizelgelerdeki değerlerle, yapay sinir ağları kullanılarak optimizasyon yapılacaktır.

Çizelge 4.1.'de mukavemeti 65, iletkenliği 63.15 ve uzama değeri 59 olan filmaşın kullanılarak üretilen 20 adet trapez şeklindeki alüminyum bobinlerin test sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar yorumlandığında,tek telin iletkenliğinin minimum değer(%63 IACS) üzerinde geldiği görülmüştür. Kopma mukavemeti standartta verilen değer aralığının(60-95 Mpa) dışında gelirken, uzama değerinin standartta verilen %20 minimum uzama değerinin çok altında geldiği görülmüştür. Standarttaki değerlerin yakalanabilmesi için tellere 300°C'de 5 saat süreyle ısıl işlem uygulandığında tellerin

iletkenliği ve uzaması artarken mukavemetinin azalarak standart değerlerin yakalandığı görölmüş.(Çizelge 4.1) Yapılan ısı işlem sonucunda her ne kadar standarttaki değerler yakalansa da teller örme makinesine yüklenip örüldüğünde alüminyum tellerin çok yumuşak ve uzamasının çok yüksek olmasından dolayı tellerin makine üzerinde uzadığı, bunun sonucunda kesitte meydana gelen küçölmeden dolayı örüm sonunda alınan numunelerde birim ağırlık, iletkenlik ve uzama değerlerinin standartların dışında geldiği görölmüşür. Örüm sonu bu değerin tutması için uzama değerleri en fazla %50 olarak belirlenmiştir.

GİRDİLER								ÇIKTILAR		
Isıl İşlem Öncesi Değerler						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler		
KULLANILAN FİLMAŞIN			TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA	DERECE	SAAT	TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA
Mukavemet (Mpa)	İletkenlik (%IACS)	Uzama (%)	Mpa	%IACS	%	°C	h	(Min. 60- Max. 95Mpa)	(Min 63 %IACS)	(Min. %20- Max.% 50)
65	63.15	59	147	63.44	3.1	300	5	73	63.95	73.90
65	63.15	59	148	63.36	3	300	5	74	64.07	70.20
65	63.15	59	147	63.14	2.6	300	5	74	64.20	72.40
65	63.15	59	148	63.46	3	300	5	74	64.34	62.50
65	63.15	59	149	63.21	3	300	5	74	63.99	62.30
65	63.15	59	149	63.19	3.1	300	5	73	64.11	68.50
65	63.15	59	148	63.31	3.8	300	5	74	64.08	63.70
65	63.15	59	148	63.27	5.1	300	5	72	63.75	78.10
65	63.15	59	146	63.43	3.3	300	5	74	64.19	69.00
65	63.15	59	145	63.37	6.5	300	5	74	64.01	54.70
65	63.15	59	148	63.39	3	300	5	73	64.17	64.40
65	63.15	59	146	63.46	3.1	300	5	74	64.10	63.40
65	63.15	59	147	63.9	3.1	300	5	74	64.22	76.20
65	63.15	59	147	63.83	3.3	300	5	74	64.19	67.00
65	63.15	59	147	63.87	3.3	300	5	72	64.16	72.70
65	63.15	59	147	63.87	3.6	300	5	74	64.04	66.50
65	63.15	59	145	64.2	4	300	5	74	64.20	65.70
65	63.15	59	145	63.8	3.1	300	5	73	64.22	63.40
65	63.15	59	144	63.75	2.9	300	5	73	64.25	63.70
65	63.15	59	150	63.77	2.9	300	5	75	64.25	52.30

Çizelge 4.1. Mukavemeti 65 Mpa,iletkenliği 63,15 %IACS olan filmaşından çekilen 20 adet bobine uygulanan ısı işlem ve sonuçları

Çizelge 4.2.'de mukavemeti 65, iletkenliği 63.4 ve uzama değeri 57 olan filmaşın kullanılarak üretilen 20 adet trapez şeklindeki alüminyum tellerin test sonuçları verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde iletkenlik değeri standardın üzerinde gelirken, uzama değerinin standart dışı geldiği görülmüştür. Tellere 300°C'de 5 saat süreyle ısıtılma işlemi uygulandığında uzama değerinde artış meydana gelirken mukavemet değeri azalmıştır. Uzama değerindeki artışın çok yüksek olmasından dolayı örme prosesi sonucunda iletkenlikten alınan numunede, alüminyum tellerin testleri tekrar yapıldığında, makine üzerinde uzamasından dolayı tel kesitleri küçüldüğünden, örüm sonrası uzama, birim ağırlık ve iletkenlik değerleri standart dışında gelmiştir.

GİRDİLER						ÇIKTILAR				
Isıl İşlem Öncesi Değerler						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler		
KULLANILAN FİLMAŞIN			TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA	DERECE	SAAT	TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA
Mukavemet (Mpa)	İletkenlik (%IACS)	Uzama (%)	Mpa	%IACS	%	°C	h	(Min. 60- Max.95Mpa)	(Min. 63 %IACS)	(Min. %20- Max.% 50)
65	63.4	57	142	63.57	2.1	300	5	72	63.30	73.90
65	63.4	57	147	63.48	3.5	300	5	72	63.62	72.90
65	63.4	57	149	63.55	3.6	300	5	71	63.40	78.40
65	63.4	57	149	63.31	3.3	300	5	72	63.16	77.20
65	63.4	57	146	63.70	2.8	300	5	73	63.89	71.50
65	63.4	57	148	63.52	2.6	300	5	72	63.42	70.40
65	63.4	57	146	63.30	2.7	300	5	71	63.72	81.30
65	63.4	57	149	63.39	2.6	300	5	71	63.70	79.40
65	63.4	57	150	63.44	3.4	300	5	71	64.10	77.60
65	63.4	57	149	63.36	3.1	300	5	71	64.02	77.40
65	63.4	57	145	63.51	4.7	300	5	71	63.93	69.10
65	63.4	57	149	63.69	4.2	300	5	72	63.75	70.30
65	63.4	57	147	63.57	3.2	300	5	71	63.93	71.40
65	63.4	57	146	63.61	3.5	300	5	72	64.13	70.80
65	63.4	57	149	63.42	3.8	300	5	72	64.08	74.90
65	63.4	57	149	63.57	3.2	300	5	72	64.13	80.80
65	63.4	57	151	63.61	2.6	300	5	71	63.89	76.50
65	63.4	57	151	63.68	2.9	300	5	71	64.17	77.80
65	63.4	57	151	63.58	3.8	300	5	72	63.60	76.50
65	63.4	57	151	63.53	3.1	300	5	70	64.04	85.90

Çizelge 4.2. Mukavemeti 65 Mpa, iletkenliği 63,4 %IACS olan filmaşından çekilen 20 adet bobine uygulanan ısıtılma işlemi ve sonuçları

Çizelge 4.3.'de mukavemeti 92, iletkenliği 62,21 ve uzama değeri 39 olan filmaşın kullanılarak üretilen 20 adet trapez şeklindeki alüminyum bobinlerin test sonuçları verilmiştir. Bu filmaşından üretilen bazı alüminyum tellerin iletkenlik değerinin ve uzama değerlerinin standardın altında geldiği gözlemlenmiştir. Alüminyum tellere 325°C'de 2,5 saat yapılan ısı işlem sonucunda iletkenlik değerinin yükselerek standart değerin üzerine çıktığı görülmüştür. Isıl işlem sonucunda tellerin bir kısmında uzama değeri tutarken bir kısmı standardın altında kalmıştır. Standartları karşılayan teller iletkenlikte kullanılmak üzere ayrılmıştır.

GİRDİLER							ÇIKTILAR			
Isıl İşlem Öncesi Değerler						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler		
KULLANILAN FİLMAŞIN			TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA	DERECE	SAAT	TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA
Mukavemet (Mpa)	Uzama (%)	İletkenlik (%IACS)	Mpa	%IACS	%	°C	h	(Min. 60- Max. 95Mpa)	(Min. 63 %IACS)	(Min. %20- Max.% 50)
92	39	62.21	160	62.72	2.7	325	2.5	86	63.36	17.2
92	39	62.21	162	62.93	2.8	325	2.5	77	63.43	28
92	39	62.21	161	62.92	2.9	325	2.5	84	63.17	30
92	39	62.21	164	62.86	3	325	2.5	79	63.29	19.6
92	39	62.21	166	62.65	3.1	325	2.5	87	63.33	32.4
92	39	62.21	160	62.93	2.9	325	2.5	79	63.51	29
92	39	62.21	164	62.98	2.4	325	2.5	77	63.46	37
92	39	62.21	156	62.86	2.2	325	2.5	83	63.27	20.2
92	39	62.21	165	62.79	3	325	2.5	93	63.19	18.1
92	39	62.21	160	63.08	2.3	325	2.5	90	63.31	22
92	39	62.21	164	63.06	2.7	325	2.5	90	63.81	36.4
92	39	62.21	162	62.98	2.6	325	2.5	79	63.29	24.1
92	39	62.21	171	62.62	2.9	325	2.5	97	63.35	25.3
92	39	62.21	162	62.93	2.9	325	2.5	90	63.45	13.7
92	39	62.21	162	62.99	3	325	2.5	99	63.15	19.2
92	39	62.21	163	63.02	3.3	325	2.5	99	63.24	17
92	39	62.21	165	62.58	2.7	325	2.5	94	63.21	23.8
92	39	62.21	165	62.88	3.1	325	2.5	99	63.38	20.6
92	39	62.21	161	62.91	3	325	2.5	82	63.36	17.1
92	39	62.21	160	62.86	3.2	325	2.5	94	63.43	24.3

Çizelge 4.3. Mukavemeti 92 Mpa, iletkenliği 62,21 %IACS olan filmaşından çekilen 20 adet bobine uygulanan ısı işlem ve sonuçları

Çizelge 4.4.'de mukavemeti 93, iletkenliği 62,08 ve uzama değeri 48,3 olan filmaşın kullanılarak üretilen 20 adet trapez şeklindeki alüminyum bobinlerin test sonuçları verilmiştir. Bu filmaşınlerden üretilen tellerde iletkenlik değerlerinin standardın üzerinde gelmesine rağmen uzama değerlerinin standart dışı geldiği görülmüştür. Alüminyum tellere 300°C'de 6 saat uygulanan ısı işlem sonucunda iletkenliğin standart değerin üzerinde geldiği fakat bazı uzama değerlerinin standardın altında kaldığı görülmüştür. Standartları karşılayan teller iletkenlikte kullanılmak üzere ayrılmıştır.

GİRDİLER								ÇIKTILAR		
Isıl İşlem Öncesi Değerler						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler		
KULLANILAN FILMAŞIN			TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA	DERECE	SAAT	TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA
Mukavemet (Mpa)	Uzama (%)	İletkenlik (%IACS)	Mpa	%IACS	%	C°	h	(Min. 60- Max. 95Mpa)	(Min 63 %IACS)	(Min. %20- Max.% 50)
93	48.3	62.08	144	63.67	2.8	300	6	92	64.02	27.1
93	48.3	62.08	142	63.45	2.4	300	6	71	64.3	20.7
93	48.3	62.08	137	63.48	1.9	300	6	95	64.02	11.2
93	48.3	62.08	141	63.51	2.5	300	6	77	64.36	24.9
93	48.3	62.08	140	63.4	1.9	300	6	76	64.24	21.8
93	48.3	62.08	143	63.47	4.1	300	6	71	64.38	51.8
93	48.3	62.08	140	63.41	3.3	300	6	82	64.4	28.7
93	48.3	62.08	138	63.43	4	300	6	72	64.28	21.3
93	48.3	62.08	140	63.47	4.5	300	6	92	64.11	21.3
93	48.3	62.08	139	63.32	4.3	300	6	70	64.36	47.9
93	48.3	62.08	143	63.47	5.8	300	6	70	64.3	46.9
93	48.3	62.08	141	63.52	3.8	300	6	102	63.9	9.3
93	48.3	62.08	142	63.49	4.7	300	6	99	64	11.4
93	48.3	62.08	140	63.54	3.1	300	6	99	64.02	11.2
93	48.3	62.08	139	63.5	3.5	300	6	72	64.48	25.2
93	48.3	62.08	143	63.48	3.7	300	6	70	64.32	52.7
93	48.3	62.08	142	63.35	3.6	300	6	71	64.3	34.2
93	48.3	62.08	142	63.3	4.3	300	6	98	64.02	9.4
93	48.3	62.08	143	63.34	4.1	300	6	70	64.36	31.6
93	48.3	62.08	141	63.31	4.3	300	6	71	64.14	38.2

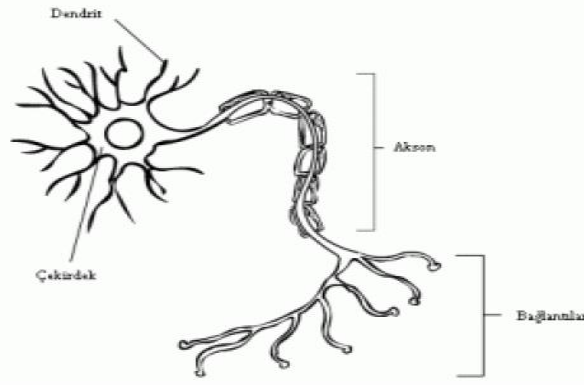
Çizelge 4.4. Mukavemeti 93 Mpa, iletkenliği 62,08 %IACS olan filmaşından çekilen 20 adet bobine uygulanan ısı işlem ve sonuçları

Isıl işlem uygulamasıyla elde edilen çizelgedeki veriler kullanılarak yapay sinir ağı yardımıyla optimizasyon yapılmıştır. Isıl işlem sonucunda değerleri standartlar içerisinde gelen tellerin örme prosesinde kullanılmasıyla üretilen ACCC Silvassa iletkeninden numune alınarak standartlarda belirtilen testler yapılmış ve sonuçları anlatılmıştır.

4.2.Yapay Sinir Ağlarıyla Optimizasyon

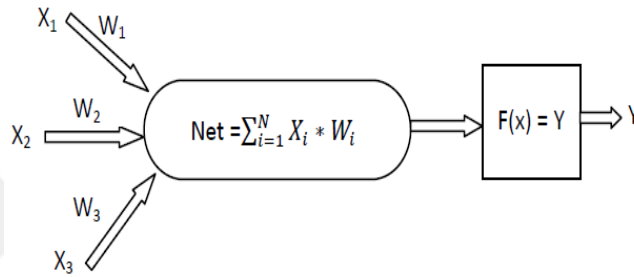
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile edindiği bilgi ve tecrübeyi herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma prensibinden esinlenerek, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu konu üzerindeki çalışmalar ilk olarak beynin sinir ağlarını oluşturan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uyarlanmasıyla başlamış ve zaman içerisinde geliştirilmiştir.

Yapay sinir ağları biyolojik sinir ağlarından esinlenilmiştir. Nöronların yapısı dört ana bölümden oluşmaktadır; dendrit, akson, çekirdek ve bağlantılar. Dendritler sinir hücresinin ucunda bulunan kısımdır ve görevi bağlı olduğu diğer nöronlardan veya duyu organlarından gelen sinyalleri çekirdeğe iletmektir. Çekirdek dendrittengelen sinyalleri toplar ve aksona iletir. Toplanan bu sinyaller akson tarafından işlenerek nöronun diğer ucunda bulunan bağlantılara gönderilir. Bağlantılar ise yeni üretilen sinyalleri diğer nöronlara iletir.



Şekil 4.2. Sinir hücresinde dört ana bölümün gösterilmesi

Yapay sinir ağı da tıpkı nöronlar gibidir. Girdiler ağa giren verilerdir. Dendrite gelen sinyalin çekirdeğe iletilmesi mantığı gibiyapay sinir ağına giren veriler de geldikleri bağlantıların ağırlıklarıyla çarpılarak toplam fonksiyonuna iletilir. Toplanan bu veriler aktivasyon fonksiyonuna iletilir. Bu fonksiyon hücreye gelen net bilgiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Şekil 4.3 de yapay sinir ağı şeması verilmiştir. Burada X_1, X_2, X_3 giren veriler, W_1, W_2, W_3 ağırlık katsayıları, elips şeklin içerisinde 'Net' olarak ifade edilen fonksiyon toplama fonksiyonu, kare şeklini içerisindeki fonksiyon ise aktivasyon fonksiyonu ve Y çıkışı ifade eder.



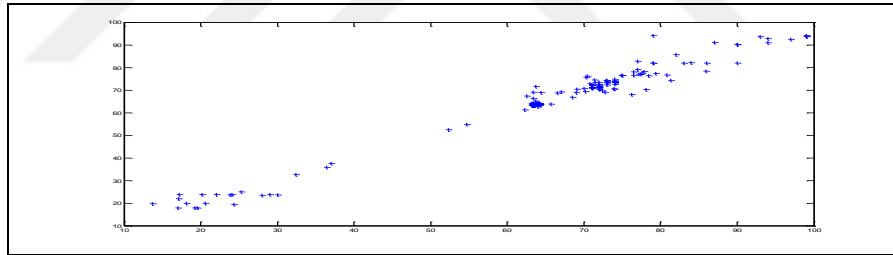
Şekil4.3. Yapay sinir ağı şeması

İnsanlar duyu organlarıyla algıladıkları davranışları yorumlar ve bu algıyı diğer davranışlarında da kullanır. Yapay sinir ağlarında da yine bu duruma benzer şekilde dış ortamdan girilen verilerin aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle bir çıkış elde edilir. Bu veriler gerçek verilerle karşılaştırılarak hata payı bulunur. Yapay sinir ağına giren veri bağlantılarının ağırlıklarının değiştirilerek hatanın minimum hale getirilmesiyle, gerçek değerlerle çıkış değerleri yakınlaştırılır. Yapay sinir ağı verilen giriş çıkış değeriyle amaca ulaşmışsa ağırlık değeri saklanır. Ağırlıkların değiştirilerek hatanın azaltılma sürecine öğrenme süreci adı verilir. Yapay sinir ağına veriler girilerek test edildiğinde, girişler için belirlenen ağırlıklarla toplama ve sonrasında aktivasyon fonksiyonuna girmesiyle elde edilen çıkış, gerçek verilere yaklaşıyorsa yapay sinir ağı işi öğrenmiştir.

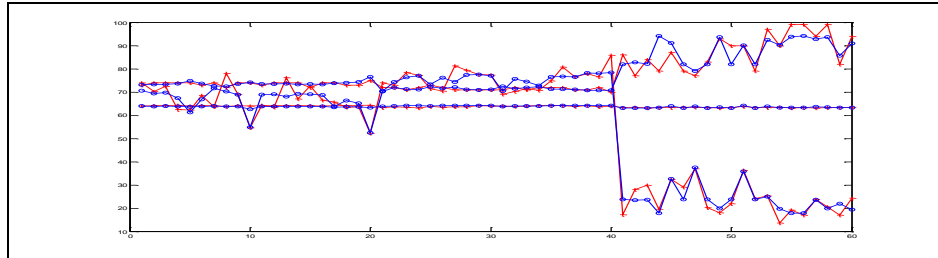
Sinir ağında bağlantıların ağırlık değerlerinin başlangıçta belirlenmesi ağın performansını direk etkilemektedir. Ağırlıklar belirli aralıklarda atanmalıdır eğer bu aralık büyük tutulursa yerel çözümler arasında sürekli dolaşır, küçük tutulursa öğrenme geç gerçekleşir.

Yapay sinir ağı için başarılı uygulamalar incelendiğinde problemi çözmek için matematiksel modellerin ve algoritmaların bulunmadığı, sadece örneklerin var olduğu durumlarda daha yaygın kullandıkları görülmektedir. Var olan örneklerle yapay sinir ağına iş öğretmek eğittikten sonra sonuçları bilinen veriler girilerek yapay sinir ağı test edilir.

Yapay sinir ağına kullanılmak üzere, alüminyuma uygulanan ısı işlem sonucu çizelge 4.1, çizelge 4.2, çizelge 4.3 ve çizelge 4.4’de bulunan giriş-çıkış verileri kullanılarak sinir ağlarının eğitilerek işi öğrenmesi sağlanır. Eğitim aşamasında yapay sinir ağı tahminlerinin gerçek ısı işlem verileriyle saçılım grafiği şekil 4.4’de gösterilmiştir. Eğitim aşamasında yapay sinir ağı tahminlerinin gerçek ısı işlem verileriyle dağılım grafiği şekil 4.5’de verilmiştir. Şekil 4.5’de mavi ile renklendirilen yuvarlak işaretler yapay sinir ağı çıkışlarını, kırmızı ile renklendirilen artı işaretler gerçek değerleri göstermektedir. Grafikte gerçek değerlerle yapay sinir ağının çıkış değerlerinin birbirine çok yakın geldiği yani yapay sinir ağının işi öğrendiği gözlemlenmiştir. Eğitim sırasındaki korelasyon katsayısı 0.9871 olarak belirlenmiştir.

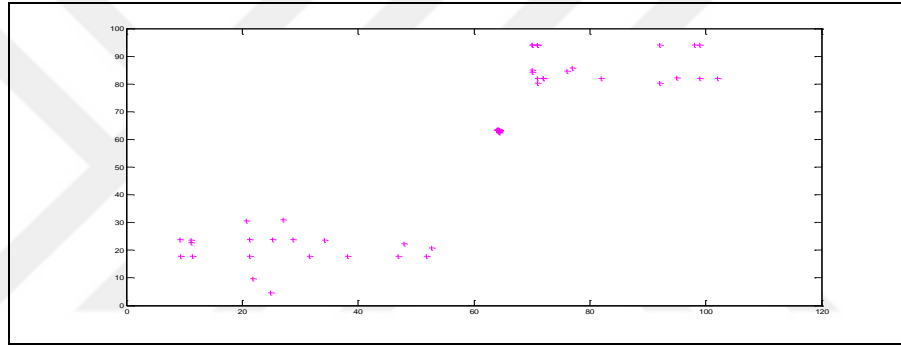


Şekil 4.4. Eğitim aşamasında yapay sinir ağı tahminlerinin gerçek ısı işlem verileriyle saçılım grafiği

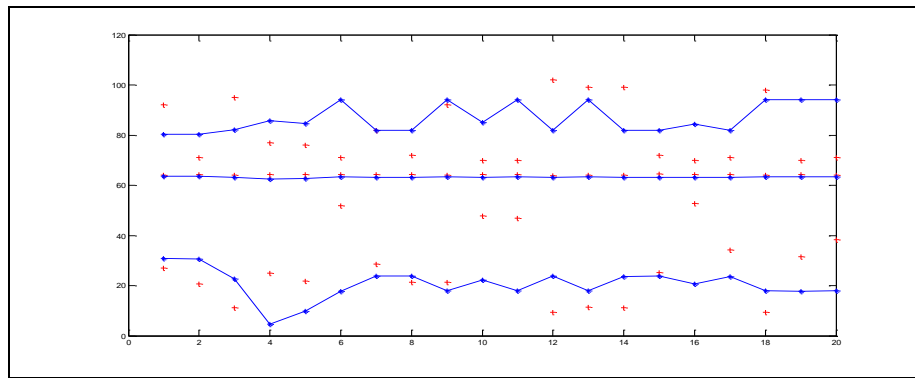


Şekil 4.5. Eğitim aşamasında yapay sinir ağı tahminlerinin gerçek ısı işlem verileriyle dağılım grafiği (mavi ile renklendirilen yuvarlak işaretler yapay sinir ağı çıkışlarını, kırmızı ile renklendirilen artı işaretler gerçek değerleri göstermektedir)

Yapay sinir ağında çizelge 4.1, çizelge 4.2, çizelge 4.3 ve çizelge 4.4’de bulunan giriş-çıkış verileri kullanılarak, yapay sinir ağı eğitildi ve işi öğrenmesi sağlandı. Yapay sinir ağlarına ısıl işlem verileri girilerek test edildiğinde, test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle saçılım grafiği şekil 4.6’da verilmiştir. Test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle dağılım grafiği şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.7’de demavi ile renklendirilen yuvarlak işaretler yapay sinir ağları çıkışlarını, kırmızı ile renklendirilen artı işaretler gerçek değerleri göstermektedir. İş öğrenen yapay sinir ağının test sırasında gerçek verilere yakın değerler çıkardığı gözlemlenmiştir. Test sırasındaki korelasyon katsayısı 0.8862 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle saçılım grafiği



Şekil 4.7. Test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle dağılım grafiği (mavi ile renklendirilen yuvarlak işaretler yapay sinir ağları çıkışlarını, kırmızı ile renklendirilen artı işaretler gerçek değerleri göstermektedir)

4.3.ACCC Silvassa İletkeni İçin Yapılan Rutin Testler

İletkenlerin henüz üretilmeye başlanmasıyla birlikte iletken testleri de başlar. İletkenler için, standartlardan faydalanılarak nominal değerlere testlerin nasıl yapılacağına dair bilgilere ulaşılır. Bunun sonucunda her iletken çeşiti için bir teknik şartname oluşturulur. ACCC Silvassa iletkeni için ASTM B 857/ B 609 veya EN 50540 standartlarına göre oluşturulan teknik şartname şekil 4.8’de verilmiştir. Çizelge 4.5’de rutin testlerde kullanılacak olan değerler verilmiştir.

Alüminyuma uygulanan ısı işlem sonucu standartları sağlayan teller ile üretilen ACCC Silvassa iletkeni için standartlardan faydalanılarak oluşturulan şartname ve bu şartnameye uygun olarak yapılmış üretimin kontrol testleri anlatılacaktır.

ACCC Silvassa iletkeni toplamda 20 adet trapez şeklindeki alüminyum telden meydana gelir. Birbirlerine ters yönlerde örülmüş, iki katmandan oluşan iletkenin üst katmanında 12, alt katmanında 8 adet trapez şeklinde alüminyum tel mevcuttur.

CODE NAME		ACCC® Silvassa	
STANDARD		ASTM B 857 / B 609 or EN 50540	
Mechanical Specifications			
Nominal Aluminum Cross-Sectional Area	mm ²		122,7
Nominal Diameter of Composite Core	mm		5,97
Nominal Cross-Sectional Area of Core	mm ²		28,0
Overall Diameter of Conductor	mm		14,35
Nominal Cross-Sectional Area of the Conductor	mm ²		150,7
Ultimate Tensile Strength of Conductor	kN		67,4
Rate Strength of Core - 313ksi (2158 MPa)	kN		60,4
Core Nominal Mass per Unit Length	kg/km		54
Conductor Nominal Mass per Unit Length	kg/km		393,3
Aluminum Nominal Mass per Unit Length	kg/km		339,9
Maximum Continuous Operating Temperature of Conductor	°C		180
Maximum Allowable Emergency Temperature of Conductor	°C		200
Coefficient of Linear Expansion Above Thermal Kneepoint	/°C		1,61E-06
Coefficient of Linear Expansion Below Thermal Kneepoint	/°C		1,64E-05
Final Modulus of Elasticity Above Thermal Kneepoint	Gpa		112,3
Final Modulus of Elasticity Below Thermal Kneepoint	GPa		68,1
Electrical Specifications			
Maximum Resistivity of Aluminum at 20°C, DC 63% IACS	Ω/km		0,2286
Temperature Coefficient of Resistance	/°C		0,00403
Frequency	Hz		50
AC Nominal Resistance at 25°C	Ω/km		0,2335
AC Nominal Resistance at 75°C	Ω/km		0,2795
AC Nominal Resistance at 180°C	Ω/km		0,3762
AC Current Rating at Given Temperature	@ 100°C & 50 Hz	Amperes	458
	@ 180°C & 50 Hz		673
GMR (estimated)	m		0,01
Inductive Reactance	Ω/km		0,245
Capacitive Reactance	MΩ-km		0,214
<small>ACCC® is produced with 1350 O-tempered aluminum ACCC® exhibit lay length (ratio) that conform to ASTM B 857 or EN 50540 Minimum tensile strength of annealed aluminum conform to ASTM B 609 and EN 50540 Conditions: 0,61 m/s (2 ft/s) wind, 0 m (0 ft) elevation, 0,5 emit., 0,5 absorp. 40°C ambient temp., 1033 W/m² (96 W/ft²) sun radiation</small>			

Şekil 4.8. ACCC Silvassa iletkeninin teknik şartnamesi

ACCC Silvassa İletkeni Teknik Özellikleri		
Alüminyum Kesit Alanı (Nominal)	mm ²	122,7
Kompozit Özün Kesit Alanı (Nominal)	mm ²	28
İletkenin Kesit Alanı (Nominal)	mm ²	150,7
Kompozit Özün Çapı (Nominal)	mm	5,97
İletkenin Çapı (Nominal)	mm	14,35
Alüminyum Birim Ağırlığı (Nominal)	kg/km	339,9
Kompozit Özün Birim Ağırlığı (Nominal)	kg/km	54
İletkenin Birim Ağırlığı (Nominal)	kg/km	393,3
İletkenin 20°C'daki Direnci (Maximum)	Ω/km	0,2286

Çizelge 4.5. ACCC Silvassa iletkeni teknik özellikleri

4.3.1. Kimyasal Analiz

Dökümde kullanılan külçelerin saflıklarının analizleri kimyasal analiz test cihazı, spektrometreyle yapılır.

Spektrometre, elektromanyetik spektrumun belirli bir bölümü üzerinde ışığın özelliklerini ölçerek spektroskopik analiz yöntemiyle materyalleri belirlemek için kullanılan bir araçtır. (Şekil 4.9) (Butler, L. R. P.; Laqua, K. (1995))

Metalik malzemelerin optik emisyon spektrometre cihazı ile kimyasal içeriklerinin belirlenmesi için bu test uygulanır. Bilinen tüm elementler elektrik akımına maruz bırakıldığında farklı özelliklerde ışımalar yapar. Bu ışımalar ise spektrometre cihazı ile analiz edilerek incelendiğinde her elementin kendine özgü spektrum çizgisinin olduğu görülür. Belirtilen bu özelliklere göre metalik malzemelerin içerisindeki elementler ve miktarlar belirlenir. (Şekil 4.10)



Şekil 4.9. Spektrometre test cihazı

Element	Birimler	1	2	AVG	SD	SD%
Al%	%	92.91946	86.15326	89.53636	4.784429	5.34
Si	%	0.30073	0.30077	0.30075	0.000033	0.01
Mg	%	0.00667	0.00652	0.00659	0.000103	1.56
Fe	%	6.66877	13.49242	10.05059	4.782621	47.59
Cu	%	0.00500	0.00519	0.00509	0.000132	2.59
Ti	%	0.01074	0.00822	0.00948	0.001782	18.79
B	%	0.00243	0.00307	0.00275	0.000456	16.60
Ni	%	0.00727	0.00959	0.00843	0.001640	19.45
Zn	%	0.00326	0.00306	0.00316	0.000139	4.41
Mn	%	0.01897	0.02456	0.02177	0.003954	18.16
Cr	%	0.00501	0.00589	0.00545	0.000628	11.52
Ga	%	0.01094	0.01220	0.01157	0.000892	7.71
Na	%	0.02950	0.02507	0.02728	0.003176	11.65
Pb	%	0.00010	0.00010	0.00010	0.000000	0.00
V	%	0.00923	0.00778	0.00851	0.001023	12.03
Zr	%	0.00324	0.00330	0.00327	0.000046	1.40

Şekil 4.10. Kimyasal analiz cihazında analizi yapılan bir alüminyum alaşım

4.3.2. Adım Yönü

Sağ el veya sol el olarak tarif edilen adım yönü. Sağ el adımında teller iletken düşey olarak tutulduğunda Z harfinin orta bölümünün yönüne uygun olur. Sol el adımında teller, iletken düşey tutulduğunda S harfinin orta bölümünün yönüne uygun olur. (TS EN 50182) Katmanların adım yönleri birbirlerine ters yönde olmalıdır. En üst katman sağ adım yönü ise onun altındaki katman sol adım yönünde olmalıdır. Şekil 4.11’de ACCC Silvassa iletkeninin üst katmanında kırmızı renkte çizilen iki adet paralel çizginin, telin örüm yönüne göre birleştirilmesiyle ‘Z’ harfinin ortaya çıktığı görülmüştür. EN 50182 standardında da belirtildiği gibi ‘Z’ harfi sağ adım yönünü göstermektedir.(Şekil 4.11) ACCC Silvassa iletkeninde üst katmanın hemen altındaki katmanın adım yönünün sol olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11. ACCC Silvassa iletkeni üst katmanının sağ adım yönünde örüldüğünün gösterilmesi

4.3.3. Adım Oranı

Adım oranı, örgülü iletkende adım uzunluğunun tellerin tabakasına karşılık gelen dış çapına oranıdır. (TS EN 50182) Adım oranı iletkenin ne kadar sık yada gevşek örüldüğünün bir göstergesidir ve standartlarda olması gereken değer aralıkları verilmiştir. Bulunan değer standartta verilen değer alt sınırına yakınsa bu iletkenin sık örüldüğü anlamına gelmektedir.

Örgülü iletkenlerde her katman için adım uzunluğu belirlenmelidir. Adım uzunluğu, bir telin bir tur atarak aynı eksen üzerine geldiği uzunluktur. Bu uzunluğun ölçümü sırasında test yapılan katmanın izi şekil 4.12’de görüldüğü gibi bir sayfaya çıkarılır. Test yapılan katmanda kaç adet tel varsa tel sayısı kadar iz işaretlenir. İşaretlenen bu aralık ölçülerek adım uzunluğu bulunur (Şekil 4.13).



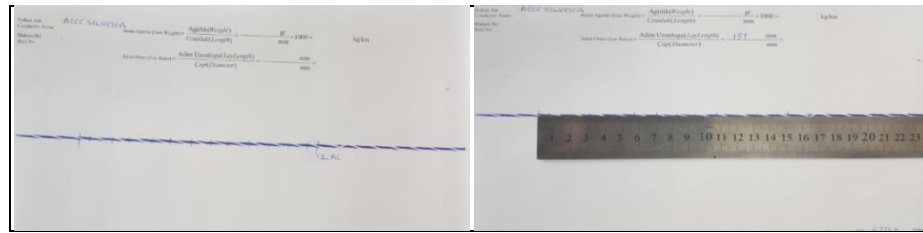
(a)

(b)

Şekil 4.12. Üst katmanda bulunan iletken tellerin izlerinin karbon kağıdı yardımıyla kağıda çıkarılması

a) İzin kağıda çıkması

b) Kağıda çıkmış izin görüntüsü



(a)

(b)

Şekil 4.13. Üst kat 12 telli katmanın adım uzunluğu testi

(a) İletkenin test yapılan en üst katmanında 12 adet tel mevcuttur bu yüzden adım uzunluğunu belirlemek için 12 tane iz işaretlenir

(b) İşaretler arası çelik cetvelle ölçülerek üst katmanda 12 telli tabakanın adım uzunluğunun 151 mm olduğu ölçülmüştür

Adım uzunluğu çelik cetvel kullanılarak ölçülür. Çelik cetvel, çabuk ve kolay ölçme yapmak için tasarlanmış uzunluk ölçüm cihazıdır. Tasarımı metreye benzer ancak 3metre veya 5metre gibi uzun değildir. Düz bir şerit üzerine rakamların yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Genelde yay çeliği gibi sert ve esnek malzemeden 15cm ile 100cm arasında imal edilmişlerdir.

Adım oranı, adım uzunluğunun iletkenin dış çapına bölünmesiyle bulunur. İletkenin dış çapı kumpas yardımıyla ölçülür (Şekil 4.14). Kumpas, uzunluk, derinlik, çap, iç çap, yükseklik gibi değerleri “mm” cinsinden hassas bir şekilde ölçen mekanik ölçüm cihazıdır.



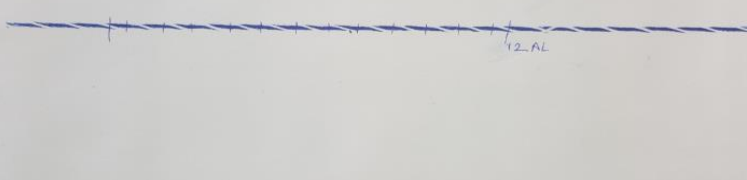
Şekil 4.14. Kumpas yardımıyla en üst katman 12 telli tabakanın iletken çapının ölçülmesi sonucu üst katmanın çapının 14.35 mm olduğu görülmüştür

Adım oranı adım uzunluğunun adım oranına bölünmesiyle hesaplanır. 12 telli tabakanın adım uzunluğu 151 mm, dış çapı 14.35 mm olarak ölçülmüştür. Adım uzunluğunun dış çapına bölünmesiyle dış katmanın adım oranı 10.52 olarak hesaplanmıştır(Şekil 4.15). BS EN 50540 standardına göre örgülü alüminyum iletkenin en dış katmanının adım oranı 10 ile 14 arasında, tüm iç katmanların adım oranı ise 10 ile 16 arasında olmalıdır. Bulunan değer standart içerisinde.

Birlik Adı: ACCC SILVASSA
Conductor Name
Marka No
İmalat No

Birim Ağırlık (Unit Weight) = $\frac{\text{Ağırlık (Weight)}}{\text{Uzunluk (Length)}} = \frac{g}{mm} \cdot 1000 = \text{kg/km}$

Adım Oranı (Lay Ratio) = $\frac{\text{Adım Uzunluğu (Lay Length)}}{\text{Çap (Diameter)}} = \frac{151 \text{ mm}}{14,35 \text{ mm}} = 10,52$



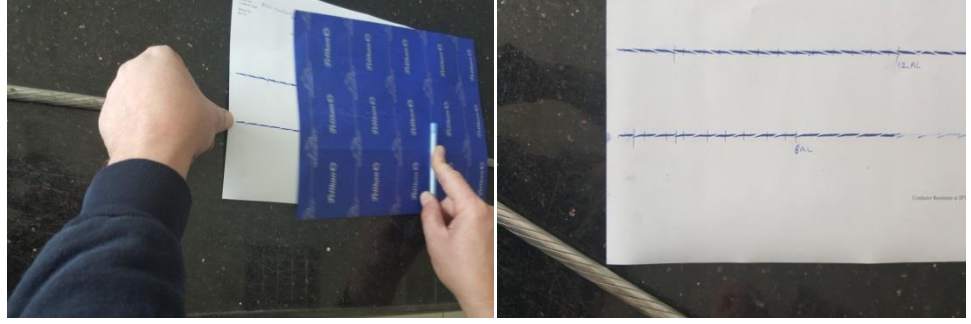
Şekil 4.15. Üst katmanın adım oranı, üst katman 12 telli tabakanın adım uzunluğunun, üst katman 12 telli tabakanın çapına bölünmesiyle 10.52 olarak hesaplanmıştır

Adım oranı testi tüm katmanlar için tekrarlanmalıdır. ACCC Silvassa iletkeni üst katman için adım uzunluğu ve çapı ölçülerek adım oranı hesaplandıktan sonra bir alt katmanda bulunan 8 telli tabakanın da adım oranı hesaplanmalıdır. En üst katmanda bulunan 12 tel soyularak 8 telli alüminyum iç katmanı çıkarılmalıdır. (Şekil 4.16)



Şekil 4.16. 12 telli üst katmanın soyulması

En üst katman için yapılan testler 8 telli alt katman için tekrarlanmalıdır. Alt katmanın izi karbon kağıdı yardımıyla kağıda çıkarılır ve alt katmanda 8 tel bulunduğu için 8 tane iz işaretlenir. (Şekil 4.17)



(a)

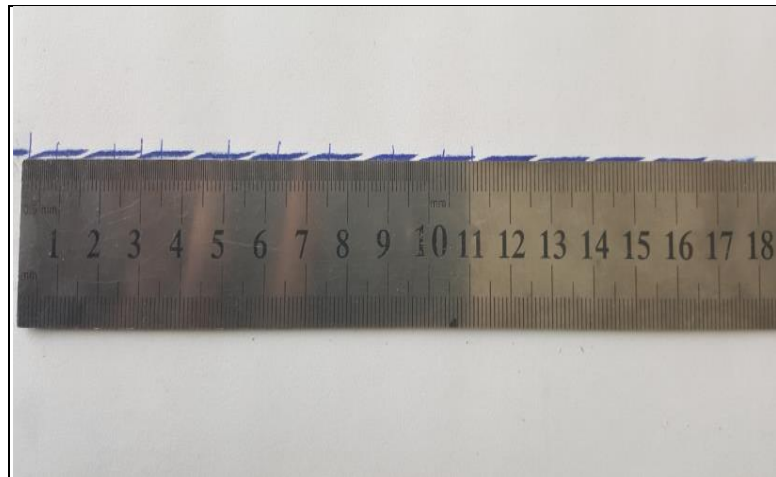
(b)

Şekil 4.17. Alt katmanda bulunan 8 telli katmanda bulunan tellerin izlerinin karbon kağıdı yardımıyla kağıda çıkarılması

a) İzin kağıda çıkması

b) Alt katmanda bulunan 8 telin işaretlenmesinin gösterilmesi

Alt katmanın karbon kağıdı yardımıyla kağıda çıkarılan ve işaretlenen 8 tane izin uzunluğu, çelik cetvelle 111 mm olarak ölçülmüştür. (Şekil 4.18) Alt katmanın çapı kumpas ile 10.16 mm olarak ölçülmüştür. (Şekil 4.19)

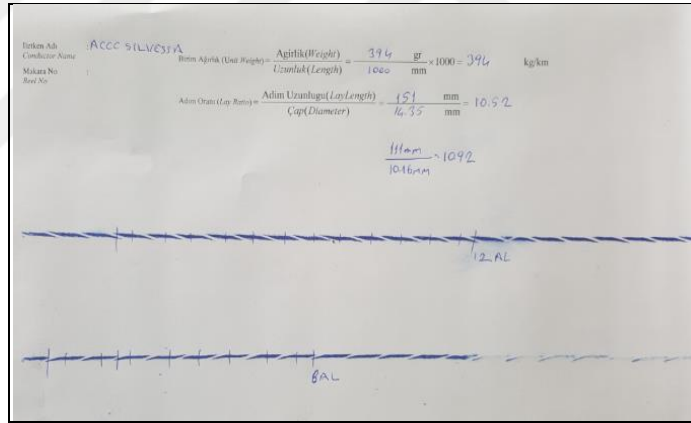


Şekil 4.18. Alt Kat 8 telli katmanın belirlenen adım uzunluğunun çelik cetvel yardımıyla 111 mm olarak ölçülmüştür



Şekil 4.19. Alt katman 8 telli tabakanın dış çapının ölçülmesi sonucu çap 10.16 mm olarak ölçülmüştür

Alt katman adım oranı, 111 mm olarak ölçülen adım uzunluğunun, 10.16 mm olarak ölçülen çapına bölünmesiyle 10.92 olarak hesaplanmıştır(Şekil 4.20). BS EN 50540 standardına göre alüminyum iç tabaların adım oranları 10 ile 16 arasında olması gerekmektedir ve bulunan sonuç standart içerisinde.



Şekil 4.20. Alt kat 8 telli tabakanın adım uzunluğunun çapına bölünmesiyle adım oranı 10.92 olarak hesaplanmıştır

4.3.4. Birim Uzunluk Başına Kütle

Birim ağırlık, iletken kütlesinin iletkenin uzunluğuna bölünmesiyle bulunur. Alınan numunenin ağırlığının terazide ölçülmesiyle ağırlıkgram biriminden, boyunun ölçülmesiyle uzunluk milimetre biriminden bulunur. Ağırlığın uzunluğa bölünmesiyle ‘gr/mm’ olan birim 1000 katsayısıyla çarpılması sonucu ‘kg/km’ birimine çevrilir.

İletkenlerin nominal birim ağırlıkları, cismin özgül ağırlığı ile kesitinin çarpılmasıyla hesaplanır. Örümden dolayı meydana gelen kütledeki artışın da bu sonuca eklenmesiyle nominal birim ağırlık hesaplanır.

1 m'lik iletken numunesinin birim uzunluk başına kütlesi, $\% \pm 1$ doğruluğu sağlama yeteneği olan bir teçhizat kullanılarak belirlenmelidir. Yağsız iletkenin her birim uzunluk için kütlesi, anma değerinden $\pm \% 2$ 'den daha fazla değişmemelidir(TS EN 50182).

ACCC Silvassa iletkeninden alınan 1 metre(1000mm) uzunluğundaki numunenin tartılması sonucu ağırlığı 394 gr olarak ölçülmüştür (Şekil 4.22). Ağırlığının uzunluğuna bölünmesiyle birim ağırlığı 394 kg/km olarak hesaplanmıştır.(Şekil 4.23) ACCC Silvassa iletkeninin nominal birim ağırlığı 393,3 kg/km olarak hesaplanmış ve teknik şartnamede bu sonuç belirtilmiştir. Birim ağırlığın $\pm \% 2$ 'den daha fazla değişmemesi gerektiğinden bulunan birim ağırlık en az 385,4 kg/km en fazla 401,2 kg/km olmalıdır. Hesaplanan birim ağırlık standarttaki sınırlar içerisinde.



Şekil 4.21. ACCC Silvassa iletkeninin 1 metre (1000mm) ölçülen iletken uzunluğunun gösterilmesi



Şekil 4.22. ACCC Silvassa iletkeninin 1 metresinin ağırlığı hassas terazi yardımıyla 394 gr olarak ölçülmüştür

İletken Adı Conductor Name	ACCC SILVASSA	Birim Ağırlık (Unit Weight)	$\frac{\text{Ağırlık (Weight)}}{\text{Uzunluk (Length)}} = \frac{394 \text{ gr}}{1000 \text{ mm}} \times 1000 = 394 \text{ kg/km}$
Mikata No			
Reel No			

Şekil 4.23. ACCC Silvassa iletkeninin birim ağırlığının hesaplanması sonucu 394 kg/km olduğu görülmüştür

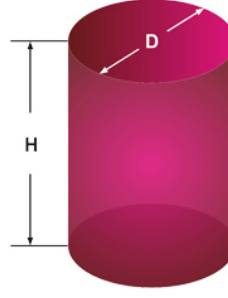
4.3.5. Alüminyum Tellerin Kesit Alanının Hesaplanması

Yuvarlak biçimli teller için mikrometreyle yapılan çap ölçümü kullanılarak geometrisi uygun formülle kesit alanı hesaplanır. İletkenlerde kullanılan tellerin çapı mikrometreyle ölçülür. Mikrometre, mühendislik alanında, yuvarlak cisimlerin çaplarını, düz cisimlerin de kalınlıklarını ortaya çıkarmada kullanılan bir ölçme aytıdır. Bir somun içinde hareket eden bir dişli milden oluşur. Dişler, büyük bir duyarlılıkla açılmıştır. Milin dönmesi sonucu, uç bölüm ilerigeri hareket ederek karşı çeneye yaklaşır uzaklaşır bu şekilde ölçüm yapılır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Yuvarlak şekilli tellerin çapının ölçülmesi

Yuvarlak tel silindir şeklindedir (Şekil 4.25). Silindirin kesit alanı formülünden faydalanılarak çapı ölçülen yuvarlak telin kesit alanı hesaplanmaktadır.



Şekil 4.25. Silindirin çap ve uzunluğunun gösterilmesi

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.1)$$

S iletkenin kesit alanını (mm^2), D iletkenin çapını (mm) ifade etmektedir.

ACCC iletkenlerde kullanılan tel trapez şeklinde olduğu için çapı mikrometreyle ölçülemez. Kesit alanı özkütlesinden faydalanılarak hesaplanır.

Bir cismin birim hacmindeki madde miktarına özkütle denir. Özkütle (yoğunluk) d ile gösterilir ve skalar bir büyüklüktür. Özkütle aynı zamanda maddeler için ayırt edici bir özelliktir. Sabit sıcaklık ve basınçta tüm maddelerin özkütleleri birbirinden farklıdır.

$$d = \frac{m}{V} \quad (3.2)$$

d iletkenin özkütlesini (gr/cm^3), m iletkenin kütlesini (gr) ve V iletkenin hacmini (cm^3) ifade etmektedir.

$$V = S \times L \quad (3.3)$$

V iletkenin hacmini (cm^3), S iletkenin kesit alanını (cm^2) ve L iletkenin boyunu (cm) ifade etmektedir. Şu halde;

$$S = \frac{m}{d \times L} \quad (3.4)$$

S iletkenin kesit alanını (cm^2), m iletkenin kütlesini (gr), L iletkenin boyunu (cm) ve d iletkenin özkütlesini (gr/cm^3) ifade etmektedir.

TS EN 60889 standardında yer alan sert çekilmiş alüminyum teller için verilen değerlerde Alüminyum telin 20°C'teki yoğunluk 2,703 gr/cm³ (kg/dm³) olarak verilmiştir.Hesaplama amaçlarında sert çekilmiş alüminyum tel için EN 60889 standardında verilen değerler kullanılmalıdır.(Şekil 4.26)

20 ⁰ C'teki öz direnç, en büyük:	28,264 nΩm (IACS [*] 'nin % 61'ine karşılık olan)
20 ⁰ C'teki yoğunluk:	2,703 kg/dm ³
Doğrusal genişleme katsayısı:	23 x 10 ⁻⁶ , her ⁰ C başına
20 ⁰ C'teki direncin sabit kütle sıcaklık katsayısı:	0,00403, her ⁰ C başına
[*] Uluslar arası tavllanmış bakır standartları.	

Şekil 4.26. Sert çekilmiş alüminyum tel için TS EN 60889 Standardında verilen değerler

Ölçüm değerleri formülde yerine koyularak trapez şeklindeki telin kesit alanı hesaplanır. 1 metre uzunluğundaki trapez şeklindeki telin ağırlığı 17 gr olarak ölçülmüştür(Şekil 4.28). Her tel için ayrı ayrı hesaplanan kesit alanı koparma ve iletkenlik testlerinde kullanılacaktır.



Şekil 4.27. ACCC Silvassa iletkeni trapez şeklindeki telin 1 metre uzunlukta kesilmesi



Şekil 4.28. 1 metre uzunluğundaki telin hassas teraziyle tartılması sonucu 17 gr geldiği görülmüştür

4.3.6. İletkenlik Testi

Alüminyum iletkenlerin, iletkenlikleri hesaplanırken direnç ölçer cihazından faydalanılır. Alüminyum iletkenlerde direnç değeri ölçülerek ve kesit alanları belirlenerek iletkenlik hesabı yapılır.

İletkenin 20°C'daki Ω/km olarak üç belirleme rakamına kadar anma d.a.(doğru akım) direnci, hesaplama amaçları için özdirenç değeri ile alüminyum kaplı çelik ve alüminyum tellerin anma çapına bağlıdır. (TS EN 50182)

İletkenlik hesabı yapılırken öncelikle iletkenin özdirenci hesaplanmalıdır. Özdirenç, birim uzunluk ve kesit alanına sahip bir iletkenin elektrik akımına karşı ne ölçüde direnç gösterdiğinin bir ölçüsüdür. Özdirenç iletkenin geometrik ölçülerinden bağımsız bir büyüklük olup, sadece iletkenin yapıldığı maddenin özellikleriyle ilgilidir.

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (3.5)$$

Bu denklemde E elektrik alan şiddeti, J elektrik akım yoğunluğu (yani birim kesit alan başına elektrik akımı) ve ρ da özdirençtir. Boyut saptama için şu ilişkiler yazılabilir:

$$E = \frac{V}{L} \quad (3.6)$$

Burada V iletkenin iki ucu arasındaki gerilim, L iletken uzunluğu ve E elektrik alan şiddetidir.

$$J = \frac{I}{S} \quad (3.7)$$

Burada J elektrik akım yoğunluğu, I akım şiddetive S de iletken kesit alanıdır.Şu halde;

$$\rho = \frac{(V/L)}{(I/S)} = \frac{V}{I} * \frac{S}{L} \quad (3.8)$$

V / I oranı direnç (R) olduğundan,

$$\rho = \frac{R \times S}{L} \quad (3.9)$$

ρ öz direnç birimi ohm-metredir ($\Omega \text{ m}$).

İletkenlik hesabı standartlarda verilen tavlanmış bakırın öz direncine göre hesaplanır. İletkenlik birimi standartlarda IACS olarak verilmiştir. IACS (International Annealed Copper Standard) uluslararası tavlanmış bakır standardının İngilizce yazıldığı baş harflerinin kısaltmasıdır. İletkenlik hesaplanırken standartta verilen verilerden faydalanılır. Tavlanmış bakırın öz direnci standartlarda 17,241 n.ohm.mt%100 IACS olarak kabul edilir (ASTM B609). 17,241 n.ohm.mt öz direnç değeri %100 IACS iletkenlik ise tellerin direnci ölçülerek hesaplanan öz direnç değerinin kaç% IACS olacağı orantı kurularak hesaplanır. İletkenlik ve öz direnç arasında ters orantı vardır.

ACCC Silvassa iletkeninin örüm sonu iletkenliğinin tutturulabilmesi için örüm öncesi kullanılan tellerin iletkenliklerinin standartlarda belirtilen minimum değer (%63 IACS) üzerinde olması gerekmektedir. ACCC Silvassa iletkeninde kullanılan tek telin direnci direnç ölçer cihazı yardımıyla ölçülmektedir (Şekil 4.29). Ölçülen direnç değeri kullanılarak iletkenlik hesabı yapılmalıdır. Kesit alanı bulunan, trapez şeklindeki alüminyumun tek telinin direncinin 4.335 m Ω geldiği görülmüş ve iletkenlik değeri %63.23 IACS olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.29. ACCC Silvassa iletkeninde kullanılan 1 metre uzunluğunda tek telin direnci 4,333 m Ω olarak ölçülmüştür

ACCC Silvassa iletkeninin komple iletkenliği ölçölürken, yaklaşık 2.5 metre uzunluğunda numune direnç ölçer tablasına yerleştirilir. Yan taraflarda bulunan kollar yardımıyla iletken gergiye alınır. Tabla üzerinde iletkenin 1 metrelik kısmına temas eden iki uç arasında direnç ölçölür(Şekil 4.30).



Şekil 4.30. ACCC Silvassa iletkenin direnç ölçer cihazına yerleştirilmesi

Ölçülen direnç değeri direnç ölçer cihazının ekranında görölmektedir(Şekil 4.31). ACCC Silvassa iletkeni için teknik şartnamede 20°C’da minimum %63 IACS iletkenlik için en yüksek direnç değeri 0,2286 Ω /km olarak hesaplanmıştır. İletkenin ölçülen değeri 0.2167 Ω /km olduğundan iletkenlik değeri standart içerisinde dir.



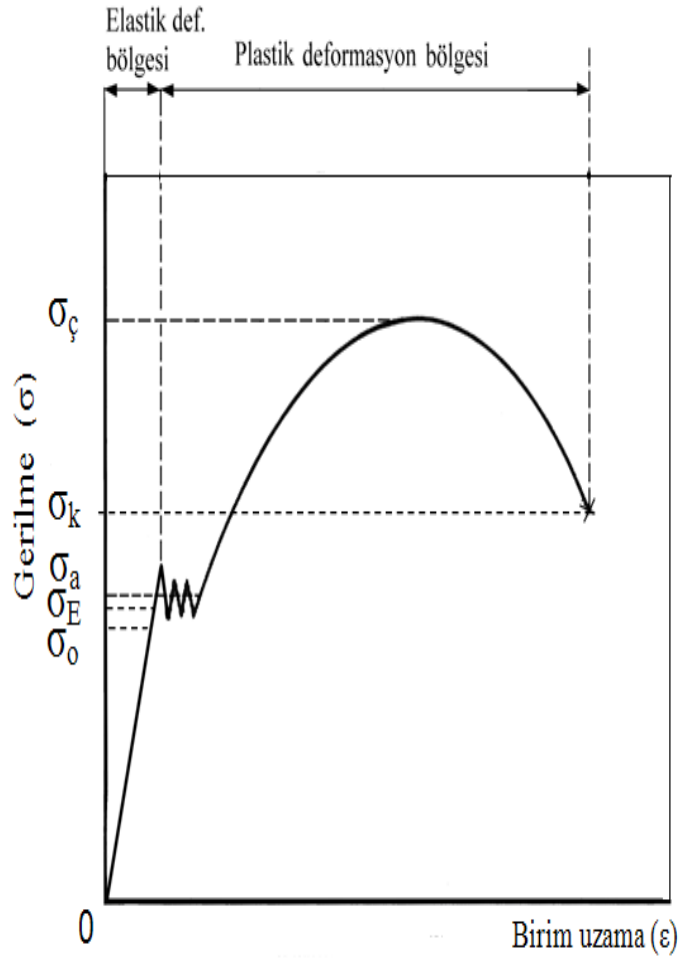
Şekil 4.31. ACCC Silvassa iletkenin ölçülen direnç değeri

4.3.7.Çekme Deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi, mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması ve malzeme seçimi amacıyla yapılır. Bu deneyde standart çekme numunelerinin mukavemet değerleri ölçölür. Elde edilen değerler karşılaştırılarak, malzemelerin mekanik özellikleri değerlendirilir. (Yıldızlı, 2011)

Homojen alüminyum veya alüminyum kaplı çelik iletkenin beyan çekme dayanımı, bütün tellerin en küçük çekme dayanımının toplamı olarak alınmalıdır. (TS EN 50182)

Çekme deneyi sonucunda, kuvvet (F)-uzama (Δl) eğrisi elde edilir. Ancak bu eğri ile birlikte kullanılan numunenin boyutlarını da vermek gerekir. Bu nedenle, bu eğriyerine daha evrensel olan gerilme σ -şekil değiştirme (ϵ) (birim uzama) eğrisi kullanılır. Gerilme birim alana etkiyen yük anlamına gelir. Gerilme-birim uzama eğrisine çekme diyagramı adı verilir. Şekil 4.32'denormalize edilmiş durumdaki az (düşük) karbonlu bir çeliğin gerilme-birim uzama eğrisiverilmiştir.(Yıldızlı, 2011)



Şekil 4.32. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı

Çekme deneyi sonucunda malzemenin orantı sınırı, elastiklik sınırı, akma sınırı ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması, kopma büzülmesi, tokluk ve süneklik değerleri belirlenir. Malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine

ve metalografik yapısına bağlı olan bu özellikler aşağıda açıklanmaktadır.(Yıldızlı, 2011)

➤ Orantı sınırı (σ_0);

Gerilme-birim uzama diyagramında Hooke yasasının, 3.10bağıntısının geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlayan gerilme değeridir. Bu bağıntıdaki orantı katsayısına (E) elastiklik modülü denir ve bu katsayı çekmediyagramının elastik kısmını oluşturan doğrunun eğimini gösterir. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, o malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o ölçüde büyük olur.(Yıldızlı, 2011)

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (3.10)$$

E elastiklik modülünü, ε birim uzamamayı ve σ gerilmeyi ifade etmektedir.

➤ Elastiklik sınırı (σ_E);

Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin meydana geldiği en yüksek gerilme değeridir. Genellikle, elastiklik sınırı orantı sınırına eşit kabul edilir.(Yıldızlı, 2011)

➤ Akma dayanımı (σ_a);

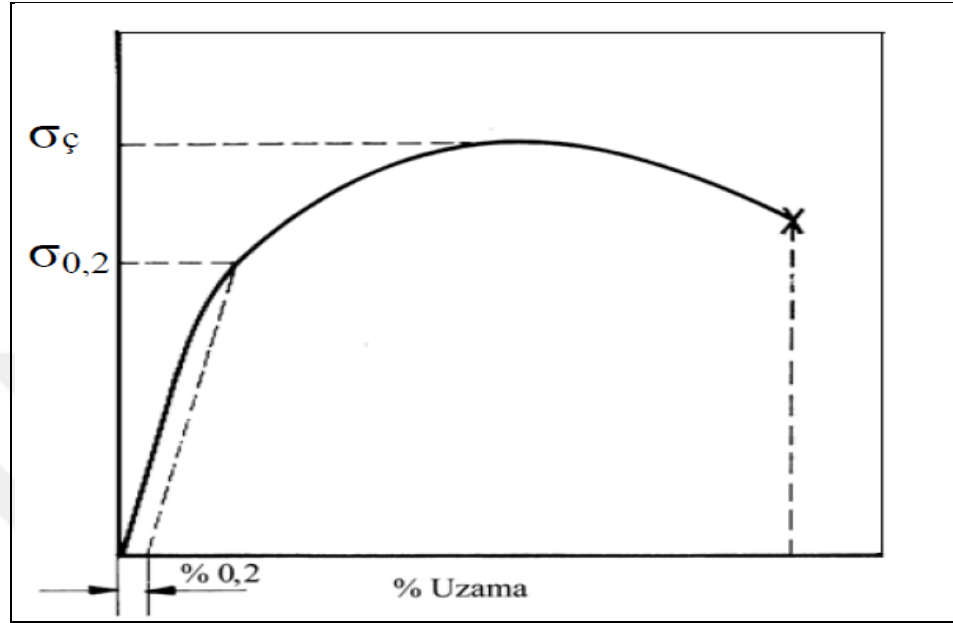
Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekmediyagramının düzgünsüzlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir. Bu değer akma kuvvetinin numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle bulunur.(Yıldızlı, 2011)

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_0} \quad (3.11)$$

σ_a akma dayanımı, F_a akma kuvvetini ve A_0 ilk kesit alanını ifade etmektedir.

Düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler, deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler. Malzemelerin belirgin akma göstermemesidurumunda, genelde %0,2'lik plastik uzamaya ($\varepsilon_{\text{plastik}} = 0,002$) karşı gelen

çekme gerilmesi akma sınırı veya akma dayanımı olarak alınır (Off-set kuralı). Şekil 4.33'de belirgin akma göstermeyen bir malzemenin çekme diyagramı ile bu malzemenin akma dayanımının nasıl belirlendiği görülmektedir. (Yıldızlı, 2011)



Şekil 4.33. Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram (Yıldızlı, 2011)

➤ Çekme dayanımı ($\sigma_{\ç}$);

Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, 3.12 de belirtilen formül ile bulunur. (Yıldızlı, 2011)

$$\sigma_{\ç} = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (3.12)$$

Burada F_{maks} malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti, A_0 ise malzemenin ilk kesit alanını ve $\sigma_{\ç}$ çekme dayanımını gösterir.

➤ Kopma dayanımı (σ_k);

Çekme deneyi esnasında, numune kesiti çekme kuvvetini artık karşılayamadığı anda kopma meydana gelir. Çekme diyagramı çiziminde kaydedilen bu son gerilme değerine, malzemenin kopma dayanımı adı verilir. (Yıldızlı, 2011)

➤ Kopma uzaması (KU);

Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boydameydana gelen uzama 3.13'deki bağıntı kullanılarak bulunur. (Yıldızlı, 2011)

$$\Delta l = l_k - l_0 \quad (3.13)$$

Burada Δl boyda meydana gelen uzama, l_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu, l_k ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir.

Kopma uzaması ise, 3.14'deki bağıntı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliliğini gösterir.(Yıldızlı, 2011)

$$KU(\%) = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad (3.14)$$

Burada $KU(\%)$ yüzde kopma uzamasını, Δl boyda meydana gelen uzamayı, l_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu gösterir.

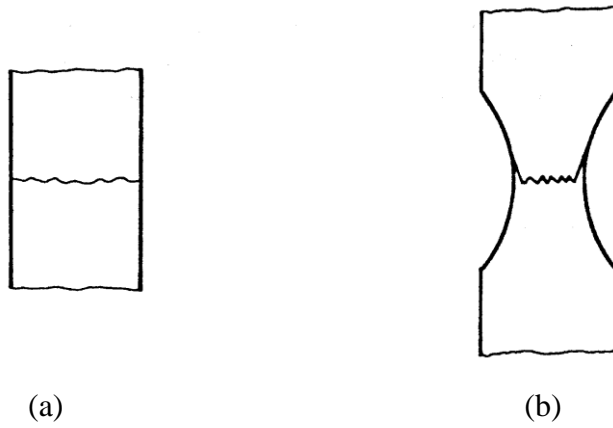
➤ Kopma büzülmesi (KB);

Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup, 3.15'de verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$KB(\%) = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100 \quad (3.15)$$

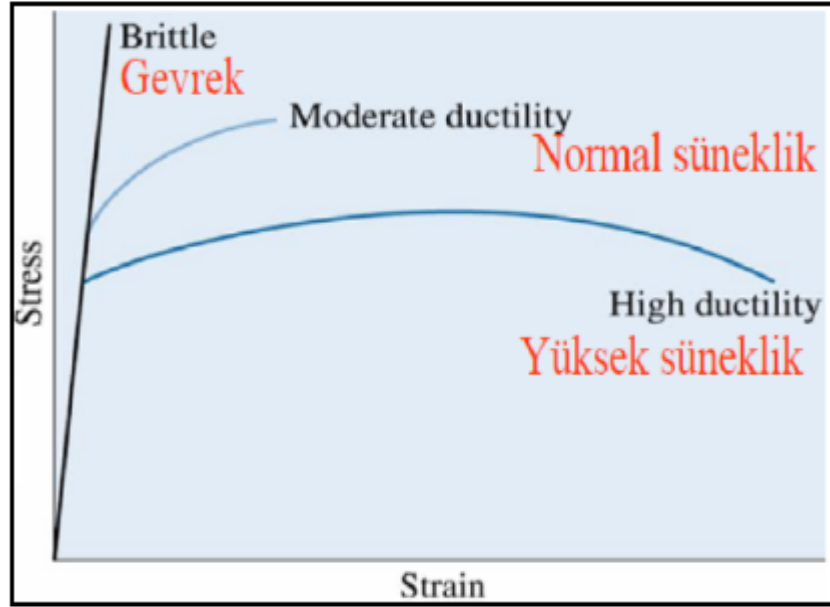
Burada A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, A_k ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını ve $KB(\%)$ kopma büzülmesini gösterir.

Kopma büzülmesi, kopma uzaması gibi sünekliliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. Şekil 4.34'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.(Yıldızlı, 2011)



Şekil 4.34. Gevrek ve sünek malzemenin kırılma şekilleri

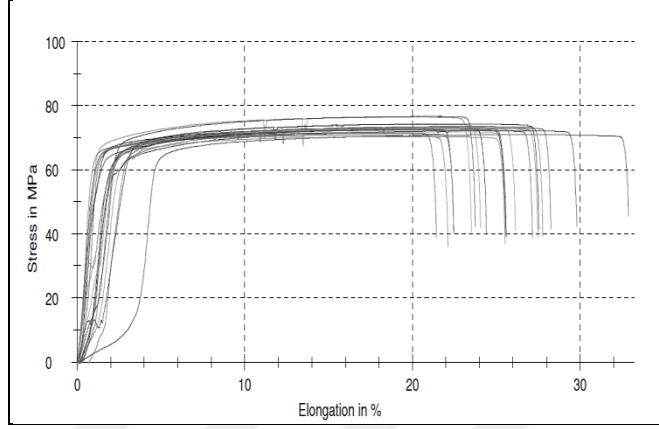
(a) Gevrek malzemenin kırılması (büzülme yok) (b) Sünek malzemenin kırılması (büzülme var)



Şekil 4.35. Gevrek ve sünek malzemelere ait çekme deneyi grafiği
(Yıldızlı, 2011)

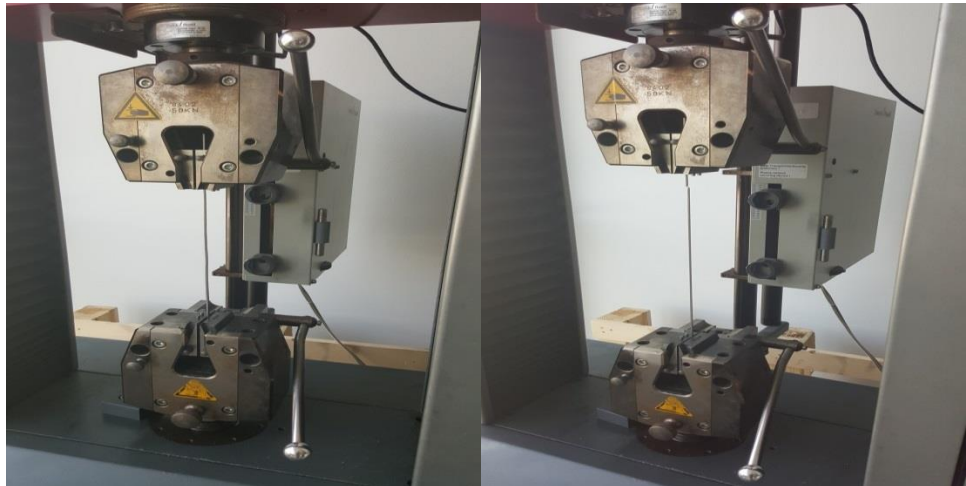
ACCC Silvassa iletkeni için üretilen alüminyum teller sünek malzemelerdir. Geleneksel ACSR iletkenlerde kullanılan alüminyum tellerde, standartlarda kopma uzaması için bir sınır belirtilmemiştir fakat ACCC iletkenlerde kullanılan alüminyum tellerin örüm sonundaki kopma uzamasının EN 50540 standardında belirtildiği üzere minimum %20 olması istenmektedir. ACCC Silvassa iletken tellerinin koparılması sonucu elde edilen gerilme uzama grafiği şekil 4.36'da verilmiştir. Şekil 4.35'de verilen

gevrek ve sünek malzemelerin gerilme uzama grafikleriyle karşılaştırıldığında Şekil 4.36'da verilen trapez Şeklindeki alüminyum malzemelerin yüksek sünekliliğe sahip olduğu grlmektedir.

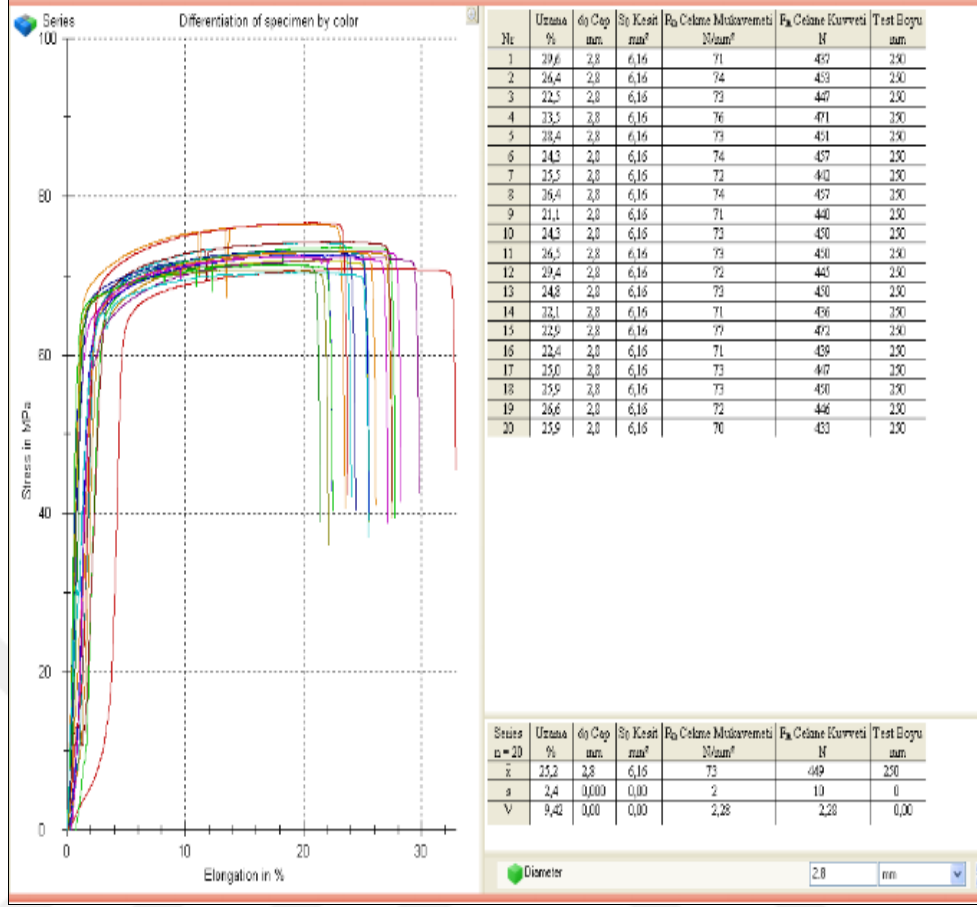


Şekil 4.36. ACCC Silvassa tellerinin Çekme cihazında koparılması sonucu gerilme uzama grafiği

ACCC Silvassa iletkeninde toplam alüminyum tel sayısı 20'dir. İletkende bulunan tüm teller, Şekil 4.37'deki gibi tek tek makineye yerleştirilerek kopma testi uygulanmalıdır. Tellerin koparılması sonucu makinenin bağlı olduğu bilgisayar ekranında gerilme-uzama grafiği ve yan tarafında değer tablosu yer almaktadır (Şekil 4.38).



Şekil 4.37. ACCC Silvassa telinin Çekme cihazıyla koparılması



Şekil 4.38. Alüminyum tellerin kopma sonucu ekran resmi

Trapez şeklindeki alüminyum tellerin kesit alanları hesaplanarak bu kesite uygun çap girilir. Teller için hesaplanan kesit alanlarına yani ilk kesit alanına göre koparma yapıldığında, koparma makinesinin alüminyum teli koparmak için uyguladığı kuvvetin ilk kesit alanına bölünmesiyle çekme mukavemeti hesaplanır. Çeneler arası 250 mm ayarlanarak yapılan testte, ilk boy 250 mm olarak belirlenir ve alüminyum telin kopması sonucu makinede okunan son boy kullanılarak kopma uzaması hesaplanır. Tüm teller için kopma uzamaları ve çekme mukavemetleri şekil 4.39’da gösterilmiştir. EN 50540 standardında, trapez şeklindeki alüminyum tellerin örümden sonraki uzama değerinin minimum %20, mukavemet değerinin ise 60-95 Mpa (N/mm^2) aralığında olması gerektiği belirtilmiştir. Trapez şeklindeki alüminyum tellere ısıl işlem uygulanması sonucu örüm öncesi standartlar içerisinde gelen teller ile üretilen ACCC Silvassa iletkeninden örüm sonu numune alınmasıyla yapılan mekanik testlerin standartlar içerisinde geldiği görülmüştür (Şekil 4.39).

Nr	Uzama %	d ₀ Cap mm	S ₀ Kesit mm ²	R _m Çekme Mukavemeti N/mm ²	F _m Çekme Kuvveti N	Test Boyu mm
1	29,6	2,8	6,16	71	437	250
2	26,4	2,8	6,16	74	453	250
3	22,5	2,8	6,16	73	447	250
4	23,5	2,8	6,16	76	471	250
5	28,4	2,8	6,16	73	451	250
6	24,3	2,8	6,16	74	457	250
7	25,5	2,8	6,16	72	442	250
8	26,4	2,8	6,16	74	457	250
9	21,1	2,8	6,16	71	440	250
10	24,3	2,8	6,16	73	450	250
11	26,5	2,8	6,16	73	450	250
12	29,4	2,8	6,16	72	445	250
13	24,8	2,8	6,16	73	450	250
14	22,1	2,8	6,16	71	436	250
15	22,9	2,8	6,16	77	472	250
16	22,4	2,8	6,16	71	439	250
17	25,0	2,8	6,16	73	447	250
18	25,9	2,8	6,16	73	450	250
19	26,6	2,8	6,16	72	446	250
20	25,9	2,8	6,16	70	433	250

Şekil 4.39. ACCC Silvassa tellerinin kopma sonuçları

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

ACCC Silvassa iletken tellerine uygulanan ısıtım işlem sonuçları değerlendirildiğinde,ısıtım işlem sonucunda alüminyum tellerin iletkenlik, uzama ve mukavemet değerleri standartlar içerisinde olsada ısıtım işlem sonucunda uzaması çok yüksek değerlere ulaşan teller kullanılarak üretilen ACCC Silvassa iletkeninden numune alınarak yapılan test sonuçlarının, örüm sonunda belirlenen standart değerlerin dışında geldiği görülmüştür.Bunun nedeni, uzama değeri yüksek olan trapez şeklindeki alüminyum tellerinörme makinelerinde örülmeyebaşladığında, makine frenlerininve tamburun oluşturduğu gergiden dolayıalüminyum tellerin uzamasıyla kesitlerinin azalmasıdır. Örüm sonunda tellerin kesitlerinde meydana gelenazalma sonucunda uzama değerinin yanı sıra birim ağırlık ve komple iletkenlik değerlerinin de standart dışında geldiği gözlemlenmiştir. Yapılan üretim sonuçları değerlendirildiğinde, örüm sonucunda standartta belirtilen değerlerin yakalanması için trapez şeklindeki alüminyum tellerin ısıtım işlem sonucunda en küçük uzama değerinin %20, en büyük uzama değerinin ise %50 olması gerektiği tespit edilmiştir.

Isıtım işlem sonucunda değerleri standartlar ve belirlenen uzama değeri arasında gelen trapez şeklindeki alüminyum teller seçilmiştir. Örme makinesine yerleştirilen tellerin örümden sonraki değerleriEN 50540 standardına göre, uzama değeriniminimum %20, iletkenlik değeri minimum %63 IACS, mukavemet değeri ise 60-95 Mpa (N/mm²) aralığında olmalıdır. Seçilen tellerle oluşturulan ACCC Silvassa iletkeninin rutin testleri yapıldığında örüm sonunda standart değerlerin yakalandığı yapılan testlerle gösterilmiştir.

Trapez şeklindeki alüminyum tellerin ısıtım işlem verileriyle,yapay sinir ağlarından faydalanılarakoptimizasyon yapılmıştır. Yapay sinir ağlarının eğitimi sırasında,elde edilen ısıtım işlem verilerigirilerek iş öğretilmiştir. Eğitim sırasında işi öğrenen yapay sinir ağlarına,testleri tamamlanan trapez şeklindeki alüminyum tellerin ısıtım işlem öncesi değerleri, kaç saat ve kaç derece ısıtım işlem uygulandığı verileri girildiğinde çıkan sonuçlarla gerçek değerlerin yakın olduğu görülmüştür. Yapay sinir ağlarından faydalanılarak yapılan optimizasyonla deneme üretimleri ve dolayısıyla maliyetler azaltılacaktır.

KAYNAKLAR

- Alawar, A. , Bosze, E.J. and Nutt, S.R. , 2005. A composite core conductor for low sag at high temperatures. **IEE Transactions on Power Delivery**, Vol. 20 , No 3,p.2193-2199
- Anonim, 2012. Alüminyum. <http://w3.gazi.edu.tr/~bayindir/D4.pdf>, Erişim tarihi:03.02.2016
- Anonim,2014.<http://muh.bartın.edu.tr/Files/i3ffxyepmy4nls4trcerphdvw201452816235i3ffxyepmy4nls4trcerphdvw201452816235.pdf> Erişim tarihi:08.02.2016
- Becenen, N., 2008.Traktör kaportalarında kullanılan plastik matrisli kompozit malzemelerin yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine bir araştırma, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **Doktora Tezi**, Tekirdağ
- Butler, L. R. P., Laqua, K. ,1995.Nomenclature, symbols, units and their usage in spectrochemical analysis-IX. **Instrumentation for the spectral dispersion and isolation of optical radiation (IUPAC Recommendations 1995)**
- CTC Global Corporation, 2011. Engineering transmission lines with high capacity low sag ACCC conductors, first edition, p.255, A.B.D
- Gedik, D. , 2008. Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sodyum dikromat ve sülfirik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, **Yüksek lisans tezi**, Çukurova Üniversitesi, 114 s,Adana
- Goel, A., Kamarudin, A., Pon, C., 2005.New High Temperature Low Sag Conductors, **NATD Conference & Expo May 2005**
- Greene E., 1998.Marine Composites, Annapolis, ABD
- Matthews, B., —Applied Stress Analysis Section XI-Composite Materials (Analysis)
- Mısıroğlu, M., 1996.Cam Elyaf Takviyenin Mekanik Özelliklere Etkisi, **Yüksek lisans tezi**, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- Ocak, E.M., 2016. Neden sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik azalır, <http://ww.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/neden-sicaklik-arttikca-elektriksel-iletkenlik-azalir>
- Rouchan, J., 1987.Materiaux composites pour d'aeronefs, Ecole Nationale Superieured'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques
- Savaşkan, T. , 2015.**Malzeme bilgisi ve muayenesi**, Palme kitap, 396s,Trabzon
- Sayman, O., Aksoy S., 1978.**Kompozit Malzemeler**, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Yayınları, 1-30, İzmir
- Serfiçeli, Y. S., 2002. **Metal İşleri Meslek Teknolojisi**, MEB Yayınları, İstanbul
- Şahin, Y. , 2006. **Kompozit malzemelere giriş**, Şaçkin Yayıncılık, 327 s
- Tanoğlu, M., Toğulga, M., 2005. Kompozit Malzemeler ve Jeotermal Uygulamalar, **Jeotermal Enerji Semineri**
- Türkmen, İ. , 2012. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi, **Yüksek lisans tezi**, Celal Bayar Üniversitesi, 121 s, Manisa
- Uluçay, Y., 1989.The Effect On Surface Treatment On The Bonding Properties Of Specrafibers For USA In Composites Structures, Maryland College ParkUniversity, USA

- Ülkü, S. ve Korkmaz, B., 1988.Farklı kompozisyonlardaki polyesterin mekanik özelliklerinin yapıya bağlı olarak deneysel ve teorik olarak incelenmesi, **Balıkesir Kongresi Bildiriler Kitabı**
- Üstünel, M. , Altın, M. ve Kızılgedik, M. , 2011. **Endüstriyel Elektrik**, MEB Yayinevi,Ankara
- Yazıcı, M., Ülkü S., 2003.İki Boyutlu Rasgele Dağılı E-Cam Lifi/Polyester Matris Kompozitlerde Yükleme Hızının Mukavemet Üzerine Etkisinin İncelenmesi, **Uludağ Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak. Dergisi**, Cilt 8, Sayı 1
- Yıldızlı, K. , 2011. Çekme/Eğme deney föyü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 11s, Samsun
- Zor, M., 2006. Kompozit malzemelerle ilgili genel bilgiler ders notu , Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir



ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Kadirli/OSMANİYE’de doğdum. İlköğretim, orta öğretim ve liseyi Kadirli’de okudum. 2008 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimime başladım. 2012 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden bölüm birincisi olarak Elektrik-Elektronik Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. 2012 yılında başladığım, Osmaniye’de bulunan EMTA KABLO fabrikasında 4 yıldır kalite kontrol biriminde çalışmaktayım. Mustafa Kemal Üniversitesi Enformatik Anabilim dalında başladığım yüksek lisansıma, 2016 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalına yatay geçiş yaparak devam ettim.

