

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ACCC LİSBON ALÜMİNYUM İLETKENİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİNİ
ETKİLEYEN PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI, GELİŞTİRİLMESİ VE
ACSR HAWK KONVANSİYONEL İLETKENİYLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necati OCAK

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Serdar ASLAN

Eylül 2020

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Necati OCAK

01.06.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Serdar Aslan’a teşekkürlerimi sunarım.

Kendisine ilham veren amaçlar oluşturması, inovatif fikirlere ve değişimlere karşı açık olması, inovasyonel işletme yapısına ve kurum kültürüne sahip olması, inovatif denemeler yapması, çalışanlarımızı yenilikçi ve yaratıcı olmaları konusunda cesaretlendirmesi ve teşvik etmesi gerektiği bilincinde olan ve Türkiye’de ilk uygulamasını yaptığı ACCC Lisbon iletkenini ilk defa üreten EMTA Kablo şirketine, EMTA Kablo Ar-Ge Merkezine ve kıymetli yöneticilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Büyük katkısı olan aileme ve çalışmalarım sırasında fikirleriyle desteğini esirgemeyen takım arkadaşım Ebru Kıstı’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışmanın Yöntemi.....	4
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZET.....	6
2.1. İletken Olarak Alüminyum.....	6
2.2. Havai Hat İletkenleri.....	8
2.2.1. Tam alüminyum iletken (AAC)	8
2.2.2. Alüminyum alaşımlı iletkenler (AAAC)	9
2.2.3. Çelik özlü alüminyum iletkenler (ACSR).....	10
2.2.4. Kompozit özlü alüminyum iletkenler	10
2.3. Havai Hat İletken Seçimlerinde Gözönünde Bulundurulması Gereken	

Kriterler	11
2.3.1. Isıya karşı dayanıklılık	11
2.3.2. Çap	12
2.3.3. Sehim (Fleş).....	12
2.3.4. Özgöl ağırlık	13
2.3.5. Koronaya karşı dayanıklılık.....	13
2.3.6. Mekanik dayanıklılık	13
2.3.7. İletkenlik	14
2.4. Alüminyum Kompozit Özlü İletkenlerin Avantajları.....	14
2.5. ACCC Lisbon ve ACSR Hawk iletkenlerinin karşılaştırılması	17
2.6. ACCC Lisbon İletkeninin İmalatı.....	18
2.6.1. Şekil değiştirme işlemleri.....	19
2.6.1.1. Plastik şekil değiştirme.....	19
2.6.2. Sürekli döküm ünitesi.....	20
2.6.2.1. Sıcak şekillendirme.....	20
2.6.3. Tel çekme ünitesi.....	21
2.6.3.1. Soğuk şekillendirme.....	21
2.6.4. Isıl işlem ünitesi.....	22
2.6.4.1. Tavlama.....	22
2.6.4.2. Toparlanma.....	22
2.6.4.3. Yeniden kristalleşme.....	24
2.6.4.4. Tane büyümesi.....	24
2.6.6. Örme ünitesi.....	26
2.7. ACCC İletkenler İçin Yapılan Mekanik Testler ve Avantajları.....	27
2.7.1. Yorulma testi.....	27
2.7.2. Bükme testi.....	28
2.7.3. Termal oksidasyon testi.....	31

2.7.4. Burulma testi.....	32
2.8. Havai Hatların Kurulumu.....	33
2.8.1. Havai hat iletkenlerin çekme işlem sırası.....	34
2.8.2. Havai hat çekilirken dikkat edilecek hususlar.....	36
2.9. ACCC İletkenlerin Kurulumu.....	37
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	40
3.1. Materyal.....	40
3.1.1. Alüminyum.....	40
3.1.2. Kompozit malzemeler.....	46
3.2. Metod.....	51
3.2.1. Kompozit özlü alüminyum iletkenlerin üretim aşamaları.....	51
3.2.1.1. Alüminyum sürekli döküm hattı.....	52
3.2.1.2. Tel çekme prosesi.....	60
3.2.1.3. Isıl işlem prosesi.....	66
3.2.1.4. Örme prosesi.....	67
3.3. Analizler.....	70
3.3.1. Alüminyum filmaşinde iletkenlik ve mukavemet değerlerinin bulunması.....	70
3.3.2. ACCC lisbon iletkeni için yapılan rutin testler.....	73
3.3.2.1. Kimyasal analiz.....	75
3.3.2.2. Adım yönü.....	76
3.3.2.3. Adım oranı.....	77
3.3.2.4. Birim uzunluk başına kütle.....	82
3.3.2.5. Alüminyum tellerin kesit alanının hesaplanması.....	83
3.3.2.6. İletkenlik testi.....	85

3.3.2.7. Çekme deneyi.....	88
----------------------------	----

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI.....	96
4.1. Araştırma Bulguları.....	96
4.2. ACCC Lisbon İletkeni Saha Performans Ölçümleri.....	106
4.2.1. Akım taşıma kapasitesi kıyası.....	109
4.2.2. Sehim kıyası.....	111

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ.....	113
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	121

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAAC	: Tam Alüminyum Alaşımlı İletkenler
AAC	: Tam Alüminyum İletkenler
ACSR	: Çelik Özlü Alüminyum İletkenler
ACCC	: Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler
IACS	: Uluslararası Tavlanmış Bakır Standardı
Al	: Alüminyum
A_k	: Kırılma Anındaki Kesit Alanı
A_0	: İlk Kesit Alanı
D	: Çap
d	: Özkütle
E	: Elektrik Alan Şiddeti
E	: Elastiklik Modülü
F	: Kuvvet
F_a	: Akma Kuvveti
F_{maks}	: Uygulanan En Yüksek Kuvvet
I	: Akım Şiddeti
J	: Elektrik Akım Yoğunluğu
KU	: Kopma Uzaması
KU(%)	: Yüzde Kopma Yüzdesi
KB	: Kopma Büzülmesi
L	: Boy
l_k	: Numunenin Kırılma Anındaki Boyu
l_0	: Numunenin İlk Ölçü Uzunluğu
m	: Kütle
R	: Direnç

S	: Kesit Alanı
V	: İki Uç Arasındaki Gerilim
V	: Hacim
Δl	: Uzama
σ	: Gerilme
ε	: Şekil Değişirme
σ_0	: Orantı Sınırı
σ_E	: Elastik Sınırı
σ_a	: Akma Dayanımı
$\sigma_{\checkmark}$	: Çekme Dayanımı
σ_k	: Kopma Dayanımı
ρ	: Özdirenç

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Alüminyum havai hat iletken çeşitleri.....	8
Şekil 2.2. Tam alüminyum iletkenler.....	9
Şekil 2.3. Tam alüminyum alaşımlı iletken.....	9
Şekil 2.4. Çelik özlü alüminyum iletken.....	10
Şekil 2.5. Kompozit özlü alüminyum iletken.....	11
Şekil 2.6. Tavsiye edilen termal sınırlar içerisinde çalıştırılan değişik iletken tiplerinin akım taşıma kapasiteleri.....	15
Şekil 2.7. Hydro One tarafından yapılan testlerde farklı iletken tipleri için sıcaklık sehim karşılaştırılmaları verilmiştir.....	17
Şekil 2.8. ACCC lisbon iletkeni imalat akış şeması.....	18
Şekil 2.9. Toparlanmış tanelerin yapısı.....	23
Şekil 2.10. Tane yapıları.....	24
Şekil 2.11. Tane büyüme hızı.....	25
Şekil 2.12. Sıcaklığın yeniden kristalleşme ile oluşan tanelerin büyüklüğüne etkisini gösteren eğri.....	25
Şekil 2.13. Soğuk şekil değiştirme ve ardından uygulanan tavlama işleminin malzemenin özelliklerin etkisi.....	26
Şekil 2.14. 100 bin kamçılama ve gerilme testinin sonucunda iletkenlerin son halleri.....	28
Şekil 2.15. Kasnak testi, 100 milyon titreşim, 100 bin kamçılama ve gerilme	

testi sonucunda yorulma kusuru veren alüminyum teller.....	28
Şekil 2.16. Bükme işlemi.....	29
Şekil 2.17. Bükme esnasında eksenler.....	29
Şekil 2.18. Bükme sonucu malzemede meydana gelen değişimler.....	30
Şekil 2.19. İletken 6 inç çapında, 90 derece açıyla 10 kez bükülmüştür.....	30
Şekil 2.20. İletken 6 inç çapında, 90 derece açıyla 10 kez büküldükten 2 dk sonra ilk noktalar	31
Şekil 2.21. Kompozit öz bir sene boyunca 220°C’de fırınlanmıştır	31
Şekil 2.22. Kompozit öz numunesinin bir yıl boyunca 220°C’de fırınlandığı, oksidasyon ~60 mikron derinliği geçmediği görülmüştür.....	32
Şekil 2.23. Kompozit öze uygulanan burulma deneyi sonucu 54 tur sonunda kopma olmamıştır.....	32
Şekil 2.24. Çelik öze uygulanan burulma deneyi sonucu çelik özün 4 tur sonraki görüntüsü.....	33
Şekil 2.25. Havai hat çekilmesi.....	34
Şekil 2.26. Tel çekme makaraları.....	35
Şekil 2.27. Trifor.....	35
Şekil 2.28. İletkenlerin izolatörlere bağlanması.....	36
Şekil 2.29. ACCC saha uygulaması iletken kurulumu	39
Şekil 3.1. Alümina eldesi.....	44
Şekil 3.2. Elyaf takviyesi ile plastik malzemenin çekme dayanımının artışı	49
Şekil 3.3. Farklı malzemelerin çeşitli özellikleriyle karşılaştırılması.....	49
Şekil 3.4. Kompozit özün yapısı.....	51
Şekil 3.5. Pultrüzyon işlemi	51

Şekil 3.6. %99,8 Saflıktaki alüminyum külçe.....	53
Şekil 3.7. Döküm prosesi ergitme fırınları.....	53
Şekil 3.8. Döküm prosesi dinlendirme fırınları.....	54
Şekil 3.9. Alüminyumdaki refakat elementlerinin iletkenlik üzerine etkileri.....	56
Şekil 3.10. Döküm prosesi bakır teker soğutma ünitesi ve alüminyum bara oluşumu.....	58
Şekil 3.11. Döküm prosesi haddeleme ünitesi.....	58
Şekil 3.12. Girdap akımı çalışma prensibi	59
Şekil 3.13. Döküm prosesi sepet ünitesi.....	60
Şekil 3.14. Sürekli döküm ve haddeleme makinası.....	60
Şekil 3.15. Tel çekme işlemi haddeden geçim işlemi, ao: tel çekme öncesi, a: tel çekme sonrası.....	61
Şekil 3.16. Tel çekme prosesi.....	62
Şekil 3.17. Geleneksel iletken tel haddeleri.....	63
Şekil 3.18. ACCC iletken tel haddeleri.....	63
Şekil 3.19. Tel çekme proses akış diyagramı.....	64
Şekil 3.20. Alüminyum filmaşine uygulanan ısıtma işlemi.....	66
Şekil 3.21. Alüminyum tellere uygulanan ısıtma işlemi.....	67
Şekil 3.22. Örme makinesi.....	68
Şekil 3.23. Örme makinesine eklenen örme kafası.....	69
Şekil 3.24. Örme prosesi akış diyagramı.....	69
Şekil 3.25. Spektrometre test cihazı.....	75
Şekil 3.26. Spektrometre cihazında analizi yapılan % 99,8 saf alüminyum.....	76

Şekil 3.27. ACCC Lisbon iletkeninin sağ adım örüm yönü gösterimi.....	76
Şekil 3.28. Üst katmanda bulunan iletken tellerin izlerinin karbon kağıdı yardımıyla kağıda çıkarılması.....	77
Şekil 3.29. Üst kat 10 telli katmanın adım uzunluğu testi.....	78
Şekil 3.30. Dış çap 21,96 mm olarak kumpas yardımıyla ölçülmüştür.....	78
Şekil 3.31. 10 telli üst katmanın adım uzunluğunun, 10 telli üst katmanın çapına bölünmesiyle 12.66 olarak adım oranı hesaplanmıştır.....	79
Şekil 3.32. 10 telli üst katmanın soyulması.....	79
Şekil 3.33 (a)'da alt katmanda bulunan 6 telli katmanda bulunan tellerin izlerinin karbon kağıdı yardımıyla kağıda çıkarılması, (b)'de ise alt katmanda bulunan 6 telin işaretlenmesinin gösterilmesi.....	80
Şekil 3.34. Alt kat 6 telli katmanın belirlenen adım uzunluğunun çelik cetvel yardımıyla 220 mm olarak ölçülmüştür.....	80
Şekil 3.35. Alt katman 6 telli tabakanın dış çapının ölçülmesi sonucu çap 14,38 mm olarak ölçülmüştür.....	81
Şekil 3.36. Alt kat 6 telli tabakanın adım uzunluğunun çapına bölünmesiyle adım oranı 15,30 olarak hesaplanmıştır.....	81
Şekil 3.37. ACCC Lisbon iletkenin 1331 milimetresinin ağırlığı hassas terazi yardımıyla 1263,5 gr olarak ölçülmüştür.....	82
Şekil 3.38. ACCC Lisbon iletkeninin birim ağırlığının hesaplanması sonucu 949,3 kg/km olduğu görülmüştür.....	82
Şekil 3.39. Yuvarlak şekilli tellerin çapının ölçülmesi.....	83
Şekil 3.40. Sert çekilmiş alüminyum tel için TS EN 60889 standardında verilen değerler	84
Şekil 3.41. 1 metre uzunluğundaki telin hassas teraziyle tartılması sonucu 17 gr geldiği görülmüştür.....	85

Şekil 3.42. ACCC Lisbon iletkeninde kullanılan tek telin direnci 1.3583 mΩ olarak ölçülmüştür.....	87
Şekil 3.43. ACCC Lisbon iletkenin direnç ölçer cihazına yerleştirilmesi.....	87
Şekil 3.44. ACCC Lisbon iletkenin ölçülen direnç değeri.....	88
Şekil 3.45. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı.....	89
Şekil 3.46. Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram.....	91
Şekil 3.47. Gevrek ve sünek malzemenin kırılma şekilleri.....	93
Şekil 3.48. Gevrek ve sünek malzemelere ait çekme deneyi grafiği.....	93
Şekil 3.49. ACCC Lisbon telinin çekme cihazıyla koparılması.....	94
Şekil 4.1. Mukavemeti 68, iletkenliği 63,01 olan filmaşından çekilen 16 adet alüminyum tele uygulanan ısı işlem ve sonuçları eğilimi.....	98
Şekil 4.2. Mukavemeti 68 iletkenliği 63,12 olan filmaşından çekilen 16 adet alüminyum tele uygulanan ısı işlem ve sonuçları eğilimi.....	100
Şekil 4.3. Mukavemeti 95 iletkenliği 62,82 olan filmaşından çekilen 16 adet alüminyum tele uygulanan ısı işlem ve sonuçları eğilimi.....	102
Şekil 4.4. Mukavemeti 93 iletkenliği 62,76 olan filmaşından çekilen 16 adet alüminyum tele uygulanan ısı işlem ve sonuçları eğilimi.....	104
Şekil 4.5. Mukavemeti 95 iletkenliği 62,94 olan filmaşından çekilen 16 adet alüminyum tele uygulanan ısı işlem ve sonuçları eğilimi.....	106
Şekil 4.6. ACCC Lisbon iletken kurulumu.....	107
Şekil 4.7. CCP veri giriş ekranı.....	110
Şekil 4.8. CCP program raporu.....	111
Şekil 4.9. 3 ve 4 nolu tellerin sehim farkı görüntüsü.....	112

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Kompozit öz ve çelik özün karşılaştırılması.....	2
Tablo 1.2. ACCC ve farklı tipte iletkenlerin kıyaslaması	3
Tablo 2.1. ACSR Hawk iletkeni ile aynı çapa sahip ACCC Lisbon iletkenin boyutlarının karşılaştırılması.....	17
Tablo 3.1. Örnek bir alüminyum külçe analizi.....	46
Tablo 3.2. EN 1715-2 standardında mekaniksel ve elektriksel değerler.....	71
Tablo 3.3. H11 filmaşinden O tipi filmaşin eldesi.....	72
Tablo 3.4. ACCC Lisbon iletkeni teknik özellikleri.....	74
Tablo 3.5. ACCC Lisbon tellerinin kopma sonuçları.....	95
Tablo 4.1. Mukavemeti 68, iletkenliği 63,01 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıt işlemleri ve sonuçları.....	97
Tablo 4.2. Mukavemeti 68 iletkenliği 63,12 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıt işlemleri ve sonuçları.....	99
Tablo 4.3. Mukavemeti 95 iletkenliği 62,82 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıt işlemleri ve sonuçları.....	101
Tablo 4.4. Mukavemeti 93 iletkenliği 62,76 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıt işlemleri ve sonuçları.....	103
Tablo 4.5. Mukavemeti 95 iletkenliği 62,94 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıt işlemleri ve sonuçları.....	105
Tablo 4.6. Ölçüm parametreleri.....	108
Tablo 4.7. Saha ve CCP program verileri kıyası.....	110
Tablo 4.8. Şekim değerleri.....	112

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler (ACCC), Geleneksel Alüminyum İletkenler, Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (ACSR), Akım Taşıma Kapasitesi, Enerji Nakil Hattı Sarkması

Elektriğin üretim istasyonlarından tüketim istasyonlarına iletimi havai hat iletkenleri vasıtasıyla yapılmaktadır. Enerji iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin seçimi çok önemlidir. Kullanılacak iletken tercihinde enerji kayıplarının asgari olması hedeflenir. Elektrik taleplerinin artmaya devam etmesinden ötürü mevcut veya önerilen iletim hatlarının kapasitesini ve verimliliğini artırmak daha da önem kazanmaya başlamıştır. Yüksek gerilim nakil hatlarında genelde geleneksel iletken olarak isimlendirilen çelik örgülü alüminyum iletkenler (ACSR) kullanılır. Bu iletkenlerde boyutlar artırılarak akım taşıma kapasitesinin artırılması hedeflenir. Dış teller, iyi iletkenliği, düşük ağırlığı ve düşük maliyeti nedeniyle seçilen yüksek saflıkta alüminyumdur. Merkez tel, iletkenin ağırlığını desteklemeye yardımcı olmak için ek taşıyıcı görevini yerine getiren çeliktir. Çelik, iletkene daha fazla mekanik gerilim uygulanmasına izin veren alüminyumdan daha yüksek mukavemete sahiptir. Çelik taşıyıcı görevi sağladığı için bu özelliğinden vazgeçmek zordur. Akım taşıma kapasitesi arttıkça, iletkenin ağırlığı da artar. Diğer önemli olumsuz etmen ise iletken hattın ömrünü kısaltan ve yüksek sıcaklıklarda sarkmaya sebep olan sehim olayıdır. Gelişen teknolojiyle birlikte artan enerji taleplerinin karşılanması için son yıllarda verim ve akım taşıma kapasitesi artışını birleştirerek aynı çap ve ağırlıkta geleneksel iletkenlere göre daha fazla gücün daha az sehimle daha az kayıpla iletilmesine olanak sağlayan Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler (ACCC) geliştirilmiştir. Bu çalışmada Türkiye’de imalatı ilk kez yapılan ACCC Lisbon Kompozit Özlü Alüminyum İletkeninin mukavemet, uzama, iletkenlik teknik özellikleri incelenerek iyileştirme çalışmaları anlatılmıştır. Saha uygulamaları kapsamında ise ACSR Hawk geleneksel iletkeni yerine ACCC Lisbon kompozit özlü alüminyum iletkeni ile kullanılması sonucu performans karşılaştırılması anlatılmıştır. ACSR Hawk iletkenli hattın mevcut direkleri değiştirilmeden yapılan ACCC Lisbon ile iletken yenileme projesinde akım taşıma kapasitesi yaklaşık olarak %15 arttırılmış, sehim değerleri ortalama 1.5 metre azaltılmıştır.

INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF PARAMETERS AFFECTING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF ACCC LISBON ALUMINUM CONDUCTOR AND COMPARISON WITH ACSR HAWK CONVENTIONAL CONDUCTOR

SUMMARY

Keywords: Aluminium conductor composite core (ACCC), Conventional Aluminium conductors, Aluminium conductor steel reinforced (ACSR), Casting, Wire drawing, Stranding, Heat treatment, Current carrying capacity, Overhead transmission line sagging

Conduction of electricity is carried out through overhead line conductors. The choice of conductors used in energy transmission lines is very important. It is aimed to minimize energy losses in overhead line conductors to be used. As electricity demands continue to increase, it has become more important to increase the capacity and efficiency of transmission lines. Aluminium Conductor Steel Reinforced (ACSR), commonly called traditional conductors, are used in high voltage transmission lines. It is aimed to increase the current carrying capacity by increasing the dimensions in these conductors. The outer strands are high-purity aluminium, chosen for its good conductivity, low weight and low cost. The center strand is steel for additional strength to help support the weight of the conductor. Steel is higher strength than aluminium which allows for increased mechanical tension to be applied on the conductor. It is difficult to give up this feature as steel provides the strength duty. As the current carrying capacity increases, the conductor's weight also increases. Another important negative factor is sag situation, This shortens the life of the conductor line and causes sagging at high temperatures. In order to meet the increasing energy demands with the advancing technology, Aluminium Conductor Composite Core (ACCC) have been developed in recent years, which combine the increase in efficiency and current carrying capacity, allowing more power to be transmitted with less loss with less sag compared to conventional conductors of the same diameter and weight. In this study, Produced first times in Turkey of ACCC Lisbon will be examined parameters affecting the mechanical and electrical properties (such as strength, elongation, conductivity) and improvement works will be explained. In field applications, performance comparison will be explained using ACCC Lisbon (Aluminium Conductor Composite Core) instead of ACSR Hawk conventional conductor in Inegöl TM-Inegöl DM energy transmission line. According to performance results; with the ACCC Lisbon, the current carrying capacity was increased by 15% in the conductor renewal project, Sag values were reduced by approximately 1.5 meter.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Türkiye’de enerji nakil hatlarında genellikle çelik özlü alüminyum iletkenler tercih edilir. Akım taşıma kapasitesini arttırmak için bu iletkenlerde genelde boyutlar arttırılır. Boyut artırıldığından dolayı iletken ağırlığının da artması iletken için olumsuz bir durumdur. Çelik öz taşıma vazifesi görmektedir ve bu özellikten taviz vermek zordur. Bir diğer önemli olumsuz etmen ise iletken hattın uzun süreli kullanımını kısaltan ve yüksek sıcaklıklarda sarkmaya sebep olan sehim durumudur.

Konvansiyonel iletkenlerin dezavantajlarını gidermek için gelişen teknolojiyle birlikte artan enerji taleplerinin karşılanması için son yıllarda verim ve akım taşıma kapasitesi artışını birleştirerek aynı çap ve ağırlıkta geleneksel iletkenlere göre daha fazla gücün daha az sehimle daha az kayıpla iletilmesine olanak sağlayan kompozit özlü alüminyum iletkenler geliştirilmiştir.

Konvansiyonel çelik özlü alüminyum iletkenlerde (ACSR) kullanılan çelik öz yerine Kompozit özlü alüminyum iletkenlerde (ACCC) yüksek dayanımı ve daha hafif olan kompozit öz kullanılmaktadır. ACCC iletkenler kompozit öz sayesinde konvansiyonel ACSR iletkenlere göre ortalama %40 daha mukavemetli, %70 daha hafif, 10 kat daha az termal uzama katsayısına sahiptir. İki farklı iletken tipinde kullanılan özlerin kıyası Tablo 1.1.’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Kompozit öz ve çelik özün karşılaştırılması [1]

Nitelikler	Çelik Öz	Kompozit Öz	Faydaları
Özkütle	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 rüzgâr 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	Fiberglass kaplı kompozit öz korozyona dayanıklı olduğu için korozif bölgeler için uygundur.

ACCC iletkende EN 1715 standardında 1350–O tipi daha yüksek iletkenlik özelliğine sahip en az %63 IACS'ye sahip trapez şekilli alüminyum teller kullanılır. Geleneksel iletkenlerde ise dairesel kesitli asgari değeri %61 IACS olan alüminyum teller kullanılır. İletkenliğin artırılması için ısıtıl işlem uygulanmalıdır. Isıtıl işlem kriterleri tellerin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bu kriterler uygun sıcaklık ve süredir. İstenilen özellikler için en uygun zaman ve sıcaklıkta alüminyum tellere ısıtıl işlem uygulanmalıdır.

ACCC tipindeki iletkenlerde geleneksel ACSR iletkenlere göre aynı çapta daha fazla alüminyum kullanılır. Nedeni ise trapez şeklindeki alüminyum teller düzgün bir şekilde kompozit öz etrafına sarılır. Teller arası boşluklar asgari seviyeye getirilir.

Aynı zamanda ACCC iletken tellerin trapez şekli sayesinde alüminyum teller arasındaki mekanik aşınma en aza inmektedir. Farklı tipte iletkenlerin ACCC iletkenlerle kıyaslaması Tablo 1.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 1.2. ACCC ve farklı tipte iletkenlerin kıyaslaması [1]

İletken Cinsi		Alüminyum Tipi	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	İletkenlik (%IACS)	Tip	Çekme Mukavemeti (N/mm2)	Termal Genleşme Katsayısı (x10 ⁻⁶ /°C)
ACCC	Kompzoit Özlü Alüminyum İletken	1350-O	≈59	63	Karbon Kompozit	2137-2482	1.6
ACIR	Nikel-Çelik Destekli Alüminyum İletken	Al-Zr alaşımı	159-179	60	Nikel Çelik	1034-1069	3.7
ACCR	Kompozit Destekli Alüminyum İletken	Al-Zr alaşımı	159-179	60	Metal Matris	1310	6
ACSR	Çelik Özlü Alüminyum İletken	1350-H19	165-193	61.2	Kaplanmış Çelik	1379-1517	11.5
AACSR	Çelik Özlü Alüminyum Alaşım İletken	6201-T81	317-331	52.5	Kaplanmış Çelik	1379-1517	11.5
ACSS	Çelik Öz Takviyeli, Alüminyum İletken	1350-O	≈59	63	Kaplanmış Çelik	1517-1965	11.5
AAC	Tam Alüminyum İletken	1350-H19	165-193	61.2	1350-H19	165-193	23
AAAC	Tam Alüminyum Alaşımlı İletken	6201-T81	317-331	52.5	6201-T81	317-331	23
ACAR	Alüminyum Alaşımlı Destekli Alüminyum İletken	1350-H19	165-193	61.2	6201-T81	317-331	23

ACCC iletkenlerin sahip olduğu yüksek mukavemet ve düşük sehim sayesinde kayıplar ve maliyetler azaltılır, kısa devre arızaları daha az olur. Bu iletkenlerin taşıma kapasitesi artırılır, hafif direk kullanımı ve direkler arası daha fazla açıklık mesafesi sağlanır. Aynı kesitteki geleneksel iletkenlere göre daha fazla alüminyum

kullanımı sayesinde; %25-%40 daha az emisyon salınımı ve daha az enerji kaybı sağlanır.

ACCC Lisbon tipi kompozit özlü alüminyum iletkeninin Türkiye'de ilk defa üretimini gerçekleştirmek, gelişimini sağlamak ve enerji verimliliğini arttıracak alternatifler üretmek bu çalışmanın öncelikleri arasındadır. Bu projede ürünün mekanik ve elektriksel özelliklerini iyileştirecek çalışmaların yapılması, saha uygulamaları kapsamında ACSR Hawk iletkeninin yerine kullanılacak olan ACCC lisbon iletkeni arasındaki akım taşıma kapasitesi ve sehim oranlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmadaki hedef kriterler EN 50540 standardında belirtildiği gibi iletkenliği minimum %63 IACS iletkenlik değerine ulaştırmak, minimum %20 uzama değerini ve 60-95 MPa mukavemet aralığını yakalamak olacaktır.

İlk önce sürekli döküm ünitesinde ergitilen alüminyum külçeler 9.5 mm alüminyum filmaşın haline getirilir. Akabinde tel çekim işlemi gerçekleştirilir. Sürekli alüminyum filmaşın üretim hattından gelen 9.5 mm çaplı alüminyum filmaşınlar tel çekme makinelerinde sürekli olarak ardışık tel çekme haddelerinden geçirilerek istenilen çapa getirilir. İstenilen çapa getirilen alüminyum tellerde istenen mukavemet, uzama ve iletkenlik için en uygun zaman ve sıcaklıkta ısıtılma işlemi gerçekleştirilir. Isıtılma işlemi görmüş standart içerisindeki bobinlere sarılmış alüminyum teller örme makinelerine gönderilmektedir. Merkezden kompozit kor geçirilir. Üst katmanları örmek için örme makinasına yüklenen bobinlerdeki teller makinada bulunan deliklerden geçirilmekte ve ürünün konstrüksiyonuna göre örülerek makaralara sarılmaktadır. Örme sonucu mukavemet, uzama ve iletkenlik testleri gerçekleştirilmiştir. İletkenlik için hedeflenen minimum %63 IACS değerine, mukavemet için 60-95 MPa değerine, minimum 20% uzamaya yönelik iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Saha uygulamaları kapsamında ise Türkiye'de ilk olarak

gerçekleşen ACCC Lisbon enerji nakil hattı projesinde alüminyum çelik özlü hawk iletkeni yerine alüminyum kompozit özlü lisbon iletkeninin yenilenmesi çalışması yapılmış ve sırasıyla akım taşıma kapasitesi ve sehim oranlarının analizleri karşılaştırılmıştır.



BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. İletken Olarak Alüminyum

Motorin, jeotermal, kömür, doğalgaz, fuel-oil gibi nükleer, termik ve hidrolik gibi farklı kaynaklardan yararlanılarak üretilen elektrik, yerleşim bölgelerine, sanayi bölgelerine, uzak alanlara iletilir, dağıtılır ve iletiildiği bölgelerde tüketilir. Elektrik iletimi ve dağıtımında kullanılan başlıca elemanlar genelde alüminyum iletken, yer altı güç ve yalıtılmış hava hattı kabloları ve diğer ekipman malzemeleridir [2].

Elverişli özellikleri nedeni ile yakın geçmişe kadar elektrik iletimi ve dağıtımında bakır ana iletken olarak kullanılmıştı. Bakır; elektrik geçirgenliği yüksek, mekanik ve işlenebilirlik özellikleri güçlü bir metaldir. Birçok ülkede, bakır yerine alüminyumun ve diğer ekipmanları için ana iletken olarak seçilmeye başlamıştır. Bunun birçok nedeni bulunmaktadır. Bakır alüminyum göre ağırdır, alüminyumun yoğunluğu, bakırın yoğunluğunun %30'u civarındadır. Özellikle, çelik kafes ya da ağaç direklerin yapılarının hafif bir konstrüksiyonda olması önemlidir. Çünkü; ağırlığı olan iletkenler, onları taşıması için ağır olan direk mekanizmalarına ihtiyaç duyar. Hatta, daha ağır olan bakır iletkenlere göre alüminyum iletkenlerin montajı daha basittir. Alüminyumun hafif olması, bakır iletkenlere nazaran birçok faydayı yanında getirmektedir [2].

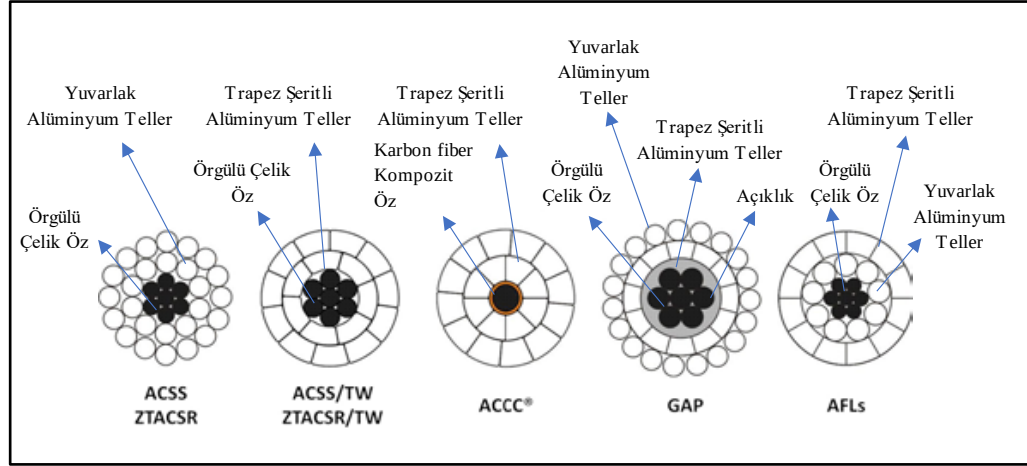
Cevher olarak dünyada yaklaşık %8 yer kaplayan alüminyum en çok bulunan metallere biridir. Bakır cevherlerinin günümüzde az ve sınırlı olmasından dolayı bakır fiyatları yüksektir. Alüminyumun ucuz olması, hafif olması ve diğer özelliklerinin vermiş olduğu faydaları nedeni ile alüminyum iletken fiyatları, bakır

kablo ve iletken fiyatlarının altındadır. Yeryüzünde, bol miktarda bulunması ve hafifliği gibi birçok yararından dolayı yüksek gerilim havai hatlarında alüminyum iletkenler tercih nedenidir [2].

Havai hatlarda enerji taşıma ve mekanik açıdan elverişli iletkenlerin tercih edilmesi gerekir. İletkenler, gergi ve askı bölgelerinde meydana gelen titreşimlerin sebep olduğu iletkenin kopmasını engellemek ve esnekliği sağlamak amacıyla spiral biçiminde örülür. Spiral biçimde örülmüş iletkenlerde katmanların yüzeyinde meydana gelen oksit, kir tabakaları nedeniyle akım, katmanlar arasından ziyade spiral olan örgü içinden akar. Damarların birbirlerini izleyen katmanlarda ters istikamette konsantrik olarak yapılmasının nedeni endüktans artışını azaltmak içindir [3,4].

İletkenin tipi seçilirken mekanik özellikleri de hesaba katılmalıdır. Mekanik özelliklerin direklere, izolatörlere etki etmesinden dolayı elektriksel özelliklerle dikkate alınmalıdır. Havai hat iletken tercihinde maliyet, enerji kaybı, korona kaybı, ısınma durumu, gerilim düşümü ve hatta buz yükleri de göz önünde bulundurulmalıdır [3,4].

Bazı kullanılan iletken tipleri Şekil 2.1.'de gösterilmiştir. Günümüzde en çok kullanılan alüminyum iletken çeşitleri AAC; tam alüminyum iletkenler, AAAC; tam alaşımlı alüminyum iletkenler, ACSR; çelik özlü alüminyum iletkenler'dir. AACC'de havai hat iletkenlere olan avantajından ötürü tercih edilen tiplerdendir.



Şekil 2.1. Alüminyum havai hat iletken çeşitleri [1]

2.2. Havai Hat İletkenleri

2.2.1. Tam alüminyum iletken (AAC)

Bu iletken sadece alüminyum tel içerir (Şekil 2.2.). Yuvarlak şekilli aynı özellikteki alüminyum tellerin birbiri üzerine örme makinalarında örülmesiyle oluşturulur. Minimum %99.7 saflıktaki alüminyum külçelerden imal edilmektedir. Bu iletkenler genelde direkleri kısa mesafeli olan iletim hatlarında ve yerleşim yerlerinde kullanılır. Ayrıca korozyon dirençlerinin yüksek olmasından ötürü denizcilik sektöründe de kullanılabilmektedir [5].



Şekil 2.2. Tam alüminyum iletkenler [5].

2.2.2. Alüminyum alaşımlı iletkenler (AAAC)

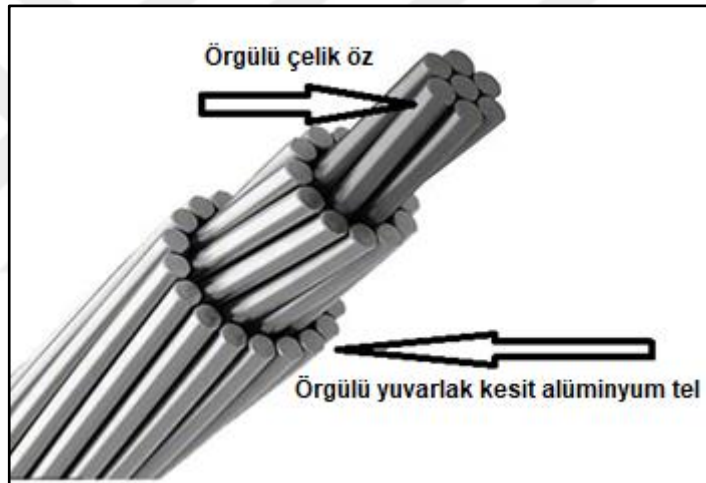
Bu iletken içeriğinde alaşım elementleri vardır (Şekil 2.3.). Bu iletkenin mekanik ve korozyon direnci oldukça yüksektir. AAC gibi tellerin birbiri üzerine örülmesiyle oluşur. Tam alüminyum alaşımlı iletkenler; AAC-ACSR iletkenlere göre korozyon direnci yüksektir. Mekanik dirençleri daha iyidir. Bundan ötürü iletim ve dağıtım hatlarında kullanılmaktadır [5].



Şekil 2.3. Tam alüminyum alaşımlı iletken [5].

2.2.3. Çelik özlü alüminyum iletkenler (ACSR)

Bu iletken örgülü ya da tek tel çelik öz üzerine alüminyum tel sarılarak oluşur (Şekil 2.4.). Çeliğin vazifesi mukavemeti sağlamaktır. Hat ise binen yükü taşır. Yüksek gerilim havai hatları için tercih edilir. İletken içerisinde ağırlıkça ve hacimce %40-%60 oranlarında değişen çelik öz üzerine sarılı alüminyum teller ile yüksek gerilme ve çekme özelliklerine uygundur. ACSR iletkenler genelde direk mesafeleri uzun enerji nakil hatlarında ve nehir geçişlerinde kullanılmaktadır Daha yüksek korona limiti olan kalın kesitli çelik özlü iletkenler, yüksek ve orta gerilim iletim hatlarında büyük avantaj sağlamaktadır [5].

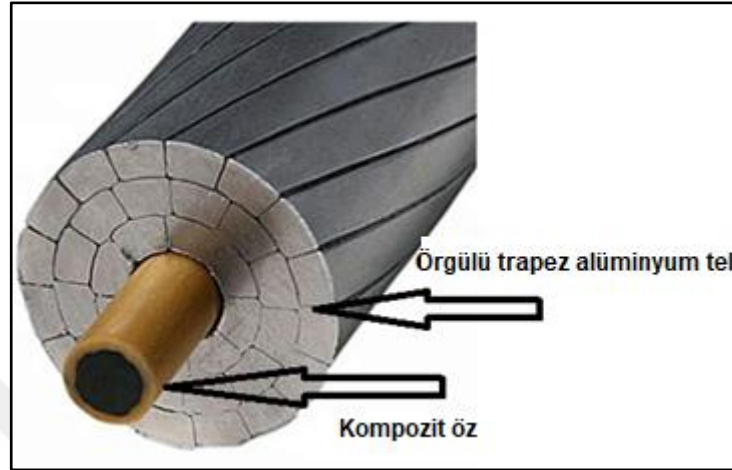


Şekil 2.4. Çelik özlü alüminyum iletken [5].

2.2.4. Kompozit özlü alüminyum iletkenler (ACCC)

Bu iletkenlerde çelik öz yerine kompozit öz kullanılır. Kompozit öz etrafına sarılan alüminyum teller ise trapez şeklindedir (Şekil 2.5.). Konvansiyonel iletkenlere göre düşük sehim performansı ve daha yüksek mukavemet özelliği gösterir. Uzun teknolojisinde kullanılan hibrit karbon fiber kompozit gibi, ACCC iletken yüksek mukavemeti ve hafifliğiyle bugünün iletim şebekelerine uyarlanmasıyla devrim olmuştur. ACCC iletken fiber kılıf ile korunmuş karbon öz üzerinde trapez alüminyum katmanlardan oluşmaktadır. ACCC iletken kompozit özle daha az sehim

performansı ve yüksek dayanıklılık sağlanır, daha fazla alüminyum kullanımıyla akım taşıma kapasitesi artırılır ve daha fazla akım iletilir [5].



Şekil 2.5. Kompozit özlü alüminyum iletken [5].

2.3. Havai Hat İletken Seçimlerinde Göz Önünde Bulundurulması Gereken Kriterler

Elektriğin üretim noktalarından tüketim noktalarına iletimi iletkenler vasıtasıyla yapılır. Enerji nakil hatlarında kullanılan iletkenlerin vazifelerini tam anlamıyla yapmaları için bazı kriterlere haiz olması gerekir. İletkenlerin kriterleri bilinirse hattın özelliğine ve gerilimin büyüklüğüne göre iletken tercihi kolaylaşır [3,4].

Bu duruma göre iletkenlerin tercih edilmesinde önem arz eden kriterler aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1. Isıya karşı dayanıklılık

Enerji nakil hatlarında merkezinde çelik kullanılan alüminyum iletkenler çok tercih edilir. Bir iletkenin akım geçince ısınmaktadır. İletken yaz aylarında da havanın sıcak olmasından ötürü de ısınır. Isı artmasıyla birlikte iletken boyu uzamaktadır ve sarkma meydana gelir. Isı artması sonucu iletkenin oluşacak sarkma, sehim

hesaplamalarında göz önünde bulundurulmalıdır. Hava sıcaklığı fazla ve rüzgâr olmadığı zaman iletkende uzama fazla olur. Bu nedenle iletkenlerde sıcaklıkla orantılı uzama katsayısının önceden bilinmesinde yarar vardır [3,4].

2.3.2. Çap

Yüksek gerilim enerji nakil hatlarında özünde çelik kullanılan alüminyum veya alüminyum örgülü iletkenler tercih edilir. Bakır iletkenlere nazaran alüminyum iletkenler daha az iletkenidir. Bundan ötürü alüminyum iletkenlerin çapları daha büyüktür. İletkenlerin tercih edilmesinde iletken çapı üzerinde rüzgâr ve buz yükünün etkili olduğu unutulmamalıdır. Bu durum göz önünde bulundurulmalıdır [3,4].

2.3.3. Sehim

Havai hatlarda direkler arasına çekilen bir iletken, ağırlığı sebebi ile sarkmaktadır. İletkenin en çok sarktığı yer ile iletkenlerin uçlarının bağlandığı izolâtörler arasındaki var sayılan doğru bir çizgi arasındaki uzaklığa sehim denir. İletim hatlarında kullanılan iletkenler ağırlığı, hat çekimi kuvveti, iklim şartları, direkler arası uzaklık, buz yükü ve rüzgâr yükü dikkate alınarak çekilir. Sehim, direklerin geçtiği bölgenin iklim şartları ve arazi tipine göre formüllerden veya hazırlanmış cetveller üzerinden hesap edilirler [3,4].

İki tarafta bulunan direklerin yükseklikleri aynı ise en büyük sehim, iki direk arasının tam ortası olarak kabul edilir. Farklı yükseklikteki iki direk arasındaki en büyük sehim kısa olan direğe yakın taraftır [3,4].

2.3.4. Özgöl ağırlık

Enerji nakil hatlarındaki durdurucu direğe gelen çekme kuvvetinin az olması için iletken özgöl ağırlıkları az olması gerekir. Özgöl ağırlık, iletkenin mekanik açıdan zorlanmasına etkisi büyüktür. Bu nedenle özgöl ağırlığı küçük olan iletken avantaj sağlar. Küçük olan özgöl ağırlıkla birlikte hat ekipmanları ve direklerde optimum ekonomi de sağlanır [3,4].

2.3.5. Enerji nakil hatlarında korona olayına karşı dayanıklılık

Gerilime bağlı olarak iletken etrafında mor renkte ışık demetleri görülür. Eğer iletken yüzeyinde zedelenme varsa ve iletken etrafındaki bu ışık demetleri birbirine temas ederse iletkenlerin yüzeyinde delinmeler meydana gelir. Bu durum iletkenlerin yüzeylerinin iyonize biçimde aşınmasına neden olur. Korona olayının olumsuz olan bu etkisine karşı iletkenlerin yüzeylerinin düzgün ve mukavetli olmasına önem arz edilmelidir [3,4].

2.3.6. Mekanik dayanıklılık

Havai hatta kullanılan iletkenlerin mekanik mukavemetlerinin önceden bilinmesi önemlidir. İletkenler dış şartların etkisine maruz kalırlar. İletkenler buz, kar, rüzgâr, soğuk ve sıcak havanın etkisindeki olumsuz koşullara dayanıklı olmalıdır. ACSR iletkenlerin mekanik olarak sağlamlığı örülü alüminyum tellerin özünde bulunan galvanizli çelik teller vasıtasıyla sağlanmaktadır. İletkenin mekanik sağlamlığı az olursa dış şartların etkisiyle kopabilirler. Kopan iletkenin başka bir hattın üzerine düşme ihtimali de vardır. Bu durumların engellenmesi için yüksek kopma mukavemetinin olması gerekir [3,4].

2.3.7. İletkenlik

Enerji nakil hatlarında bakır iletkenler veya alüminyumdan yapılan iletkenler tercih edilir. İletkenlik, metale göre değişiklik gösterir. Gümüş iyi iletkenidir, ancak pahalıdır. Bakır elektriği alüminyuma göre daha iyi iletir ama pahalı ve ağır olmasından dolayı tercih edilmez. Çelik tel ile birlikte alüminyum alaşımlı iletken veya alüminyum iletkenler en çok tercih edilenidir. Alüminyum tel ile çelik tel arasında hiçbir kimyevi bağın olamamasından dolayı çelik özlü alüminyum teller kullanışlıdır. Çelik tel sadece mukavemet açısından önemlidir. İletkenlik vazifesini alüminyum tel gerçekleştirir [3,4].

2.4. Alüminyum Kompozit Özlü İletkenlerin Avantajları (ACCC)

ACCC İletkenler yüksek mukavemeti sayesinde direkler arası açıklık mesafesinin artmasına, daha az ve kısa alt yapı kullanılmasına ve başlangıç yatırım maliyetinin ve çevre etkisinin azalmasına sebep olur. Kompozit özün hafifliği ve hava boşluğu içermeyen trapezoidal yapısı enerji kayıplarının azalmasına neden olan yakın çap ve ağırlıkta daha fazla alüminyum ihtiva edilmesine olanak sağlar. Enerji kayıplarının azalması yakıt tüketimi ve emisyon azaltımının yanında üretim kapasitesinin artmasına olanak sağlar. Konvansiyonel iletkenlerden olan ACSR'nin çalışma sıcaklığı 60°C-80°C arasındadır. ACCC iletkenlerin çalışma sıcaklıkları 180°C - 200°C arasında değişmektedir. ACCC iletken yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi sayesinde geleneksel çelik özlü iletkenlere göre yaklaşık iki katı akım taşıma kapasitesine sahiptir. Bu özellik mevcut direk ve yapıları kullanarak hatların kapasitelerinin artırılması için ACCC'yi ideal kılmaktadır [5].

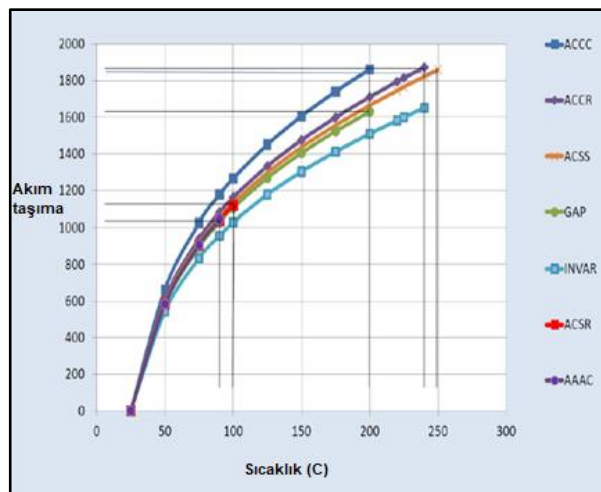
Kompozit özlü alüminyum iletkenler, konvansiyonel çelik özlü alüminyum iletkenlere ile karşılaştırılmış ve dezavantajlarını ortadan kaldırmak için birkaç temel performansı iyileştirilerek geliştirilmiştir. ACCC dizaynında ana amaç, geleneksel iletkenlerde bulunan çelik öz yerine daha sağlam bir kompozit öz kullanarak, akım taşımayı artırmak ve yüksek sıcaklık koşullarında sarkmayı azaltmaktır. Bu amaca ulaşmak için, karbon kompozit öz çelik öz yerine kullanılmıştır. Çelik öze göre

kompozit öz daha düşük termal genleşme katsayısı ve yoğunluk gibi birçok yararı bulunmaktadır. Kompozit öz konvansiyonel çelik özlü iletkenlerdeki öz gibi örgülü çelik telden değil, tek bir katmandan meydana gelir. Bu durum, merkez telin daha küçük çap ve iletkenin daha büyük kesit alanına sahip olmasını sağlamaktadır. Artan kesit alanıyla birlikte iletken daha büyük yüklenmeler yapılabilir [6].

Tavsiye edilen termal sınırlar içerisinde çalıştırılan değişik iletken tiplerinin akım taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması Şekil 2.6.'da gösterilmiştir. ACCC iletkenin 200°C'deki acil durum sıcaklığında taşıdığı akımın, 250°C'de çalışan diğer iletkenlerden daha fazla olduğu görülmüştür [7].

Hafif karbon kompozit öz ortalama %28 daha fazla alüminyum kullanılmasına izin vererek enerji kayıplarının aynı çap ve ağırlıkta geleneksel iletkenlere göre %25 ile %40 arasında azalmasına sebep olarak sistem verimliliğini ve şebeke güvenilirliğini artırır [7].

Kompozit özlü alüminyum iletkenlerde EN 1715-2 standardında belirtilen 1350-O tipi, asgari %63 IACS yüksek iletkenliğe sahip alüminyum filmaşın kullanılmasıyla artan iletkenlik ve aynı çapta iletken ağırlığında artış olmadan daha fazla alüminyum kullanılmasından dolayı, ACCC iletkenler geleneksel iletkenlere göre daha verimli çalışırlar [7].



Şekil 2.6. Tavsiye edilen termal sınırlar içerisinde çalıştırılan farklı iletken tiplerinin akım taşıma kapasiteleri [7]

Kompozit özlü alüminyum iletkenler özün etrafında trapez şeklindeki alüminyum tellerin örülmesiyle oluşturulur. Kompozit öz, merkezde karbon fiber ve onun etrafını saran fiberglas malzemeden oluşur. 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 fiber yüzeyinin fiberglas ile kaplanmasının sebebi karbon fiber ile alüminyum arasında korozyonu önlemektir. Kompozit öz düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek dayanıklılığa sahiptir [7].

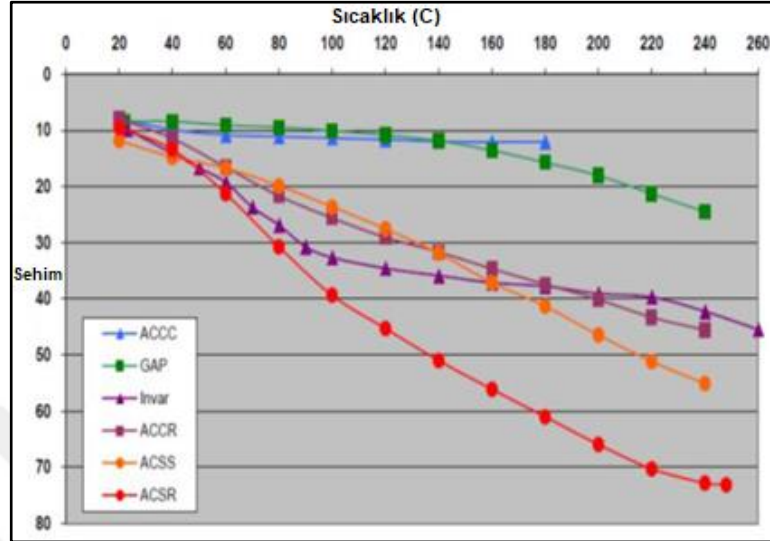
Hibrit karbon kompozit öz çelik öze göre %40 kuvvetli ve %70 daha hafif ve çok daha düşük termal uzama katsayısına sahiptir. Düşük termal uzama katsayısı yüksek sıcaklıklarda düşük sehim elde edilmesine olanak sağlarken titreşim, korozyon, ultraviyole radyasyon, korona, kimyasal ve termal oksidasyon, döngüsel yük yorgunluğu direncini artırarak iletkenin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır [5].

Kompozit özlü iletkenler yüksek yük taşıma şartlarında bile, geleneksel iletkenlere göre daha az ısınır. Bundan dolayı azalan enerji kaybı ile enerji üretim gereksiniminin azalması sağlanmaktadır. Bu azalmayla birlikte enerji üretebilmek için kullanılan yakıt tüketimi azalır ve bu sayede emisyon salınımını azalır. ACCC iletkenler avantajlarından dolayı, dünya çapında 80.000 km'den fazla 700'e yakın projede kullanılmıştır [7].

Yüksek mukavemet, geliştirilmiş boyutsal kararlılık ve etkili kendi kendine titreşim sönümlerme özelliği malzeme yoğunluğu direnci ile birleştiğinde direkler arası açıklığı azaltır veya daha kısa direk kullanmaya izin verir. Direk sayısı azaltılması veya kısa direk kullanılması ile toplam proje maliyetinde ciddi azalma sağlar, montaj zamanını kısaltır ve çevre etkilerini azaltır [5].

Hydro One tarafından 1600 Amper, 65 metre açıklık varsayımları alınarak kapalı bir düzenekte gerçekleştirilen deneyler sonucu farklı cinsteki iletkenlerin fleş performansları Şekil 2.7.'de verilmiştir [8]. Şekil 2.7.'deki veriler incelendiğinde

nominal çalışma sıcaklığındaki en iyi sehım performansı kompozit özlü alüminyum iletkenler tarafından olduğu görölmektedir.



Şekil 2.7.Hydro One tarafından yapılan testlerde farklı iletken tipleri için sıcaklık sehım karşılaştırılmaları verilmiştir [7].

2.5. ACCC Lisbon ve ACSR Hawk İletkenlerinin Karşılaştırılması

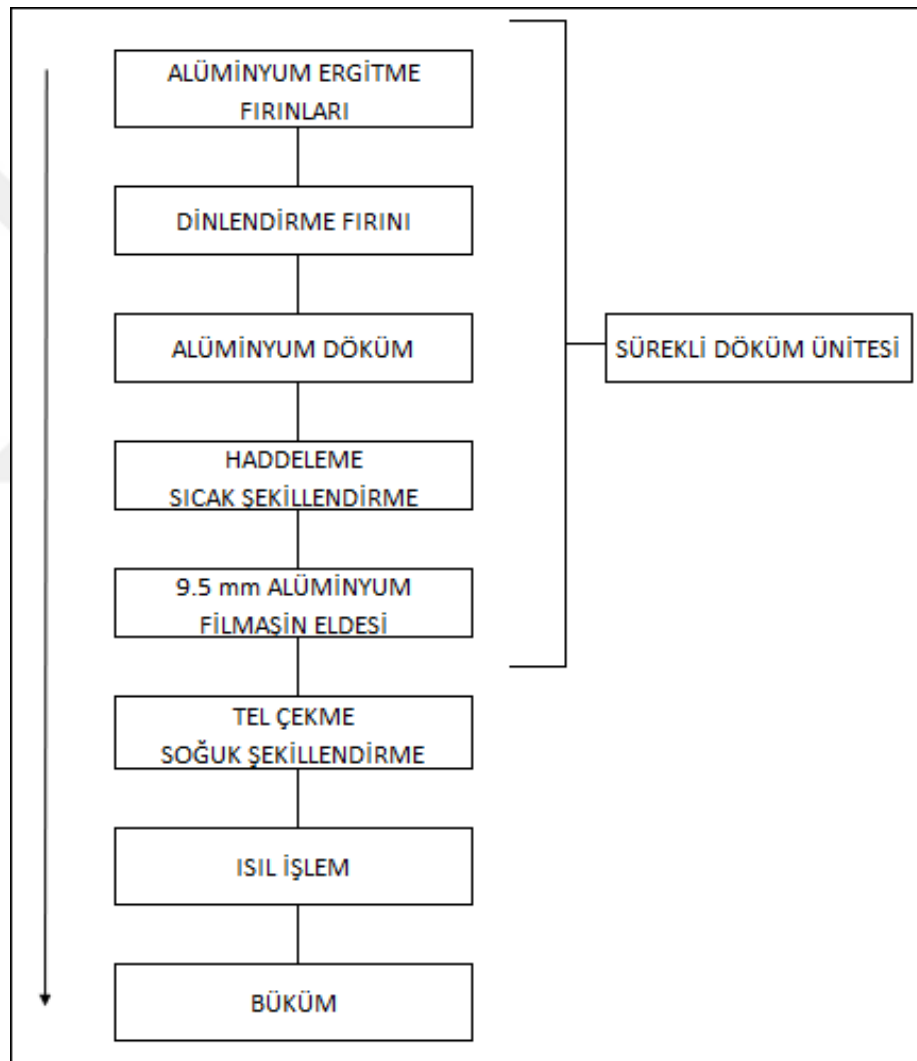
ACCC iletkenler trapez biçimindeki alüminyum tellerden üretilir. ACSR Hawk iletken ile aynı çapta tasarlanan, ACCC Lisbon iletkenin boyutları Tablo 2.1.'de karşılaştırılmıştır. İletken dış çapları 21.8 mm iken alüminyum kesit alanları ACSR Hawk iletken için 281.1 mm², ACCC Lisbon iletken için 355.2 mm²'dir. ACCC Lisbon iletken aynı çapta ACSR Hawk iletkenine göre yaklaşık %27 daha fazla alüminyum ihtiva etmektedir. Bu durum ACCC Lisbon iletkenin, ACSR Hawk iletkenine göre akım taşıma kapasitesini artırır.

Tablo 2.1. ACSR hawk iletkeni ile aynı çapa sahip ACCC lisbon iletkenin boyutlarının karşılaştırılması

İletken Tipi	Dış Çap (mm)	Korun Çapı (mm)	İletken Kesit alanı (mm ²)	Korun Kesit Alanı (mm ²)
ACSR Hawk	21.8	8.04	281.1	39.5
ACCC Lisbon	21.8	7.11	355.2	39.7

2.6. ACCC Lisbon İletkeninin İmalatı

%99,8 saflıkta temin edilen alüminyum külçelerden enerji iletim hatlarında kullanılacak iletkenler için sırasıyla alüminyum filmaşın, alüminyum tel, akabinde ise ACSR, AAC, AAAC ve ACCC ile örgülü iletken imalatı yapılmaktadır. İmalat sürecinde şekil değiştirme uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.8.'de ACCC Lisbon iletkeni imalat akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.8. ACCC lisbon iletkeni imalat akış şeması

2.6.1. Şekil değiştirme işlemleri

2.6.1.1. Plastik şekil değiştirme

Numuneye uygulanan kuvvet sonucu oluşan deformasyonun numunenin elastik sınırını geçmesi sonucu meydana gelen kalıcı deformasyondur. Numuneye uygulanan kuvveti ortadan kaldırdığımızda numune tekrar eski durumuna dönmez. Plastik deformasyon, numuneler arasında karşılaştırma yapıldığında kullanılan ölçütlerin en başında gelir. Birçok işlem malzemenin plastik şekil değiştirme durumuna göre yapılır. Örneğin çekme, ekstrüzyon, haddeleme, dövme, tel çekme, bükme, sıvama ve gererek şekillendirme gibi işlemler yapılırken en önemli ölçütlerin başında plastik şekil değiştirme gelir [9].

Dislokasyon, bir çizgi boyunca kristal yapıların atom dizilişlerinde görülen hatalardır. Denge durumundan ayrılan atomlar çizgi etrafında artık gerilimler meydana getirir ve biçim değiştirme enerjisi muhafaza edilir. Dislokasyonlar genelde malzemenin katılma esnasında oluşur ve plastik şekil değiştirme sürecinde sayıları artmaktadır. Diğer taraftan katı eriyiklerdeki görülen atomsal uyumsuzluklar bu hataların oluşmasına neden olabilir. Hataların varlığı 1907 yılında İtalyan bir matematikçi ve fizikçi olan Vito Volterra [10] tarafından ortaya çıkarılmıştır. Ancak atomsal boyutta hataları tanımlenen dislokasyon terimi ilk kez İngiliz fizikçi ve matematikçi Geoffrey Ingram Taylor [11] tarafından 1934'te kullanıldı.

Kafes yapısında oluşan çarpılmalar dislokasyonların hareket kabiliyetini engellemektedir ve mukavemeti artırmaktadır, süneklik azalmakta ve elektron hareketi zorlaştığı için iletkenlik düşmektedir. Plastik şekil verme işlemi dislokasyon hareketlerini sağlar ve yeni dislokasyon oluşumuna neden olur. Plastik şekil değiştirme sonrasında mukavemet artışının nedeni deformasyon sertleşmesidir [9].

Plastik şekil değişimi sonrası bir malzemede sertlik artar. Belirli bir şekil değiştirme hızı için yumuşama ve sertleşme etkilerinin birbirini engellediği bir sıcaklık vardır. Bu sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda oluşan şekil değiştirme sıcak şekil değiştirme, altındaki sıcaklıklarda ortaya çıkan deformasyonlara ise soğuk şekil değiştirme denir [9].

2.6.2. Sürekli döküm ünitesi

Alüminyum külçeler ergitme fırınında eritilerek dinlendirme fırınına sevk edilmektedir. Döküm makinesinde ergimiş metal, priforik oluklu döner bir çark ile sürekli çelik banttıan oluşan döküm kalıbına alınarak çarkın bir devrinden az bir süre zarfında katı fazda karşılıklı iki kenarından biri diğerinden daha kısa olan dikdörtgen trapezoid kesitli bara haline getirilmektedir.

İki kenarından biri diğerinden daha kısa olan dikdörtgen trapezoid kesitli bara, yatay ve dikey durumda 14 adet hadde ihtiva eden sürekli haddeleme makinası sonunda 9.5 mm çapında yuvarlak kesitli filmaşın haline getirilmektedir. Bu esnada sıcak şekillendirme işlemi gerçekleştirilmektedir.

2.6.2.1. Sıcak şekillendirme

Plastik şekil değiştirme yeniden kristallenme yani rekristalizasyon sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta yapılırsa, sıcak şekil değiştirme yapılmış olur. Şekil değiştirme sırasında pekleşme olmaz. Metallerin plastik şekil değişimine karşı dirençleri sıcaklık arttığı zaman düşer. Bu nedenle büyük kütleler ekstrüzyon, haddeleme, dövme vs. gibi sıcak işlem uygulanarak şekillendirilir. Metaller yüksek sıcaklıkta bal kıvamında (viskoz) davranış gösterir. Yüksek şekillendirme hızları ile işlem uygulanırsa, akma dirençleri artar. Bu özellik viskoz davranışı göstermelerinden ziyade, yeniden kristallenme olayının yeterli derece hızlı olmamasından kaynaklanır [12].

Şekillendirme genelde ergime sıcaklığının yarısı ($T > 0.5 T_m$) üzerindeki sıcaklıklarda yapılır. Bu işlemle gaz boşlukları giderilmektedir. Uzayan taneler, eş eksenli ve küçük olur. Nitrür, oksit, sülfür gibi istenmeyen elementler üniform şekilde dağılır. Şekillendirme için gereken enerji azalır, şekil verme kolaylığı artmaktadır [12].

Plastik şekil değiştirme tekrar rekristalizasyon sıcaklığının üzerinde yapılırsa, sıcak plastik şekil değiştirme yapılmış olur. Bu işlem esnasında şekil değişim sıcaklığı ve uygun seçilmiş ise yüksek mukavemetli ve tane yapısı küçük bir yapı elde edilmiş olur [12].

Sıcak şekil değiştirme işleminde harcanan enerji, soğuk şekil değiştirme için harcanan enerjiden daha azdır. Malzeme içerisinde çatlama olmaksızın şekillendirme kabiliyeti yüksek olur [12].

2.6.3. Tel çekme ünitesi

Sürekli döküm makinasından gelen 9.5 mm çapındaki filmaşın tel çekme makinelerinde soğuk çekilerek 1.96 – 4.5 mm çaplarında tel haline getirilmektedir. Bu esnada soğuk şekillendirme işlemi gerçekleştirilmektedir.

2.6.3.1. Soğuk şekillendirme

Rekristalizasyon sıcaklığının altında yapılan şekillendirmeye soğuk şekillendirme denir. Soğuk şekillendirme, sıcak haddelenmiş şeritlere nazaran düzgün yüzeyli şerit imalatı ve daha iyi çap toleransı için kullanılır. Soğuk şekillendirme neticesinde oluşan yüzey veya gerilme sertliği mukavemeti arttırmak için kullanılabilir. Genelde malzemenin son hali soğuk haddemele ile yapılır. Bunun en büyük nedeni ise haddemele sonunda yüzey kalitesinin yüksek oluşu ve mukavemetin artmasıdır [13].

Soğuk şekillendirmenin avantajları;

- Daha iyi yüzeyler ve daha iyi tolerans elde edilir, ince kalınlıktaki malzemeler haddelenebilir,

- Malzemenin nihai özellikleri adım adım kontrol edilebilir. Mukavemeti yüksek ya da sünekliliği yüksek bir madde istenirse tane boyutları ısıtma işlemi öncesi kontrol edilebilir, yağlama kolaydır,
- Mukavemet artmaktadır, boyut toleransları iyidir [13].

2.6.4. Isıl işlem ünitesi

Çekilen tellere istenen mukavemet, iletkenlik ve uzama değerlerini yakalayabilmesi için ısıtma işlemi uygulanması gerçekleştirilir. Isıtma işlemi, alaşımlı ya da alaşımsız katı durumdaki metallerde istenilen özellikleri kazandırmak için uygulanan ısıtma, soğutma işlemidir.

2.6.4.1. Tavlama

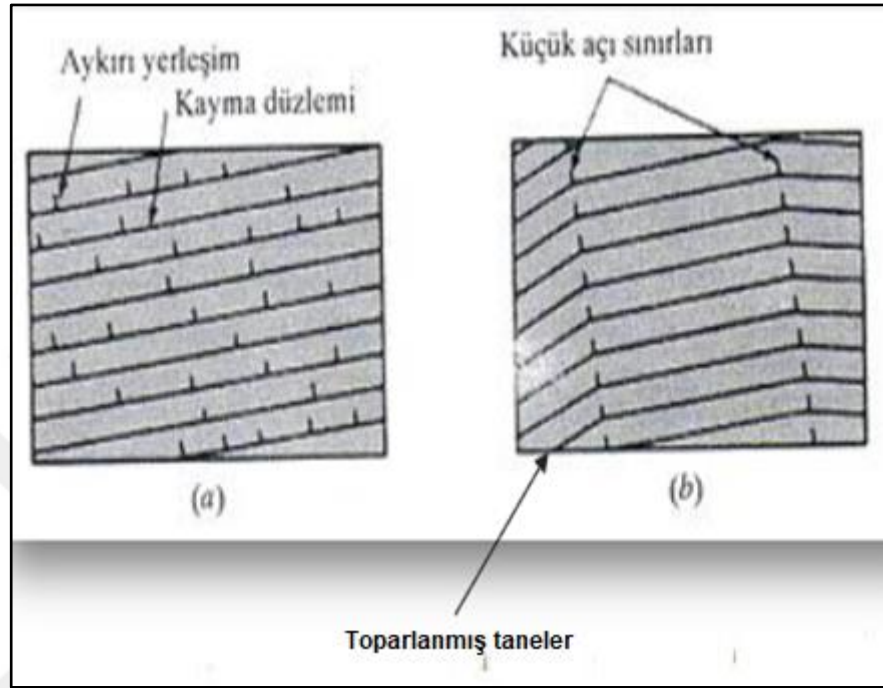
Metali yumuşatmak için uygulanan ısıtma işlemi tavlama denir. Tavlama ile birlikte işlenebilirlik, şekillendirme kabiliyetleri artırılır ve dövme, işlemeden sonra oluşan iç gerilmeler alınmaktadır. Süneklilik artırılmaktadır. Daha homojen bir yapı elde edilmektedir.

Soğuk işleme sonrasında sarf edilen bir kısım enerji kaybolur. Dislokasyon enerjisi halinde bir kısmı malzeme içerisinde depo edilmektedir. Tavlama işlemi ile birlikte soğuk işlemden kaybedilen eski özellikler yeniden sağlanmaktadır. Bu durum; toparlanma, rekristalizasyon, tane büyümesi şeklindedir [9].

2.6.4.2. Toparlanma

Toparlanma, tavlama esnasında rekristalizasyon sıcaklığından düşük sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Toparlanmayla dislokasyonlar yeni düzene girerler. Yeni düzende dislokasyonlar daha düşük enerjiye sahiptir. Dislokasyonlar tarafından

küçük açılı sınırlar meydana gelir ve alt taneler oluşur. Şekil 2.9.'da toparlanmış tanelerin yapısı gösterilmektedir. Toparlanma esnasında iç gerilmeler büyük ölçüde giderilir [9].



Şekil 2.9. Toparlanmış tanelerin yapısı [9].

Soğuk şekillendirme esnasında malzemede meydana gelen deformasyon sertleşmesi başlangıçta hızla azalır, fakat bu azalma zamanla düşer. Toparlanmada, dislokasyonların azalmasından ziyade yeniden düzenlenme vardır. Yeniden düzenlenmeyle birlikte alt tanelerde dislokasyonsuz alanlar meydana gelir. Bu alanlar sayesinde elektron hareketi kolaylaşmaktadır ve elektrik iletimi eski değerine geri dönmektedir. Piyasada bu işlemin diğer ismi gerilme giderme tavlamaıdır. Toparlanmayla birlikte mekanik özellikler çok değişmez iken iletkenlik artar, iç gerilimler azalır [9].

2.6.4.3. Yeniden kristalleşme

Rekristalizasyon ile birlikte dislokasyon içeren toparlanmış taneler kaybolur ve yerine yeni taneler çekirdeklenir. Çekirdeklenme genellikle hatalı bölgelerde, tane sınırlarında meydana gelir. Toparlanmış tanelerdeki dislokasyonlar yeni oluşan tane sınırına doğru kaçır. Böylece içlerinde dislokasyon miktarı çok az olan veya dislokasyon bulunmayan küçük yeni taneler oluşur ki bu yapıya yeniden kristalleşmiş yapı denir (Şekil 2.10.). Metal saflığı ve soğuk şekillendirme oranı arttıkça zaman rekristalizasyon sıcaklığı düşer. Rekristalizasyon sıcaklığı malzemenin %50'sinin yeniden kristalleşme işleminin gerçekleştiği sıcaklık olup ergime sıcaklığının yaklaşık olarak 0.3-0.5 katıdır [9].

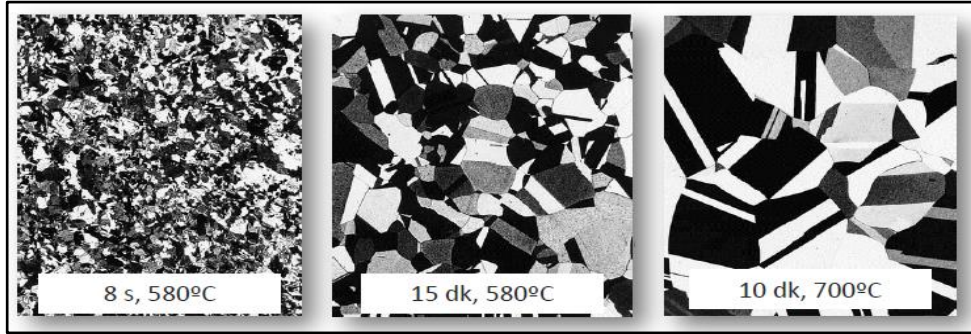


Şekil 2.10. Tane yapıları [9].

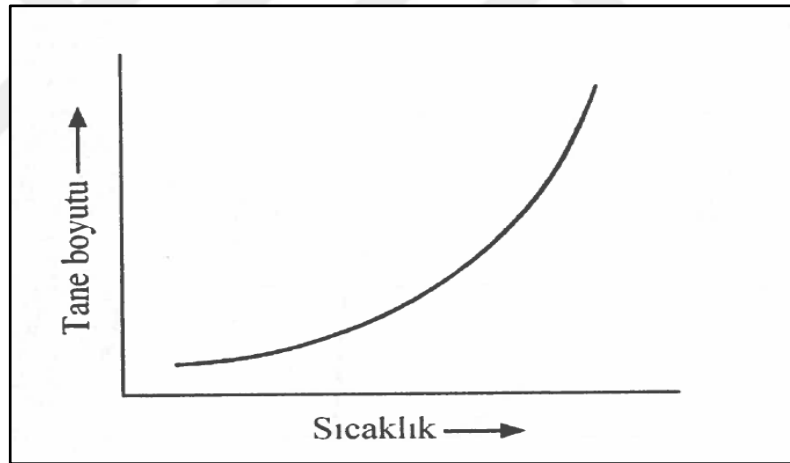
2.6.4.4. Tane büyümesi

Tavlama sıcaklığında uzun süre tutulan taneler rekristalizasyon sıcaklığının üstünde tavlınırsa difüzyon ile birlikte zaman içerisinde büyürler. İri taneler, ince tanelere nazaran düşük serbest enerjiye sahiptir. Bunu nedeni tane sınırlarının azalmasıdır. Bundan ötürü tek kristalli malzemeler en düşük enerjiye sahiptir. İnce ve iri taneler arasındaki serbest enerji farkı, tane büyümesi için gerekli itici gücü meydana getirir

ve atomlar arası bağ kuvveti bu güce karşı koyar. Sıcaklık arttığı zaman tane büyüme hızı ve atomlar arası bağ kuvveti artar [9]. Şekil 2.11.'de tane büyüme hızı görülmektedir.



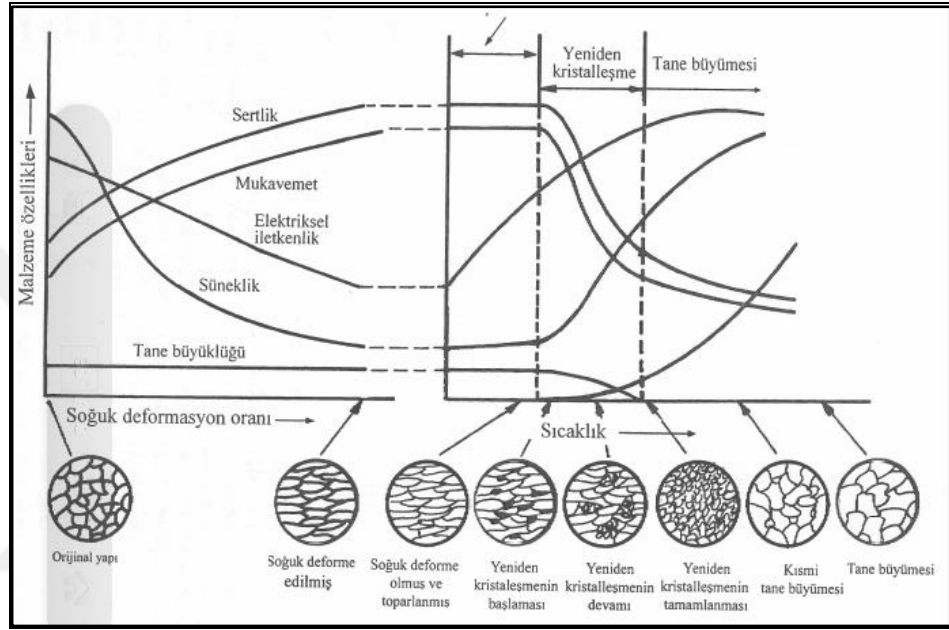
Şekil 2.11. Tane büyüme hızı [9].



Şekil 2.12. Sıcaklığın yeniden kristalleşme ile oluşan tanelerin büyüklüğüne etkisini gösteren eğri [9].

Rekristalizasyon sıcaklığı ile tavlama sıcaklığı arasındaki fark arttıkça, meydana gelen tanelerin boyutları da artar (Şekil 2.12.). Bir yandan tavlama sıcaklığına kadar tutma ve ısıtma süreleri kısa olursa taneler de ince olur. Malzeme yavaş ısıtılırsa birkaç tane daha çekirdek oluşur ve büyüme hızının artmasıyla birlikte iri taneli yapı elde edilir [9].

Tavlama işleminin soğuk deforme edilen malzemenin özelliklerine etkisi şekil 2.13.' de gösterilmiştir. Bu şekilde soğuk deformasyonla birlikte malzeme özelliklerinde oluşan değişimler tavlama işleminden sonra giderilmektedir ve orijinal özelliklerini yeniden kazanmaktadır. Bu nedenle tavlama sırasında malzemenin iletkenlik ve sünekliği artarken, mukavemeti ve sertliği azalmaktadır. [9].



Şekil 2.13. Soğuk şekil değiştirme ve ardından uygulanan tavlama işleminin malzemenin özelliklerine etkisi [9].

2.6.6. Örme ünitesi

Isıl işlem sonrası uygun çap ve boy değerlerinde çekilmiş alüminyum teller, işletmede bulunan örme makinelerinde örülerek çok katmanlı örgülü alüminyum iletken olarak mamul hale getirilmektedir. Çekilen alüminyum teller bobinlere sarılırlar. Bobinler örme makinalarına hidrolik sistemle yüklenmektedir. Makine başında üretilecek ürüne göre merkezden geçirilen tel, çelik halat ya da alüminyum iletken üzerine örme makinasına yüklenen bobinlerdeki teller makinada bulunan deliklerden geçirilmekte ve örülerek makaralara sarılmaktadır. Metre sayaçlar vasıtasıyla iletkenin kaç km olduğu öğrenilmektedir.

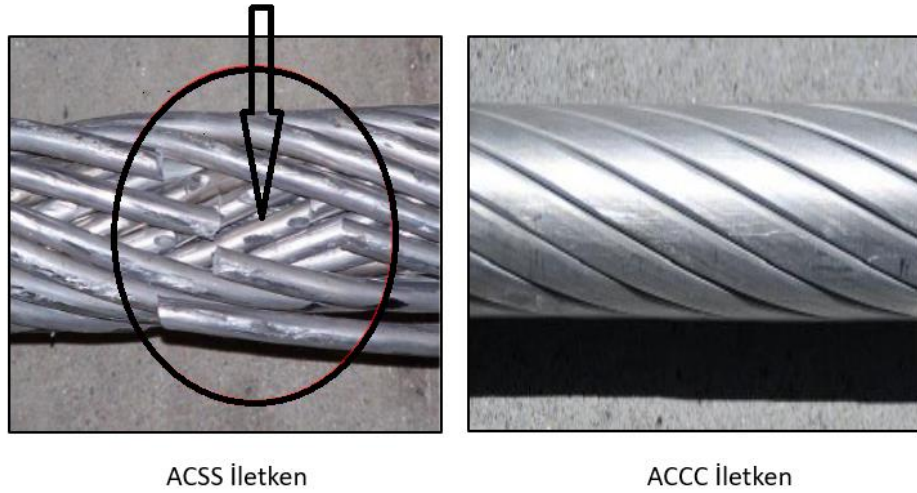
2.7. ACCC İletkenler İçin Yapılan Mekanik Testler ve Avantajları

ACCC iletkenlere mekanik performanslarını gösteren yorulma testi, bükülme testi, termal oksidasyon testi ve burulma testleri American Electric Power (AEP) tarafından yapılmıştır. ACCC iletkeninin avantajları mekanik performansının analiz edileceği testler sonucunda görülmektedir [7].

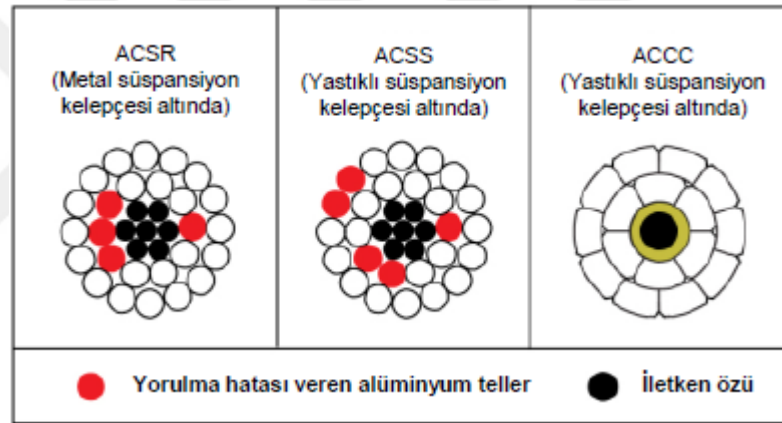
2.7.1. Yorulma testi

Malzemeler, kullanılmaları esnasında tekrarlı gerilmelere maruz kalırlar. Yinelenen gerilmelere maruz kalan parçalarda, gerilmeler malzemenin statik mukavemetinden küçük olmasına rağmen belirli tekrarlamalar sonucunda metallerin yüzeyinde çatlamlar oluşur ve çatlamlar sonucunda da metallerde kopma olayı meydana gelir. Bu duruma yorulma denir [14].

American Electric Power (AEP) tarafından yapılan test kompozit özlü alüminyum iletkenin titreşime ve döngüsel yük yorulmasına karşı üstün direncini kanıtlar niteliktedir. ACCC ve ACSR iletkenlerine yapılan kasnak testi ile, 100 bin kamçılama ve gerilme testi, 100 milyon titreşim sonucunda iletkenlerin son halleri Şekil 2.14.'de verilmiştir. Yorulma hatası veren alüminyum teller Şekil 2.15.'de siyah çemberle gösterilmiştir. Kompozit özlü alüminyum iletkenlerde alüminyum tellerinde yorulma kusuru gözlemlenmemiştir [7].



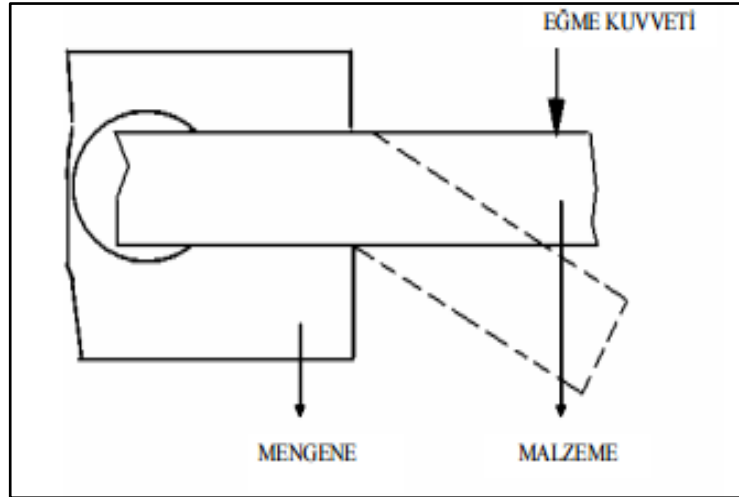
Şekil 2.14. 100 bin kamçılama ve gerilme testinin sonucunda iletkenlerin son halleri [7].



Şekil 2.15. Kasnak testi, 100 milyon titreşim, 100 bin kamçılama ve gerilme testi sonucunda yorulma kusuru veren alüminyum teller [7].

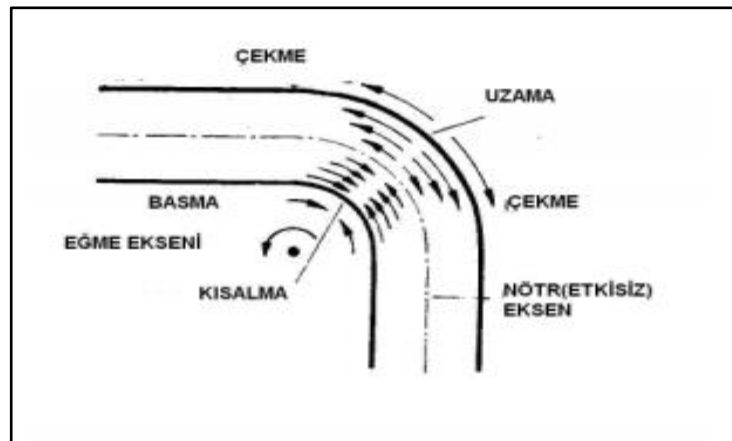
2.7.2. Bükme testi

Metal malzemelerin kalıcı şekil değişimine uğrayacak biçimde, eğme kuvvetlerinin altında, şekil değiştirme durumuna bükme denir. Şekil 2.16.'da eğme kuvvetinin uygulanması ile birlikte bükme işleminin yapılması gösterilmektedir [15].

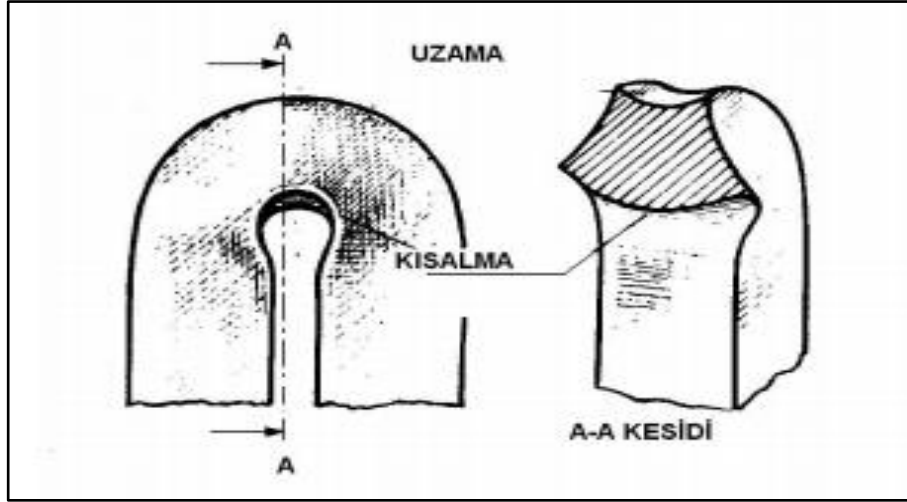


Şekil 2.16. Bükme işlemi [15]

Bükme sırasında numunenin dış yüzeyi çekme kuvveti etkisi ile uzamaktadır. İç yüzeyi ise basma kuvveti etkisiyle kısılmaktadır (Şekil 2.17.). İkisinin arasında bulunan merkez ise sabit kalmaktadır, kısılma ya da uzama oluşmaz. Bu kısılma veya uzamanın olmadığı merkez, nötr eksen adını almaktadır. Şekil 2.18.'de ise basma ve çekme alanlarındaki değişim görülmektedir [15].



Şekil 2.17. Bükme esnasında eksenler [15].

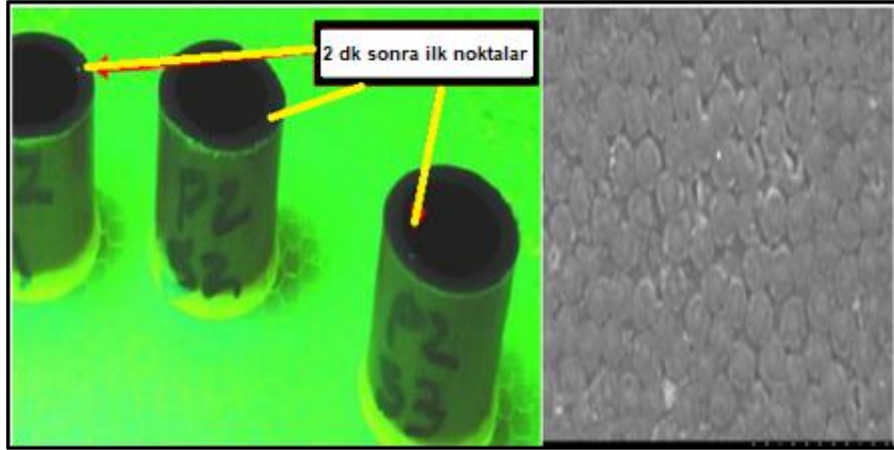


Şekil 2.18. Bükme sonucu malzemede meydana gelen değişimler [15].

ACCC iletkeni şekil 2.19.'da 90 derecelik açı ile 10 defa bükülme işlemine maruz kalmıştır. Özde hiçbir görsel hasar tespit edilmemiştir. Karbon özün dışındaki fiberglas malzemede 2. dakikanın sonunda Şekil 2.20.'deki gibi ancak penetrant boyası vasıtasıyla görülebilecek bozulmaların olduğu tespit edilmiştir [7].



Şekil 2.19. İletken 90 derece açıyla 10 kez bükülmüştür [7].



Şekil 2.20. İletken 6 inç çapında, 90 derece açıyla 10 kez büküldükten 2 dk sonra ilk noktalar [7].

2.7.3. Termal oksidasyon testi

Bu test, malzemenin uzun süreli dayanım koşullarında ne kadar güçlü stabilize olduğunu gösterir. Şayet malzeme iyi stabil olamazsa, yüksek sıcaklık koşullarında bozulmaya başlar ve sonucunda ömrü kısılacaktır.

Kompozit öz numunesi Şekil 2.21.'deki fırınlarda bir sene süresince 220°C'de fırınlanmıştır. Oksidasyonun ~60 mikron derinliği geçmediği görülmüştür (Şekil 2.22.) [7].



Şekil 2.21. Kompozit öz bir sene boyunca 220°C'de fırınlanmıştır [7].

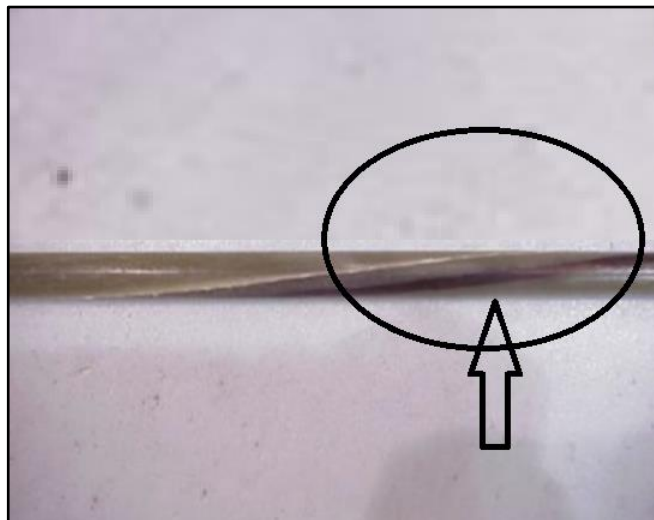


Şekil 2.22. Kompozit öz numunesinin bir yıl boyunca 220°C’de fırınladığı, Oksidasyon ~60 mikron derinliği geçmediği görülmüştür [7].

2.7.4. Burulma testi

Burulma deneyi, iki uç tarafından sıkıştırılmış parçaya, bir ucu sabit olmak kaydıyla diğer ucun burulma momenti uygulanarak yapıldığı testtir.

54 tur sonunda özün en çok inceldiği yer siyah okla işaretlenmiştir. Kompozit özde kırılma meydana gelmemiştir ve test bitirilmiştir (Şekil 2.23.) [7]. Çelik öze yapılan burulma deneyinde 4. tur bitiminde çelik özde açılmalar oluşmuştur (Şekil 2.24.).



Şekil 2.23. Kompozit öze uygulanan burulma deneyi sonucu 54 tur sonunda kopma olmamıştır [7].



Şekil 2.24. Çelik öze uygulanan burulma deneyi sonucu çelik özün 4 tur sonraki görüntüsü [7].

2.8. Havai Hatların Kurulumu

Direkler, mesnet noktaları, iletkenler, iletken ekipmanları, topraklama, izolatörler ve bağlantı ekipmanlarından oluşan tesislerin hepsini kapsayan kısma, havai hat denir. Havai hatlar çekilirken hatların toprağa en yakın noktası minimum 6 metre, işlek alanlarda ise minimum 7 metre alınmalıdır [4].

İletken makaraları özel sistemler üzerine yerleştirilerek hat üzerine çekilirler. Bu işlem makara ağırlıkları farklı olan yani iletkenlerin cinslerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bazı durumlarda makaralar için fren sistemli özel araç gerekebilir. İletkenler çorap, kapma gibi özel ekipmanlarla iletkenin ağırlığına göre traktör gibi bir araçlara bağlanır [4].

İletkenlerin çekildikten sonra sıcaklığa göre gözle ya da teodolit cihazı ile sehimleri alınır, hattın uçları direklere sabitlenir. Yaklaşık olarak bir gün beklemeden sonra sehimler tekrar kontrol edilir, akabinde makaraların olduğu noktalardan izolatörlere tam dik olarak bağlanır. İzolatörler dik değil ise ya doğru bağlanmamıştır ya da hatta bir arıza olmuştur. Bu olay taşıyıcı direğe fazla bir yük getirir ve yıkılmasına neden olabilir. Bu durum bazen hattın yeniden makaraya alınıp tekrar izolatöre bağlanması işlemini gerektirebilir (Şekil 2.25) [4].



Şekil 2.25. Havai hat çekilmesi [4].

2.8.1. Havai hat iletkenlerin çekme işlem sırası

İki adımda iletkenlerin kurulumu tamamlanmaktadır;

- İletken tel çekme makaralarının üstüne kaldırılır, germe kuvveti sayesinde iletken gerilir,
- İletken makara üstünden izolatörlere bağlanır ve atlama bağlantıları yapılır.

İletkenlerin çekilimi;

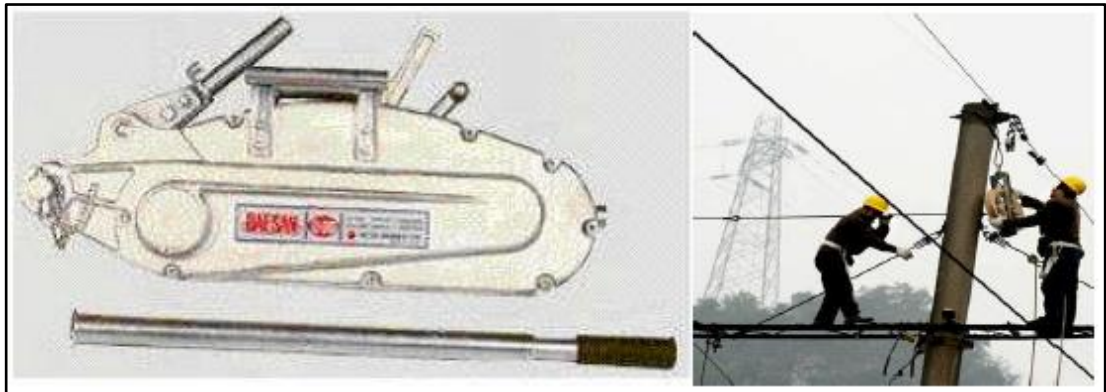
İletkenler Orta gerilim ve Alçak gerilim şebekelerinde tel çekme ekipmanlarına gerek duymadan el ekipmanları/sistemleri ile çekilir. İletken kesin olarak izolatör demiri ve travers üzerinden kaydırılarak çekilmemeli, bunun için tel çekim ekipmanları kullanılmalıdır (Şekil 2.26.) [4].



Şekil 2.26. Tel çekme ekipmanları

İletkenlerin salgı ve germe kuvvetiyle gerilmesi;

İletkenleri germek için orta gerilim ve alçak gerilim’de kapma denilen gergi ekipmanları kullanılır. Büyük çaplı iletkenlerde ise triform kullanılır (Şekil 2.27.) [4].



Şekil 2.27. Triform [4].

İletkenleri izolatörlere bağlama;

İletkenlere salgı verildikten ve durdurucu direklere durdurucu bağ yardımıyla izolatöre bağlandıktan sonra taşıyıcı direklerde bulunan mesnet izolatörlerinin üst ya da yan yuvasına taşıyıcı bağ ile bağlanır. Sonra durdurucu direkler üzerinde atlama bağlantıları yapılır (Şekil 2.28.) [4].



Şekil 2.28. İletkenlerin izolatörlere bağlanması

2.8.2. Havai hat çekimi esnasında dikkat edilmesi gereken noktalar

İletken zedelenmesi, gevşek kalmış bir iletken bağ, ilerleyen dönemlerde büyük arızaların doğmasına neden olur. Hattın işletimi sırasında kesintiler meydana gelir. İyi yalıtılmamış topbaşı veya iyi sıkılmamış klemens işletmenin güvenilirliğini ve verimliliğini düşürür. İletken çekimi gibi hat istikameti de önemlidir. Ulaşımı güç ve yoldan uzak istikamet seçilmesi bakım işlemlerini kolaylaştırmaz. Kesilmeyen ağaçlar fazla sayıda aç vermez. İletkenler yere sürtülmeden kontrollü olarak makaradan boşaltılmalı, dikkatli bir şekilde alınarak çekilmelidir. Monte edilmiş izolatörün kırık ya da çatlak olup olmadığı kontrol edilmelidir. İletkenler izolatör oyduğuna normal olan direklerde iç kısma, köşeli olan direklerde dış kısma

bağlanmalıdır. Topbaşı işlemlerinde iletkenin izolatör oyuğuna gelen bölümüne bant sermek, durdurucu klemenslerin uygun bir biçimde takılması ve iletkene form verilmesi önemlidir [4].

2.9. ACCC İletkenlerin Kurulumu

ACCC iletkenleri geleneksel aletler, teknikler ve ekipmanlar kullanılarak kurulur. ACCC iletkenlerinde uç sonlandırıcıların ve eklerin montajı konvansiyonel ACSR, ACSS veya AAAC bağlantı parçalarının kurulumundan biraz farklı olmakla birlikte, iletkenler benzer bir şekilde monte edilir. Diğer iletken türlerinde olduğu gibi, IEEE 524 yükleme yönergelerini takip etmek ve iletken çapına, çekme gerilimine ve iletken girişinin kasnak tekerleklerine girip çıkma açısına bağlı olarak uygun boyutta kayak tekerlekleri seçmek önemlidir. ACSS iletkeninde olduğu gibi ACCC, tavlammamış, sertleştirilmiş veya özel alaşımlı alüminyumdan biraz yumuşak olan tamamen tavlammış alüminyum şeritleri kullanır. Kepçe tekerlekleri, alüminyum şeritlerin sürtünmesinin oluşmaması ve iletkenin, alüminyum şeritlere zarar verebilecek ve enerjilenmiş bir hat üzerinde koronayı indükleyebilecek yere sürüklenmemesi için düzgün hizalanmalıdır. Ek olarak, ACCC iletkeninin kompozit çekirdeği esasen iletken olmadığından, topraklama kelepçelerinin doğrudan alüminyum şeritlerin üzerine yerleştirileceğine özen gösterilmelidir [7, 16].

IEEE 524 ve diğer benzer kurallar, ACSR, ACSS, ACCC ve diğer iletken türleri için geçerli olan, yılların deneyimine dayanan tüm iletken türleri için doğru kurulum uygulamalarını ve prosedürlerini açıklamaktadır. Örneğin, IEEE 524, büyük gergi makaralarının birinci yapıdan (kule, direk v.b.) yapı yüksekliğinin 3 katı kadar uzak bir mesafeye yerleştirilmesini önermektedir. ACCC iletkenini 30 dereceden daha büyük açılardan çektiğinizde daha büyük çaplı kasnak tekerlekleri veya çift katlı tekerlekler ve boyunduruk plakaları gerekebilir; bunlardan herhangi biri bir çelik kablo, naylon askı, zincir kaldırma veya sağlam bir desteğe ihtiyaç duyabilir. Bitişik yapılar arasındaki açıklık nispeten düşük olsa bile, sonlandırma uçlu yapılar 50 ila 60 dereceyi aşan açılarda tercih edilir. Kompozit özün belirli bükülme kısıtlamaları

olsada, alüminyum şeritler üzerindeki sıkıştırma gerilmelerinden dolayı yüksek çekme kuvvetleri geniş açılarla birleştirildiğinde, küçük çaplı bir kasnak çarkı alüminyum tellere zarar verebilir. ACCC iletkeni kompozit özünün eğilme sınırları, kompozit öz çapının ve alüminyum içeriğinin bir fonksiyonudur, daha küçük çaplı damarlardan oluşan daha küçük ACCC iletkenleri daha esnektir. İletkende büyük stres yaratmak için fazla yük almayan küçük çaplı kompozit öze sahip ACCC iletkenleriyle çalışırken dikkat edilmelidir. Metalik özün aksine, tek yönlü kompozit malzeme gerilme özelliklerinde oldukça üstündür, ancak eksenel basınç dayanımının çekme mukavemeti kadar yüksek değildir. İletken, kurulum sırasında (ve hizmet esnasında) düzgün bir şekilde gerildiğinde, iletkendeki basınç stresi çoğunlukla yok iken, kurulum personeli daha küçük ACCC iletkenleriyle çalışırken keskin büküm açılarından kaçınmalıdır. Çünkü bu, kompozit öz üzerinde aşırı basınç stresi oluşturabilir ve bu da fiber yapının bozunmasına/kopmasına neden olur (örneğin, sıkıştırma altında fiber kırılması). Ayrıca bu durum, iletkenin yüksek gerilim altına alınıncaya kadarki zamana dek belirgin olmayabilir. Bu olası problem, IEEE 524 rehberinde açıklanan ve ACCC İletken Kurulum Kılavuzlarında tekrarlanan uygun kurulum ekipmanı ve prosedürleri kullanılarak kolaylıkla önlenabilir:

- İletken üzerinde yeterli gerilim korunmalıdır.
- Özellikle iletken gerginliği yokken keskin büküm açılarından kaçınılmalıdır.

Genel olarak söylenebilir ki;

- Topraklama telleri düzgün kullanılmalı ve yerleştirilmelidir,
- Önerilen kasnak tekerlekleri kullanılmalıdır (çok küçük değil),
- Mandrel aksları, makara içinde yapılacak sarım için uygun şekilde eşleştirilmelidir,

- Doğru geri dönüş gerginliğini korumak için fren salması ayarlanmalıdır,
- Arka gerginlik ve sürüklenme hızlarının iyi kontrol edilmesi, iletkenler üzerindeki galloping etkisini azaltacaktır,
- Tekerlekler birinci yapıdan 3:1 geri uzaklıkta ayarlanmalıdır,
- Kasnak tekerlekleri ve büyük gergi makaraları iyi uyum içinde olmalıdır,
- Yumuşak dış alüminyum teller kurulum sırasında çizilmemelidir,
- İletkende gerginlik olduğunda özellikle keskin bükümlerden kaçınılmalıdır [7, 16].

Şekil 2.29.'da Sahadaki uygulama ile ilgili çekim prosesi gösterilmektedir.



Şekil 2.29.ACCC saha uygulaması iletken kurulumu

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Alüminyum

Periyodik cetvelde IIIA gurubundadır. Atom numarası 13'tür. Kafes yapısı YMK dır. Atom ağırlığı 26.89'dir. + 3 değerliklidir. Yoğunluğu 2,7 gr/cm³ (20 °C'ta). Ergime noktası ise 659.8°C'dir. Kaynama noktası 2450°C dir. 1000 °C'ta ısınma ısısı 0.224 Cal/gr dır. Erime ısısı 400 Cal/gr'dır. 20° C'de elektrik iletkenliği açısından bakırın %65'i, ışık yansıtılabilirliği %90, ısı iletkenliği %50'si olup, bu özellikleri alaşım malzemeleri katarak önemli ölçüde değiştirilebilir [17].

Doğada bileşikler halinde bulunan alüminyum ve oksijen, silisyumdan sonra yeryüzünde %8 oranında en çok bulunan üçüncü elementtir. İngiliz Humpry Davy tarafından 1808 yılında tespit edilmiştir. Üretim teknolojisi 1886 yılında Paul Louis Toussaint Héroult (Fransa) [17] ve Charles Martin Hall (ABD) [17] birbirlerinden habersiz şekilde ayrı ayrı çalışarak geliştirilmiştir. HallHéroult yöntemi olarak halen kullanılan bu yöntemde bu iki bilim adamı, alüminyum oksitin ergimiş kriyolit içinde çözündürülerek üzerinden güçlü bir elektrik akım geçirildiğinde, alüminyumun elektrolitin altında sıvı halde biriktiğini fark etmişlerdir. Bu yöntemin keşfinden sadece iki yıl sonra, 1888'de İsviçre'nin Neuhausen kentinde Schweizerische Metallurgische Gesellschaft tarafından Héroult patentiyle, yine aynı yıl ABD'deki Pittsburgh kentinde Pittsburgh Reduction Company tarafından Hall patentiyle ilk alüminyum elektrolizhaneleri kurulmuştur [17].

Bundan sonra bu alanda çok hızlı teknik ve ekonomik gelişmeler yaşanmaya başlamış, 1900 yılına gelindiğinde İsviçre ve Amerika ile birlikte Fransa (1889), İngiltere (1896), Almanya (1898) ve Avusturya (1899)'da alüminyum üreten ülkeler arasındaki yerlerini almıştır. 1900 yılında dünya birincil alüminyum toplam yıllık üretimi 8.000 ton iken, 1913 yılında 65.000 tona, 1920 yılında 128.000 tona, 1938 yılında 537.000 tona, 1946 yılında 681.000 tona, 2002 yılında 22-23 milyon tona ve 2003 yılında ise 25-27 milyon ton seviyelerine yükselmiştir [17].

Alüminyum, uzun süreler boyunca kullanılan kalay, kurşun ve bakırın bugün toplam imalatlarından daha fazla miktarda üretimi gerçekleştirilmektedir. Mevcut durumda ise ikincil alüminyum ile birlikte alüminyum arzı yaklaşık olarak yıllık 30 milyon ton civarındayken, bakır 14,8 milyon ton, kurşun 6 milyon ton, magnezyum 0,6 milyon ton, kalay 0,3 milyon ton, çinko 8,6 milyon ton, çelik 900 milyon ton civarlarında imal edilmektedir. Demir ve çelik imalatının yanında bu oran küçüktür. Fakat, katma değer bakımından; 150 milyon ton demir çelik miktarına karşılık gelen 22 milyon ton alüminyum katma değer karşılığıdır [17].

1886 yılında Werner Von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K.J. Bayer'in bayer prosesini bulması ile alüminyum üretimi kolaylaşmış ve demir çelikten sonra en çok kullanılan ikinci metal olmuştur [18].

Alüminyumun avantajlı olan özelliklerini;

- Alaşımlandırıldığı zaman yeterli dayanımı, dövülebilir olması,
- Tekrar kullanılabilirliği, korozyon direncinin yüksek olması,
- İşlenebilir olması, hafif olması,
- Isı ve ışık yansıtıcılığı, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği olarak sıralayabiliriz [17].

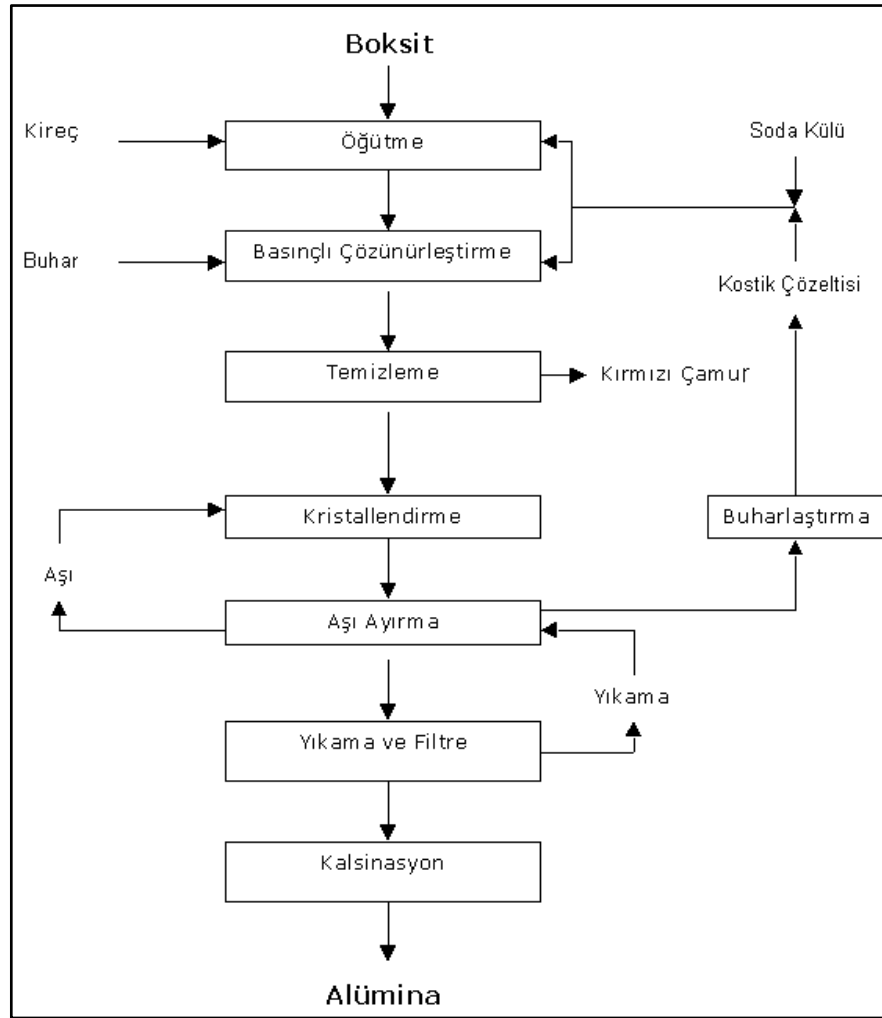
Alüminyuma alaşım malzemeleri katkılarıyla demire yakın dayanımda ürüne dönüşebilir. Örnek vermek gerekirse otomotiv sanayisinde alüminyumun kullanılması, aracı hafifletir ve daha az yakıt kullanımı gerçekleşir, buna karşın yük kapasitesini arttırır. Normal atmosfer şartlarında Alüminyum oksijenle reaksiyona girer ve yüzeyinde doğal koruyucu bir film tabakası oluşturur. Bu tabaka alüminyumu korozyona karşı korumaktadır. Laklama, anotlama, boyama alüminyumu korozyona karşı direncini artıran uygulamalardandır. Kusursuz elektrik iletimi sebebiyle alüminyum, bakır'ın yerini alarak elektrik enerjisi iletim ve dağıtımında havai hatlarda iletken ve yeraltı güç kabloları ve onların ek ekipmanlarında kullanılmaktadır. Alüminyumun bir diğer önemli özelliği iyi bir ışık ve ısı yansıtıcısıdır. Bu özelliği sayesinde aydınlatma ekipmanlarında ve ısı yataklarında alüminyum tercih edilmektedir. Bulaşıcı ve toksit olmayan alüminyumun ambalaj olarak gıda ve ilaç sanayisinde de kullanımı neredeyse alternatifsizdir. Alüminyum folyo gaz, aroma ve ışık geçirgensizliğe sahiptir. %100 geri dönüşümlü bir metaldir. Bundan ötürü ekolojik özelliği yüksektir. Çevreyi en az kirleten, ekonomik ve enerjiyi daha az tüketen şekilde kullanımı, alternatif diğer malzemelere göre alüminyumu bir adım öne çıkarmaktadır [17].

Her ne kadar birincil üretimde çok miktarda enerji harcanıyorsa da, son yıllarda yapılan araştırmalar, enerji dengesi açısından, kullanım ömrü dolan alüminyumun birincil üretimin sadece %5'i kadar enerji kullanılarak yeniden kullanıma sunulması, uzun vadede alüminyumun ikame malzemelerden tasarruf yanında çevre atıklarının azalması yönüyle de daha ekonomik ve çevre dostu olduğunu göstermektedir. Dünya kabuğunda sınırsız miktarda bulunması alüminyumun sahip olduğu diğer avantaj ve üstünlüktür. Üretim maliyetleri de dikkate alınarak yakıt tasarrufunun daha çok önem kazanacağı, bu da daha hafif otomobillerin imalatını gündeme getirecek, bu açıdan mükemmel dayanım/ağırlık oranına sahip alüminyum rakipsiz bir malzeme durumundadır. Alüminyum çeliğin yaklaşık olarak %69'u kadar bir ağırlık ile aynı güç faktörünü sağlayabilir durumdadır. Alüminyumun bu özellikleri, tüketiminin artması ve kullanım alanlarının gelişmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle ABD'de her yıl yayınlanan stratejik metaller içerisinde alüminyum ilk sıralarda yer alır [17].

Alüminyum elektrik ve ısı açısından iyi bir iletkenidir. Saf durumdayken iletkenlik amacı dışında diğer uygulamalarda kullanılmaz. Alüminyum ve alüminyum alaşımları alaşımları uzay ve uçak araçlarından mutfak eşyalarına kadar sayısız uygulama alanlarında kullanılır [17].

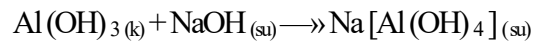
Ortalama 40-540 N/mm² mukavemeti ile alüminyum birçok alan için optimum çözümler getirmektedir. Alüminyum serbest halde nadir bulunmaktadır. Bundan ötürü bir dönem altın metalinden bile daha kıymetli görülmüştür. En çok bulunan üçüncü element olmasından ötürü yeterli alüminyum miktarı her zaman olacaktır. Alüminyum hammaddesi boksittir. Günümüzde mevcut tüketim hızı paralel alındığında 3000 yıl yetecek miktarda boksit kaynağı bulunmaktadır.[18].

Alüminyum, dünyada aynı metod ile iki aşamada elde edilir. Birinci aşama, boksit cevherinden bayer yöntemi ile alümina eldesi. İkinci aşamada ise, elektroliz yöntemiyle alüminadan alüminyum elde edilmesidir. Alümina işletmeleri, genelde boksit yataklarının yanına kurulur. Cevherden çıkarılan boksit, sudkostik (Kostik soda, NaOH) eriyiği ile muamele edilir ve alüminyum hidroksit eldesi gerçekleşir. Sonucunda oluşan erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile "alümina" (alüminyum oksit) elde edilir. Şekil 3.1.'de alümina eldesi görülmektedir.

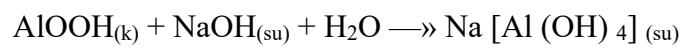


Şekil 3.1. Alümina eldesi

10-30 atmosfer basınç altında, 150-250°C’de ve NaOH konsantrasyonlarında (Na₂O cinsinden tanımlanır) otoklavda işlenmektedir. Madendeki alüminyum,



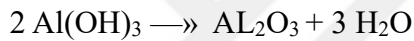
veya



yukarıdaki reaksiyonlara göre sodyum aluminat halinde çözeltiye alınmaktadır. Boksit otoklavlar içerisinde basınç altında çözündürülür, sonra sıvı-katı ayrımı için filtreleme aşamasına geçilir. Bu aşamada atık olan kırmızı çamur ayrıştırılır, çözelti 60°C sıcaklığa soğutulmaktadır. Akabinde çöktürme tankına gönderilir [19].

Çöktürme tanklarında çözelti sürekli karıştırılır ve yeni çökmüş $\text{Al}(\text{OH})_3$ ile aşıl原因arak $\text{Al}(\text{OH})_3$ çöktürülür. Çöktürme süreci 30-70 saat arasında tamamlanmaktadır. Aşı maddesinin yapısı ve ilave edilen miktarı çöktürme hızını etkiler [19].

Elde edilen $\text{Al}(\text{OH})_3$ termik ayrışma işlemine tabi tutulur, yani kalsinasyonla alüminaya (Al_2O_3) dönüştürülür [19].



Kalsinasyon işlemi klasik olarak doğalgaz veya sıvı yakıt ile ısıtılmış döner fırınlarda 1200°C-1250°C'lerde gerçekleştirilir. Kalsinasyon sonucu alümina elde edilir. Bu arada elde edilen ürünün yaklaşık 50%'si bacaya gider. 250°C-300°C sıcaklıklarda multisiklonlarda (toz tutucu) katı parçacıklar tutularak geri kazanılır [19]

İkinci aşamada ise, alüminyum alüminadan elektroliz metodu ile elde edilir. Alümina tesisleri, genellikle boksit yataklarının yanına kurulur. Maden yatağından çıkarılan boksit, sudkostik eriyiğı ile muamele edilir ve alüminyum hidroksit eldesi gerçekleşir. Kırmızı çamur ayrıştırılır. Alüminyum hidroksitin kalsinasyon işleminden sonra alümina (alüminyum oksit) elde edilir. Alümina, elektroliz işleminin yapılacağı hücre diye isimlendirilen yerlere alınır ve elektroliz işlemi yapılır. Amaç oksijenin alüminyumdan ayrılmasıdır. Elektrolizde 4 ya da 5 voltluk uygulama yapılır. En altta birikmiş alüminyumun alınmasıyla birlikte süreç bitirilir. 8 birim boksit cevherinden 4 birim alümina tozu ve 4 birim alümina tozundan da 2 birim alüminyum elde edilmektedir [18]. Tablo 3.1.'de bu çalışma için kullanılan alüminyum külçe analizi örneğı gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Alüminyum külçe analizi

Al %	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Ni %	Zn %	Ti %	Pb %
98,03	0,593	1,21	0,0190	0,0184	0,0626	0,0039	0,0128	0,0318	0,0077	0,0132
98,24	0,234	1,07	0,0657	0,0733	0,188	0,0348	0,0139	0,0635	0,0087	0,0088
98,51	0,154	1,19	0,0096	0,0178	0,009	0,0019	0,0097	0,0253	0,0626	0,0089
98,34	0,275	1,15	0,0211	0,0221	0,0359	0,00067	0,0035	0,147	0,0010	0,0079
98,34	0,325	1,11	0,0926	0,0246	0,0197	0,0112	0,0090	0,0393	0,0251	0,0061
98,21	0,0739	1,66	0,0012	0,0196	0,0024	0,00050	0,0060	0,0102	0,0048	0,0092
98,08	0,318	1,32	0,0687	0,0675	0,0170	0,0060	0,0070	0,0870	0,0126	0,0114
98,11	0,252	1,29	0,0559	0,078	0,0041	0,0073	0,0082	0,153	0,0228	0,0141
98,14	0,221	1,37	0,0445	0,0552	0,0057	0,0049	0,0062	0,126	0,0117	0,0147
98,10	0,208	1,45	0,0387	0,0535	0,0041	0,0046	0,0078	0,116	0,0087	0,0131
98,17	0,225	1,54	0,0215	0,0105	0,0034	0,00050	0,0023	0,0252	0,0010	0,0033
98,12	0,356	1,31	0,0632	0,0132	0,100	0,00067	0,0049	0,0299	0,001	0,0042
98,07	0,384	1,25	0,0337	0,0402	0,129	0,0245	0,0127	0,0244	0,0253	0,0061

3.1.2. Kompozit malzemeler

En az iki farklı malzemenin birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. Bileşimlerde tek başına bulunmayan dayanıklılık, esneklik, hafiflik vb. bazı özelliklerin bir araya getirilmesi ve geliştirilmesi amaçlanır. Kompozit karışım manasına gelmektedir ama çözen ve çözünen bileşenlerden oluşmamaktadır. Bileşenlerin arasında atom alışverişleri bulunmaz, birbirlerini kimyasal açıdan etkilemezler. Eğer bileşenler birbiri içerisinde çözünürse ve karışım atom düzeyinde olursa bu tip malzemeler alaşım olarak adlandırılır. Karışım nanometre seviyesinde olursa bu tür kompozitlere nano kompozit denir. Kompozitler matris adı verilen bir ana malzeme ve takviye elemanı adı verilen daha mukavim bir malzemedan oluşturulur. Takviye malzemesi kompozit malzemede yük taşıma ve mukavemet özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyonda olabilecek çatlak ilerlemesini engelleyici rol oynar ve kompozit ürünün kopmasını geciktirir [20].

Kompozit malzemeler II. Dünya Savaşı esnasında mevcut geleneksel malzemelerin tek başlarına teknolojiye karşı belirli gereksinimlere cevap veremez hale gelmesi ile başlamış ve o zamandan beri de bu malzemelerin imalatı ve mekaniksel özellikleri

üzerinde araştırma, geliştirme ve inceleme 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 uygulamalarda kullanımları hızla artmıştır. Bu malzemeler, belirli uygulama alanları için üstün fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek amacıyla belirli spesifik konfigürasyonda değişik tipteki malzemelerin bir araya getirilmesi sonucu oluşan malzeme olduklarından dolayı çok fazlı malzeme olarak da adlandırılırlar [21].

Kompozit malzemelerde ana malzeme genellikle camlar, seramikler, polimerler ve metaller olmak üzere dört ayrı kategoriye ayrılabilir. Fiber katkılı kompozit malzemeler ise bu dört sınıftan birine fiber takviyesiyle elde edilir. Fiberlerin gömüldüğü malzeme matris malzemesidir. Matrislerin üç temel fonksiyonu bulunmakla birlikte, fiberlerin bir arada tutulması, yükün fiberlere dağıtılması ve fiberlerin dış koşullardan korumak olarak sıralayabiliriz [22].

Matris fazı bir bağlayıcı gibi bileşeni bir arada tutma etkisi gösterir, yapının bütünlüğünü sağlar ve yükün mukavetlendirici faza transferini temin eder. Aynı zamanda matris fazı, mukavemetlendirici fazı çevresel etkilerden korur, çatlağa neden olabilecek hasarlara karşı korumaktadır [23].

Matris seçimi esnasında malzemenin su ve nem alma özelliklerinin göz önüne alınmalıdır. Uzama, yorulma, mukavemet, darbe, kopma özellikleri de çok önemlidir. Sıvı halde bulunan matrislerin viskozitesi de önemlidir. Sıcaklık ve kür zamanı gibi fiziksel özelliklerde etkilidir [24].

Günümüzde kompozit malzemelerde kullanılan sürekli elyaflar en önemli takviye malzemelerinden biridir. Matris içindeki lifler yapının temel mukavemet elemanlarını oluşturur. Yüksek elastisite modülü, yüksek sertlik ve düşük yoğunluklara sahip elyaflar kimyasal korozyona karşı da dirençlidirler. Karbon, cam ve aramid elyaflar uzun veya kısa sürekli elyaf formları modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli yer tutmaktadır [25].

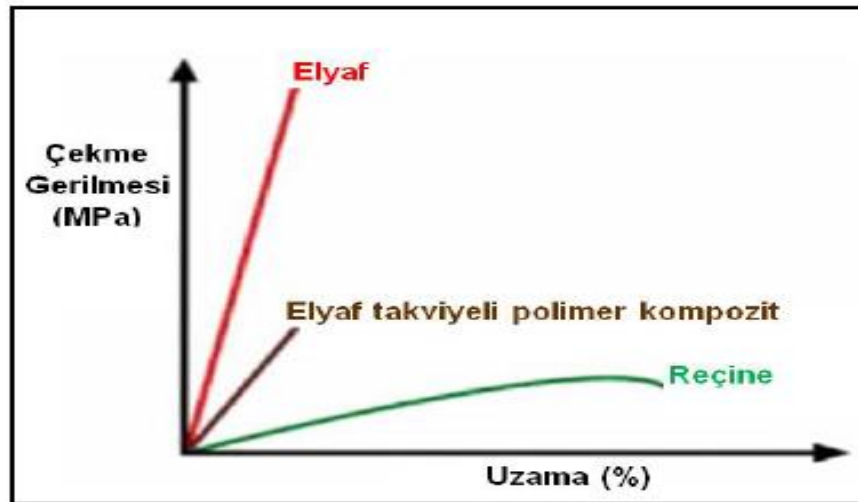
Dokuma yapısındaki liflerin takviye özellikleri yüksek olup yönlenmiş haldedir. Günümüz koşullarında imal edilen kompozitlerin %90'ı liflerle takviye edilen kompozitlerdir. Uygulamada değişik elyaf türlerinden yararlanılmaktadır [26].

Düşük yoğunluk, yüksek tokluk ve mukavemet karbon elyafın önemli özellikleri arasındadır. Karbon elyaflar yüksek sürtünme mukavemetlerinden ötürü nemden etkilenmezler. Yorulma ve aşınma mukavemetleri de iyidir. Karbon elyaflar, yaygın bir şekilde epoksi reçineler ve çeşitli plastik matrislerle kullanılır. Ayrıca karbon elyaf magnezyum, alüminyum gibi metal matrislerle de kullanılmaktadır [27].

Plastik kullanımı yapılan uygulamaların %90'ında cam elyaf takviyesi yer almaktadır. Sebebi ise hem ucuz hemde iyi bir ağırlık ve 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. Cam elyaf, iyi bir kimyasal direnç ve kolay işlenebilirlik gösterir. Çekme mukavemetleri mükemmeldir [28].

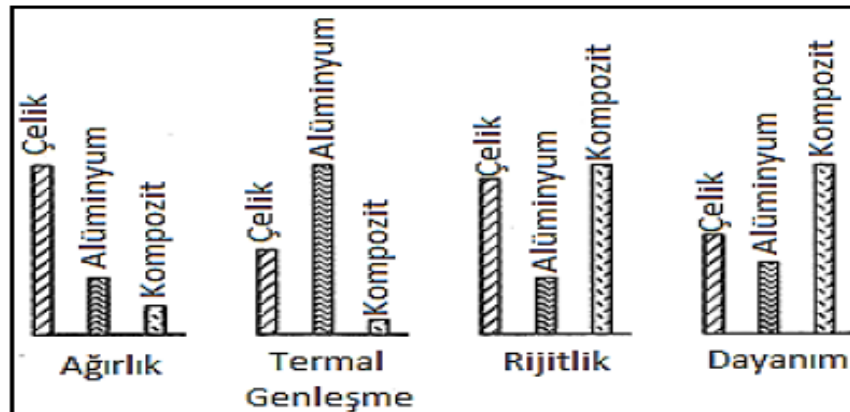
Takviyenin istenilen etkiyi yaratması uygun matris seçimine bağlıdır. Matrisin temel görevleri; kuvvetleri life iletimi, lifi oksidasyon, korozyon vb. ortam etkisi davranışlarından korumaktır [26]. Liflerin oranı arttıkça kompozitin sertliği artar, mukavemet değeri yükselir [29].

Çeşitli parametreleri değiştirilerek kompozitin mekanik özellikleri ayarlanabilmektedir. Bu parametreler; matris ve takviye cinsi, takviye miktarı ve birlikte kullanılan lif ve matris cinsine göre değişen lif/matris arabirim kayma gerilmesidir. Bu nedenle herhangi bir yükleme durumunda kompozit mukavemetinin nasıl olacağının bilinmesi için bu parametrelerin ayrı ayrı nasıl davrandığını bilmek gerekir (Şekil 3.2.) [30].



Şekil 3.2. Elyaf takviyesi ile plastik malzemenin çekme dayanımının artışı [30].

Kompozit malzemelerde; bileşenlerin en iyi özelliklerini bir yerde toplamak önemli bir avantaj sağlar. Kompozit ürün imalatı ile yüksek yorulma dayanımı, yüksek dayanım, rijitlik, yorulma dayanımı, sıcaklık kapasitesi, iyi aşınma ve korozyon direnci, ısı ve termal iletkenliği, estetik görünüm, düşük ağırlık, çekicilik gibi bazı özellikler sağlanabilmektedir [22]. Şekil 3.3.'de malzemeler, farklı özellikleriyle karşılaştırılmıştır.

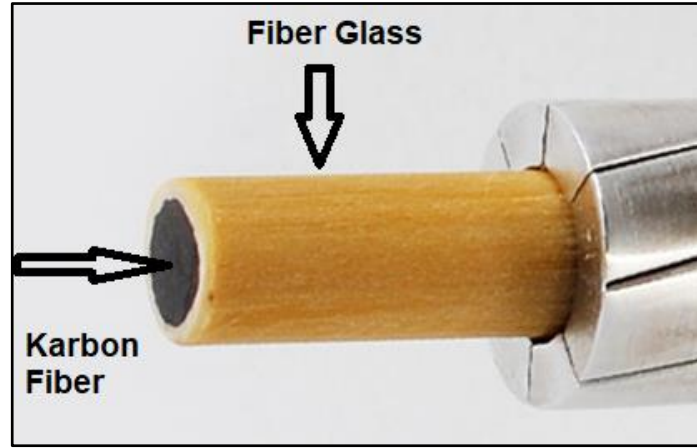


Şekil 3.3. Farklı malzemelerin çeşitli özellikleriyle karşılaştırılması [21].

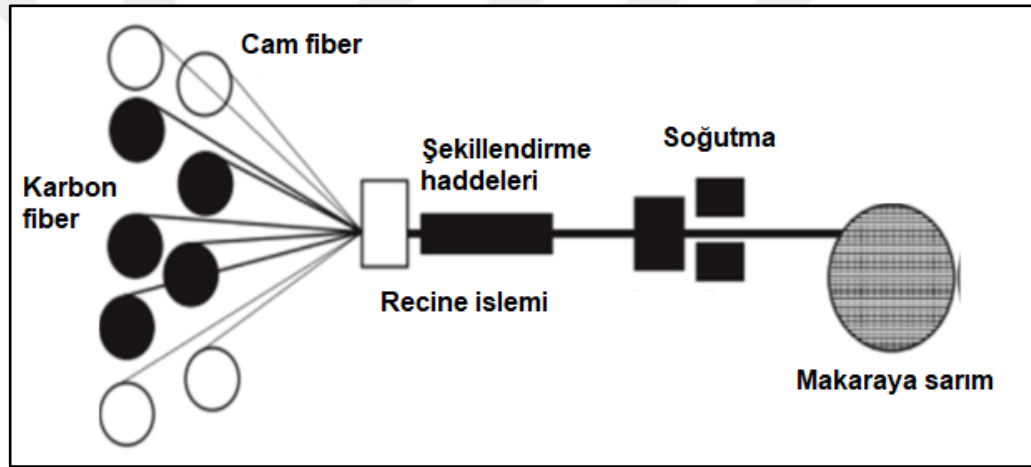
Diğer malzemelere göre kompozit malzemeler uzun ömürlü olması, hafif olmaları, yüksek mekanik ve kimyasal dayanımı gibi birçok üstün özelliklerinden ötürü tercih edilirler. Enerji nakil hatlarında kullanılmaya başlanmasının temel nedenleri de bu

avantajlarıdır. Enerji nakil hatlarında kullanılan kompozit öz fiberglass ve karbon fiberden oluşmaktadır. Fiberglass kısmı cam elyaf takviyeli reçineden, karbon fiber kısmı karbon elyaf takviyeli reçineden oluşmaktadır. Karbon fiber alüminyum iletken kompozit çekirdeğin (ACCC) çekirdeği, yüksek mukavemetli, yani 90%'dan fazla karbon içeriğine ve yüksek mukavemete sahip poliakrilonitril bazlı karbon fiberdir. Kompozitlerin takviyesi için kullanılan cam elyafı genellikle 9 ile 23 mikron arasındadır. Lifler; üzerinde yüzlerce küçük delik bulunan kovanlardan yüksek hızlarla (20-25 m/s.) çekilmektedir. Kovanlar, cam liflerinin serbest bir akışı ile aktığı, sayısı 4000'ni aşabilen delik sayısına sahiptirler. Serbest bir halde akan cam filamentlerinin bir araya getirilmesiyle demet elde edilir. Buflingler'den akan filamentlerin ısı değeri su ve hava ile soğutularak düşürülmektedir. Daha sonra, cam filamentlerinin korunması ve kompozit laminat özelliklerinin artırılması amacıyla kimyasal bir bağlayıcı ile kaplanmaktadır. Bağlayıcı; cam elyafının kalıplama özelliklerini ve elyaf- matriks bileşimini de belirlemektedir İlk olarak, karbon fiber ve cam fiber iplik bobinden çıkarılır ve reçine tankına demetlenir. Tank içerisinde emprenye işlemi tamamlanır. Reçine emdirilmiş karbon ve cam fiber iplikler reçine tankına nüfuz ettikten sonra özel olarak ısıtılan kalıba girerek ekstrüde edilir. Bu yöntemde Karbon fiber ve Cam fiber bir reçine banyosundan belirli bir diziliş ve geometride ısıtılarak sıcak kalıbın içinde Polimerisasyonu tamamlanarak sürekli çekilmesi ile sonsuz kompozit özler pultrüzyon işlemi vasıtasıyla imal edilebilmektedir. Öz, sürekli işleme tutularak üretilir ve daha sonra çeşitli uzunluklarda kesilerek makaralara sarılmaktadır. Karbon fiber alüminyum iletken kompozit çekirdeğin (ACCC) çekirdeği, yüksek mukavemetli, yani 90%'dan fazla karbon içeriğine ve yüksek mukavemete sahip poliakrilonitril bazlı karbon fiberdir. Şekil 3.4.'de kompozit özün yapısı verilmiştir. Burada siyah kısım karbon fiber, onu saran kısım ise fiberglass malzemedir.

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 pultrüzyon işlemi ile üretimi Şekil 3.5.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Kompozit özün yapısı [5]



Şekil 3.5. Pultrüzyon işlemi

3.2. Metod

3.2.1. Kompozit özlü alüminyum iletken üretim aşamaları

Kompozit özlü alüminyum iletken üretim aşamaları 4 ana süreçten oluşur.

- Alüminyum sürekli döküm hattı
- Tel çekme hattı

- Isıl işlem hattı
- Örme hattı

3.2.1.1. Alüminyum sürekli döküm hattı

Döküm süreci Onurmak marka 5 ton/saat şarj kapasiteli 1 adet ergitme fırını, 2 adet 15 ton/saat kapasiteli tutma/dinlendirme fırınlarından oluşmaktadır. Döküm süreci sonucu alüminyum filmaşın imal edilmektedir. Alüminyum filmaşın, dairesel biçimli, haddeleme sonucu elde edilmiş, tel üretiminde kullanılan, 9.5 mm, 12 mm veya 15 mm çapında uzun çubuktur.

Ana hammadde olarak minimum %99.8 saflıktaki alüminyum külçeler kullanılmaktadır (Şekil 3.6.). Alüminyum külçeler eritmek üzere doğalgaz ile çalışan ergitme fırınına şarj edilmektedir (Şekil 3.7). Yaklaşık 750°C’de fırın içinde bulunan brülör vasıtasıyla ergitilen metal, bir kanal vasıtası ile sürekli bir şekilde homojen bir sıcaklık ve alaşımlı ürün yapıyorsa homojen bir karışım elde etmek için 670-730°C sıcaklıktaki dinlendirme fırınına aktarılmaktadır (Şekil 3.8). Ürün kalitesine göre gerekiyorsa, tablet halinde temin edilen Magnezyum, silisyum, demir, bakır, boron, titanyum gibi alüminyum alaşımları burada eklenmektedir. Her döküm öncesi fırın ve yolluk refrakterlerinde kirleticilerin giderilmesi ergitme öncesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.6. %99.8 saflıktaki alüminyum külçe



Şekil 3.7. Döküm prosesi ergime fırınları



Şekil 3.8. Döküm prosesi dinlendirme fırınları

Genelde dökümhaneler metallerin mekanik ve fiziksel özelliklerini koruyabilmesi için daha fazla flakslama işlemi yapmaktadır. Flakslar fırına şarj edilerek safsızlıklar aglomere ve oksitler de absorbe edilmektedir. Aynı zamanda flakslama metal kazanımını da artırmaktadır. Flakslamanın avantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Sıvı metali oksidasyondan korumaktadır,
- Düşük yüzey gerilimine sahip alüminyum damlacıklarının birleşmesini sağlayarak yüzey gerilimlerini büyütür, curufu kafes yapısı içine kaçmasını engellemektedir,
- Curufun metal ile ayrılmasını ve sıvı ergiyeğin arındırılmasını kolaylaştırır.

Alüminyumun hidrojene ilgisi yüksektir. Ergimiş metalin H_2 absorplaması mamul içinde gözeneklere sebep olur. Malzemenin mekanik özelliklerine olumsuz bir etkiye bulunur. Gözenek oluşumunu engellemek ve yüksek kalitede döküm yapabilmek için ergitme fırınında azot bazlı gaz alma tableti kullanılmıştır. Azot bazlı gaz alıcı tabletler ile fırın içine daldırma tekniğine göre gaz alma işlemi gerçekleştirilir. Amaç

yapıdaki havanın oksidasyonunu almaya meyilli olan yüksek olan Al içindeki O_2 ve H gibi gazların daha aktif N ile bileşik oluşturup cüruf halinde yüzeye çıkmasıdır. Daha sonra yapı üzerinde oluşan oksit(cüruf) tabakasını çekmek için, yüzey üzerinde yüzey örtü flakslarıyla örtü oluşturulur. Yüzey örtü flaksları sıvı ergiyik yüzeylerinde koruyucu tabaka oluşturmaktadır. Metal kayıpları ve oksitlenme azaltılmaktadır [32].

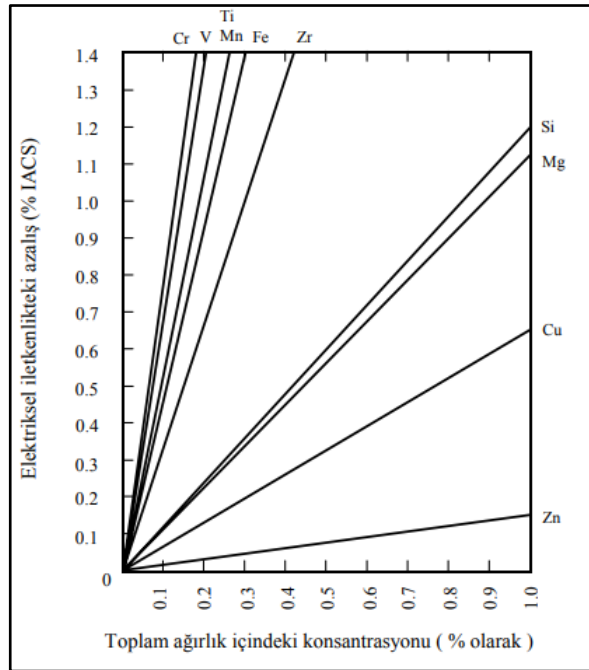
Sadece gaz alma tabletiyle değil aynı zamanda sıvı metal transferi sırasında fırın ile tandiş arasındaki yolluklarda argon gazı kullanılarak da hidrojen gazı elimine edilmeye çalışılmıştır. Argon gazı sıvı metal ile reaksiyona girmez, sıvı metal içinde çözünmez bir asal gazdır. Argon gazı yüzeye doğru kabarcık oluşturmaktadır. Bu kabarcıklar hidrojen gazını toplayarak sıvı metali arındırmaktadır.

Ergitme işlemi esnasında alüminyum atmosferik oksijenle girdiği reaksiyon nedeniyle oksitlenmektedir. Ergitme işlemi sonunda eriyik oksitlemekte ve farklı katı inklüzyonlar içermektedir. Bunlar; katı şarjda kirletici, fırından gelen refrakter parçacıkları ve cüruf artıklarıdır [32]. Dinlendirme fırınına cüruf giderme flaksları atılarak metal, cüruflarından gelberiler ile temizlenmektedir.

Alüminyum oksit cürufun temel bileşenidir. Alüminyum oksidin termodinamik kararlılığı yüksektir. Özellikle ikincil ergitme süreçlerinde, ergitmenin verimini doğrudan etki eden temel parametre cüruf oluşumu ve cüruf oluşumuna bağlı metal kayıplarıdır. Oksidasyon ile metalik alüminyum kaybı süreci iki şekilde işlenir;

- Sıvı metal okside olarak alüminyum okside dönüşür ve cüruf olarak dışarı alınır,
- Bu süreç ile beraber cüruf oluşumu ile oksit filminin yarattığı kafes benzeri yapılar içine küçük alüminyum taneciklerini de alarak hapseder ve metal kaybına neden olur [33].

İnklüzyonlar, sonraki proseslerde işleme esnasında istenmeyen mekanik ve karakteristik problemleri önlemek için eriyikten, dökümden önce alınmaktadır. Curuf giderme flaksının ekzotermik etkisi yüksektir, yaklaşık olarak 680–690 °C’de civarında reaksiyona girer. Erimiş alüminyum içerisindeki oksitler ve metal olmayan kirleticileri içine alıp örtü tabakası oluşturur. Bu örtünün içindeki metalik alüminyum oranı düşük seviyededir. Sürekli kullanıldığı zaman fırın duvarında oluşan oksitlenmeyi önemli ölçüde azaltmaktadır [32]. İletken olarak kullanılacak 1000 serisi alüminyum içerisinde istenmeden olması gereken limitlerin üzerlerinde bulunan Ti, V ve Cr gibi iletkenliği kötüleştiren elementlerin kontrol altına alınması gerekir. Bu durum göz önünde tutularak halen iletken alüminyum üreten ve kullananlar Cr+Ti+V ve Mn gibi yabancı elementlerin miktarları hususunda daha titiz davranmakta ve nihai ürünün yüksek elektrik iletkenlik değerlerini direkt olarak etkileyen hususlar üzerinde titizlikle durmaktadırlar. Alüminyumdaki refakat elementlerinin iletkenlik üzerindeki etkileri ve bunların miktarları Şekil 3.9.’da gösterilmiştir. Şekil 3.9.’da anlaşıldığı gibi Zn, Cu, Mg’ un alüminyum iletkenliğini az miktarda düşürmelerine karşılık Ti, Zr, V, Mn ve Cr fazla düşürürler [34].



Şekil 3.9. Alüminyumdaki refakat elementlerinin iletkenlik üzerine etkileri [33]

Yakın yıllara kadar iletken-alüminyum hammaddesinde bulunan refakat elementlerinden Fe'nin fazla uğraşmadan %0.15 'in altında ve Ti+V+Cr+Mn toplamının nadiren 100 ppm geçmesi problemsiz olarak mümkün iken günümüzde çevre atık kontrolleri nedeniyle bu saflıklara ulaşabilmek sorun haline gelmiştir. Bugün için, daha az saflıkta hammadde kullanmak zorunluluğu mevcuttur zira yapılacak her saflaştırma işlemi “çevresel etkiler” açısından değerlendirildiği için hem prosesleri çok pahalı olmakta hemde bu istenmeyen elementleri ana ham maddeden ayırırken maalesef tekrar kirlenilmelerine tam olarak mani olunamamaktadır. Nitekim alüminanın ergitildiği fırında çalışacak anodun hazırlanmasında kullanılan kok'ta daha fazla vanadyum mevcuttur. Çevre sağlık sorunlarından ötürü elektroliz selüllerinin doğaya doğrudan açık tüm çıkışları kapatılmış bulunmaktadır. Reaksiyon gazları ve uçucu maddeler (Florür'ler olarak) kuru gaz temizleme tesislerine gönderilirler. Bu tür tesisler kuru-adsorption sistemine göre çalışırlar. Böylece taze alumina bir reaktörde gazların aksi yön akışına tabi tutulurlar ve katı gaz bağlantıları alüminada toplanıp birikirler. Sonunda elektrolize gidecek olan hammadde maalesef refakat elementlerince zenginleşmiş olur ve 130-200 ppm seviyelerine gelir [34].

Elektrik ve alüminyum tel endüstrisinde, erimiş alüminyumdaki iletkenliği etkileyen Ti, V ve diğer safsızlık elemanlarını gidermek ve homojen katılaşmayı sağlamak için Alüminyum Boron master alaşımı aşılması yapılır. Sıvı alüminyum içindeki Ti+Cr+V+Zr 'un yaklaşık %60-80'ini (Mangan hariç) bor bağlantılarına çevirmek mümkün olmaktadır. Sıvı alüminyum içinde solusyon halindeki bu refakat elementleri bor bileşenleri olarak CrB, VB, TiB, ZrB solusyondan ayrışırlar. Bu tanecikler bu halleriyle alüminyumun iletkenliğini artık etkileyemezler [34]. Dinlendirme fırınlarından sıvı metal aktarımı sonucunda, bir yolluk vasıtasıyla döküm makinesine çelik bant ile birlikte çalışan yüzeyinde kanal bulunan bakır döküm tekeri yardımıyla kalıba su soğutma işlemi yapılarak 450°C-500°C sıcaklık aralığında yaklaşık 2090 mm² kesit alanlı alüminyum bara elde edilmektedir (Şekil 3.10.). Sıvı metal yolluktan geçerken 30 ppm seviyesinde seramik filtreler kullanılarak inküzyonların diğer prosese geçmesi engellenir.



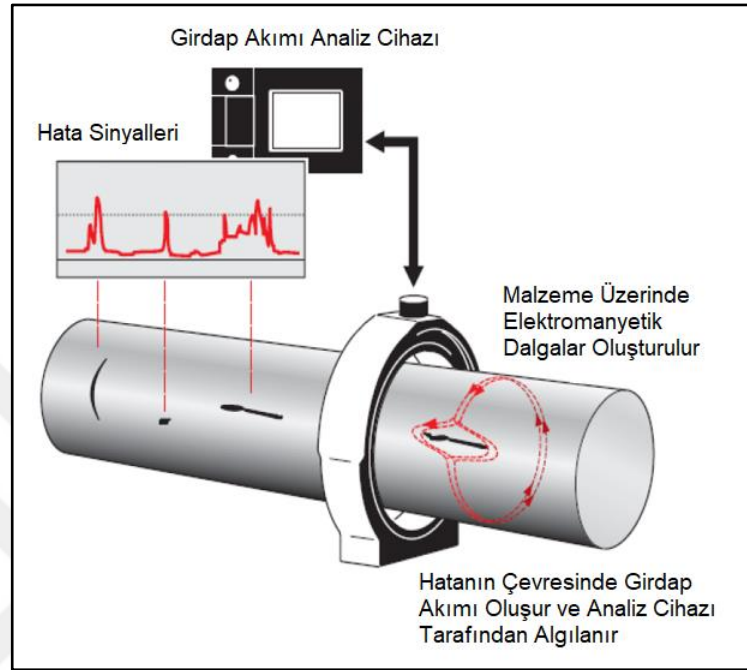
Şekil 3.10. Döküm prosesi bakır teker soğutma ünitesi ve alüminyum bara oluşumu

Alüminyum bara, döküm makinesi ile birlikte çalışan hadde makinesinde 9.5, 12 veya 15 mm çaplı alüminyum filmaşın şekline dönüştürülmektedir (Şekil 3.11.). Hadde makinasında çift nolu haddeler yuvarlak kesitli, tek nolu haddeler ise üçgen kesitlidir. Bara hadde makinasından geçerken hadde içinde bulunan diskler sayesinde şekil almaktadır. Bara yuvarlak şekile dönüştürülürken haddelere yapışmasını engellemek ve kolay şekillendirilebilmek için %1-%3 oranında bor yağı, su ile karıştırılarak elde edilen emülsiyon sıvısı kullanılmaktadır.



Şekil 3.11. Döküm prosesi haddeleme ünitesi

Filmaşın sarımından önce Prüftechnik marka girdap akımı cihazıyla girdap akımlarıyla çatlak kontrolü yapılarak kusursuz filmaşın üretimi sağlanmaktadır (Şekil 3.12.).

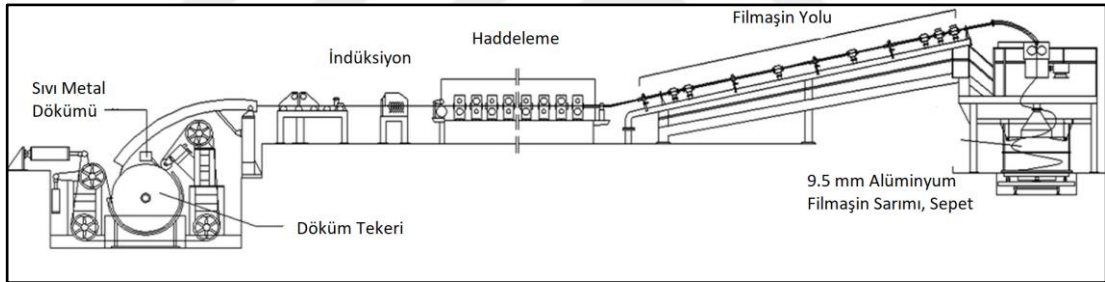


Şekil 3.12. Girap akımı cihazı çalışma prensibi

Alüminyum filmaşın sıcaklığı 190°C - 210°C 'dir. Alüminyum filmaşın deveboynu diye isimlendirilen bir aktarma ile filmaşın sepetine sarılmaktadır (Şekil 3.13.). Sarılan Kangallar çekme makinelerinde kullanılacak şekilde ve yaklaşık 1.5-4 ton civarında yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda dökümü etkileyen parametreleri belirlemek ve bu parametrelerin etkilerini, döküm sonucunda ortaya çıkan ürün üzerinden test edilip, iletkenlik ve mukavemet üzerinde uygun tespitler yapılmaktadır. Şekil 3.14.'de Sürekli döküm ve haddeleme makinası gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Döküm prosesi sepet ünitesi



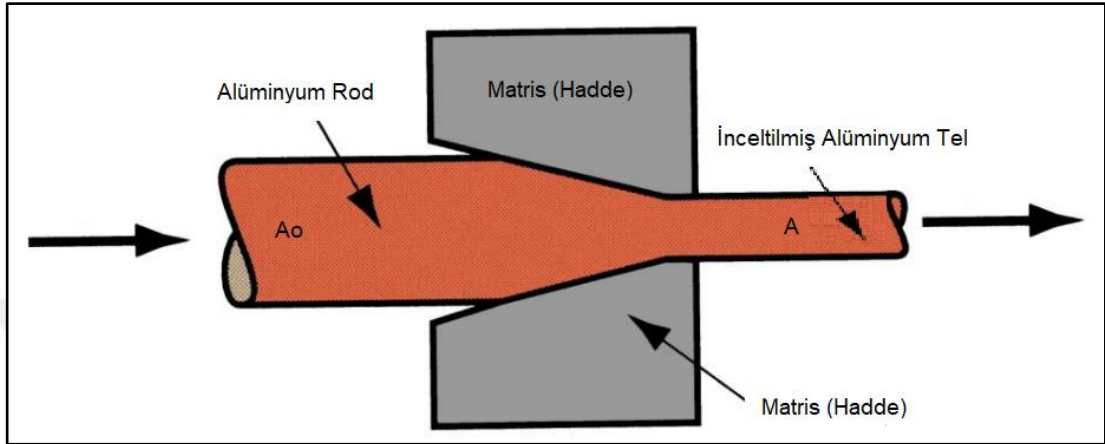
Şekil 3.14. Sürekli döküm ve haddeleme makinası

3.2.1.2. Tel çekme prosesi

Kalın kesite sahip bir telin hadde (matris) içerisinde geçirildikten sonra kesitinin küçültülme işlemine tel çekme denir. Tel kesitleri genelde daireseldir. Sürekli alüminyum filmaşın üretim hattından gelen 9.5 ve 12 mm çaplı alüminyum filmaşınlar Hefei Smarter marka tel çekme ünitelerinde soğuk çekilir, 1.00- 5.00 mm çaplarında tel formuna getirilir.

Telin sürekli olarak ardışık tel çekme haddelerinden geçirilerek istenilen çapa getirilir. Prosesteki ardışık haddelerin çapları telin giriş çapından küçük olup tel çapı

her bir haddeden geçtikçe küçülür. Tel çekme sürecinde, hiçbir ürünün atılması istenmez, bundan ötürü atıksız bir süreçtir. Telin hacimi çekilse aynıdır, sadece telin boyu süner veya uzar. Şekil 3.15.'de Tel çekme işlemi haddeden geçim işlemi gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Tel çekme işlemi haddeden geçim işlemi, A₀: Tel çekme öncesi, A: Tel çekme sonrası

Tel çekme işleminde şekillendirilme esnasında ısı uygulanmaz. Bu nedenle soğuk şekillendirme olarak isimlendirilir. Ancak, tel ince çaplara çekildiğinde, şekillendirme işleminden dolayı tel mekanik özellikleri değiştiğinden sıcaklık da artar. Tel çekme için, çekme makinesi, tel, yağlayıcı ve hadde gereklidir. Kullanılan yağlayıcının tipine göre; su veya sıvı yağ kullanılırsa ıslak ya da yağ tel çekme, kuru tip yağlayıcılar kullanılırsa kuru tel çekme olarak isimlendirilir [35].

Yarı mamul olan filmaşın tel çekme makinalarının giriş kısmına getirilerek deveboynu denilen kuleden geçirilmekte ve tel çekme makinasına verilmektedir. Verilen filmaşın sipariş emrine göre hangi nihai ürün isteniyorsa o nihai ürünü oluşturan tel çaplarına göre hadde istasyonlarında hadde çapları ayarı yapılarak soğuk çekilmektedir (Şekil 3.16.). Soğuk çekilen teller bobinlere sarılmaktadır.



Şekil 3.16. Tel çekme prosesi

Şekillendirmede kritik noktalardan biri yağlayıcılardır. Yağlayıcıların asıl görevi matris ve ürün aşınmasını önleyen ve sürtünmeyi azaltmaktır. Diğer görevleri ise; ısı geçişlerine engel olurlar ve çalışma parçası sıcaklığını korurlar. Alüminyum filmaşınlar çekilirken tel çekme yağı kullanılmaktadır. Tel çekme yağlarının yüksek sıcaklıklarda olması haddelerin sarmasına neden olabilir. Bu nedenle yaklaşık olarak (40-50°C) gibi sıcaklıklarda tutulmalıdırlar. Tel çekme yağı sürtünmeyi azaltır ve şekillendirme işlemini kolaylaştırır. Yağını sıcaklığını düşük tutmak için soğutma eşanjörü kullanılır. Soğutma eşanjörü ile ısınan tel çekme yağını kapalı çevrim sistemiyle soğutulmaktadır [36].

Geleneksel iletkenlerde kullanılan alüminyum teller yuvarlak şekilli haddelerden geçirilerek elde edilir (Şekil 3.17.). ACCC iletkenlerde ise trapez şekilli teller üretebilmek için trapez şeklinde özel haddelerin tasarlanması gerekmektedir (Şekil 3.18.).

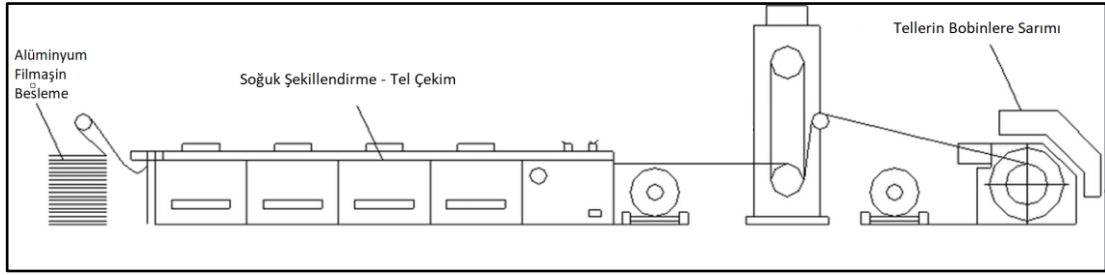


Şekil 3.17. Geleneksel iletken tel haddeleri



Şekil 3.18. 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 3.19.'da Tel Çekme prosesi akışı gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Tel çekme prosesi akış diyagramı

Tel çekmenin matematiksel izahı;

Dairesel kesitli bir telin çapı $d(\text{mm})$ ise, bu telin kesit alanı aşağıdaki formülle belirlenir.

$$A = \frac{\pi * (d)^2}{4} \quad (3.1)$$

A: Telin kesit alanı (mm^2), d: Tel çapı (mm)

$$A_0 = \frac{\pi * (d_0)^2}{4} \quad (3.2)$$

(d_0) çaplı filmanın kesit alanı

$$A_1 = \frac{\pi * (d_1)^2}{4} \quad (3.3)$$

(d_1) 1. çekim sonundaki kesit alanı

$$A_n = \frac{\pi * (d_n)^2}{4} \quad (3.4)$$

(d_n) n. çekim sonundaki kesit alanı

Genel olarak tel çekiminde (n.) çekim işlemi mamulün eldesinde kullanılır. Dairesel kesitli tellerde, tel kesit alanı olan A (mm^2) değeri, telin d (mm) çapının karesi ile doğru orantılıdır ve kesit alanlarının birbirine oranları ile aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$\frac{A_n}{A_{(n-1)}} = \left(\frac{d_n}{d_{(n-1)}} \right)^2 \quad (3.5)$$

$$\frac{A_n}{A_{(0)}} = \left(\frac{d_n}{d_{(0)}} \right)^2 \quad (3.6)$$

R harfi ile tariflenen kesit alan redüksiyon oranı, tel çekim işlemleri esnasında, kesit alanının azalma bağıntılarını gösterir. Redüksiyon oranı genel olarak birbirini takip eden kesitler arasında tariflenebildiği gibi, giriş ve çıkış tel kesitleri arasında da tariflenebilir. Redüksiyon % olarak ifade edilir. Tel kesit redüksiyon oranı R (%) değeri, telin çekimden önceki kesit alanından, çekimden sonraki kesit alanın çıkarılması ile bulunan fark kesit alanının, telin çekimden önceki kesit alanına bölünmesi ile bulunur.

$$R_1 = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = 1 - \left(\frac{A_1}{A_0} \right) = 1 - \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^2 \quad (3.7)$$

$$R_1 = 1 - \left(\frac{d_n}{d_{(n-1)}} \right)^2 \quad (3.8)$$

3.2.1.3. Isıl işlem prosesi

Çekilen tellere istenen mukavemet, iletkenlik ve uzama değerlerini yakalayabilmesi için Onurmak marka ısıtma fırınlarında ısıtma işlemi uygulanması gerçekleştirilir. Isıtma işlemi, alaşımlı ya da alaşımsız katı durumdaki metallerde istenen özellikleri kazandırmak için uygulanan ısıtma, soğutma işlemidir.

Metallere belirli sıcaklıkta tavlama yapılarak yapılarını istenen hale getirmek için uygulanır. Sonra metale ani soğutma işlemi uygulanır ve ani soğutma işlemiyle birlikte granüller denge fazı olmayan bir faza hapsolür. Bu faz genelde parçanın ya da malzemenin üstün mekanik özellik gösteren fazıdır (Şekil 3.20.)



Şekil 3.20. Alüminyum filmaşine uygulanan ısıtma işlemi

Isıl işlem alüminyum filmaşine uygulanabildiği gibi alüminyum tellere de uygulanabilir. ACCC Lisbon iletkeni için üretilen alüminyum teller, tel çekme ünitesinde bobinlere sarılır. Bobinlere sarılan teller paletin üzerine konarak ısıtıl işlem fırınına yerleştirilir (Şekil 3.21.). 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 süre çok önemlidir. İstenilen mekanik özellikler uygun sıcaklıkta uygun süreyle tavlınırsa yakalanabilir.



Şekil 3.21. Alüminyum tellere uygulanan ısıtıl işlem

3.2.1.4. Örme prosesi

Mekanik ve enerji taşıması açıdan havai hatlarda elverişli iletkenlerin tercih edilmesi gerekir. İletkenler, gergi ve askı bölgelerinde meydana gelen titreşimlerin sebep olduğu iletkenin kopmasını engellemek ve esnekliği sağlamak amacıyla spiral biçiminde örülür. Katmanlar örülü iletkenlerde birbirine ters yönde sarılır. Bunun nedeni tellerin açılmaması ve zıt yöndeki manyetik alanın birbirini yok etmesidir [3,4].

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.

Isıl işlem görmüş standart içerisindeki bobinlere sarılmış alüminyum teller Kabmak marka 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 da iletkenin uzunluğu tespit edilmektedir.

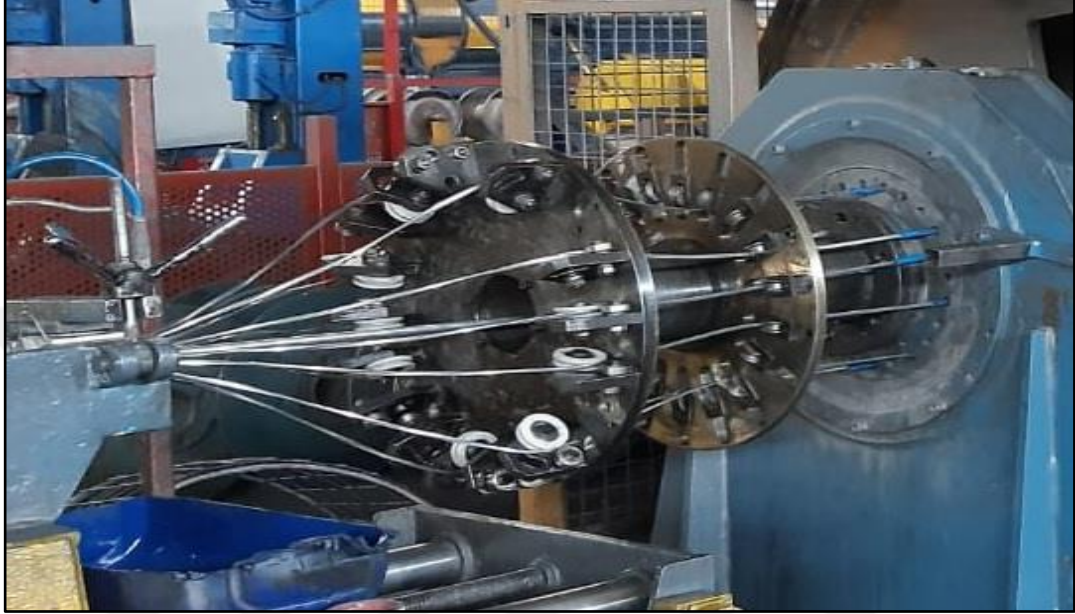
Örme makinalarında ACSR, AAC, AAAC ve ACCC iletkenlerinin üretimleri yapılmaktadır (Şekil 3.22.).



Şekil 3.22. Örme makinesi

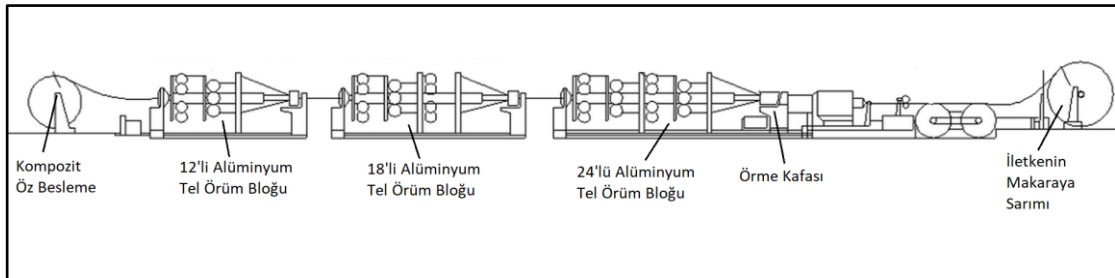
Trapez şekilli alüminyum tellerin iletken örümü sırasında düzgün oturabilmesi için örme makinelerinde ek teçhizatlar kullanılması gerekmektedir. Örme makinesine,

iletkeni oluşturmak üzere makineye yerleştirilen tellerin yüzeyi çizilmeden iletken örümüne düzgün girmesini sağlayacak özel tasarlanan bir örme kafası eklenmelidir (Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. 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 örme girdiği haddeden önce emülsiyon yağı kullanılması haddeyle tel arası sürtünmeyi minimize ederek yüzey kalitesini artıracaktır. Şekil 3.24.'de örme prosesi akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Örme prosesi akış diyagramı

3.3. Analizler

3.3.1. Alüminyum filmaşinde iletkenlik ve mukavemet değerlerinin bulunması

Döküm prosesinde imalatı gerçekleştirilen her filmaşine mukavemet ve iletkenlik kontrolü yapılır. Mukavemete etki eden parametre, döküm hızı ve alüminyumun içeriğidir. Döküm deviri yavaşlatıldığı zaman sıcak haddeleme yöntemiyle şekillendirme sonrası üretilen alüminyum filmaşin daha çok soğutulduğundan tane boyutları küçülecektir. Küçülen tane boyutu ile dislokasyon hareketlerini engelleyen tane sınırlarının miktarı artmasıyla malzeme mukavemeti artacaktır. Döküm deviri artırıldığı zaman daha az soğutulan alüminyumun mukavemeti düşük olacaktır. Sepetten çıkan her filmaşine mukavemet, uzama ve iletkenlik testleri yapılır. Alüminyum filmaşinler EN 1715-2 standardına belirlenen mukavemet, uzama ve iletkenlik değerlerine göre gruplandırılmaktadır. (H14 = Min 115- Maks 130 MPa mukavemetinde, H13 = Min 105- Maks 120 MPa mukavemetinde, H12 = Min 95- Maks 110 MPa mukavemetinde, H11 = Min 80- Maks 95 MPa mukavemetinde, O = Min 60- Maks 80 MPa mukavemetindedir). EN 1715-2 standardında bulunan tabloya göre filmaşinlerin mukavemet sınıflandırılması yapılır (Tablo 3.2).

İletkenlik için; kullanılan hammaddenin saflık değeri iletkenliğe etki eden en önemli parametredir. Dökümde kullanılan hammadde %99,8 saflıkta alüminyum külçelerden oluşmaktadır. Alüminyumun saflığının yanı sıra ihtiva ettiği %0,2 diğer elementlerin içerisindeki titanyum ve vanadyum da tanecik inceltici özelliğinden dolayı iletkenliğe olumsuz yönde etki eder. Sıvı alüminyum içindeki Ti+Cr+V+Zr ‘un yaklaşık %60-80’ini bor bağlantılarına çevirmek mümkün olmaktadır. Sıvı alüminyum içinde solusyon halindeki bu refakat elementleri bor bileşenleri olarak CrB, VB, TiB, ZrB solusyondan ayrışırlar. Bu tanecikler bu halleriyle alüminyumun iletkenliğini artık etkileyemezler. Kimyasal analizler, fırında sıvı hale getirilmiş alüminyumun bir kalıba dökülmesiyle alınır. Alınan numuneler yüzey işlemlerinden sonra spektrometre test cihazında analizi yapılır.

Tablo 3.2. EN 1715-2 standardında belirtilen mekaniksel ve elektriksel değerler

Tanım	Sınıf	Mekanik Özellikler		Elektriksel Özellikler (sıcaklık:20°C)		
		Çekme Dayanımı		Uzama	Direnç	İletkenlik
		MPa		A _{100 mm}	μΩ.cm	% IACS
		Min	Max	%	Max.	Min.
EN AW-1110 (Al 99,1)	F	125	145	15	2,97	58
	H14	115	130	14	2,801	61,5
EN AW -1370 (Al 99,7) ve	H13	105	120	16	2,801	61,5
	H12	95	110	20	2,801	61,5
EN AW -1350 (Al 99,7)	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
	F	210	280	16	5,2	33,1
EN AW -5154A (Al Mg3,5)	O	210	275	20	5,1	33,8
	O3	210	260	25	5,1	33,8
EN AW 6101 (Al MgSi)	T1 ^a	190	-	17	3,5	49,2
	T4 ^a	150	-	23	3,5	49,2
EN AW -6201 (Al Mg0,7Si)	T1 ^a	205	-	17	3,6	47,8
	T4 ^a	160	-	21	3,6	47,8
EN AW 8030 (AlFeCu)	O	60	110	40	2,8	60,2
	H24	100	150	25	2,86	60,2
EN AW -8176 (AlFeSi)	O	60	110	40	2,86	60,2
	H24	100	150	25	2,86	60,2

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

Alüminyum telde istenen bu değerlerin örüm öncesi ve örüm sonrası yakalanabilmesi için iletkenliği en yüksek olan alüminyum filmaşın gruplarından O tipi uygun olarak görülmüştür. Döküm prosesinde üretilen H11 grubu alüminyum filmaşına uygulanan ısıtıl işlem sonrası elde edilmektedir. H11 grubu 4 filmaşına yapılan ısıtıl

işlem sürecinden sonra üretilen O tipi filmaşinlerden iletkenliği en yüksek olan (%63,12 IACS ve %63,01 IACS) iki filmaşin kullanılmıştır (Tablo 3.3.).

Tablo 3.3. H11 filmaşinden O tipi filmaşin eldesi

Girdiler			Süreç			Çıktılar	
Isıl İşlem Öncesi			Uygulanan Isıl İşlem			Isıl İşlem Sonrası Değerler	
H11 Tipi Alüminyum Filmaşin			Alüminyum Filmaşin			O Tipi Alüminyum Filmaşin	
Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Derece °C	Saat h	Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %
95	62,19	38,6	330	5	72	62,68	50,76
93	62,43	36,8	330	5	79	62,81	48,90
92	62,36	36	330	5	68	63,01	49,60
93	62,28	36,2	330	5	68	63,12	49,20

O tipi filmaşinlerin tel çekme prosesinde kullanılmasıyla örüm öncesi tellerin uzama değerlerinin %20 nin altında olduğu, mukavemet değerlerinin 95 MPa'nın üzerinde geldiği görülmüştür. Tellere yapılan ısıl işlem ile örüm öncesi uzamalar yükselmiş, mukavemet ve iletkenlik değerleri sağlanmış. Fakat H11 Filmaşine Isıl işlem uygulanmasıyla elde edilen O tipi filmaşinden üretilen tellere tekrar ısıl işlem uygulandığında sağlanan mukavemet değeri alt sınıra 60 MPa'ya yakın olması bu malzemenin yumuşak bir ürün olması anlamına gelmektedir. Mukavemet değerinin alt sınıra yakın olmasından dolayı örüm prosesinde tellerin bükümü esnasında tellerin sünmesine ve çapın düşmesine neden olmuştur. Örümünden sonra alınan numuneye yapılan testlerde ise bazı tellerin uzama değerlerinin %20 altına düştüğü görülmüştür.

Tel üretiminde, O tipi filmaşinde alınan olumsuz sonuç sonrası iletkenliği en yüksek filmaşin gurubu olan H11 tipi filmaşin kullanılmıştır. H11 filmaşinin tel çekme prosesinde kullanılmasıyla üretilen trapez tellerin uzama değerinin %20'den ve

iletkenlik değerleri %63 IACS'den dūřuk olduğu görülmüştür. Bu tellere ısı ışlem uygulanması sonucu trapez şeklindeki Alüminyum tellerin örüm öncesi ve örüm sonrası özellikleri sağladığı görülmüştür.

ACCC Lisbon iletkeninin büküm sonunda standartta belirtilen değerleri yakalayabilmek için kullanılan alüminyum filmaşınların mukavemet, uzama ve iletkenlik değerleri önemlidir. Alüminyum filmaşınlerden soğuk şekillendirmeyle üretilen teller tel çekme makinalarında, bobinlere sarılırlar. Her bobine mukavemet, uzama ve iletkenlik testleri yapılarak değerler belirlenir. Farklı iletkenlik, mukavemet ve uzama verilerine ait alüminyum filmaşınlerden üretilen tellerin sonuçları ve büküm sonunda istenilen değerlerin elde edilmesi için kullanılan tellerin sağlaması gereken değer aralıkları aşağıdaki tablolarda gösterilmektedir. Alüminyum filmaşından soğuk plastik şekillendirme ile elde edilen trapez şeklindeki tellere istenen elektriksel ve mekaniksel özelliklerin kazandırılması için ısı ışlem uygulanır. Malzeme içerisindeki dislokasyon gerilmeleri azaltılır, yeniden kristalleşme, tanecik büyümesi ve toparlanmayla istenilen mekanik ve elektriksel özellikler kazandırılır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık olarak ergime sıcaklığının 0,5 katıdır [9]. Alüminyum ergime sıcaklığı 660 C'dir. Bu durumda amaçlanan özelliklerin kazandırılması için yaklaşık olarak 330 C ısı ışlem uygulaması yapılmıştır. Kaç saat ve kaç derece ısı ışlem sonucunda istenilen özelliklerin yakalanacağı, farklı filmaşınler kullanılarak üretilen alüminyum tellere farklı derece ve saatte yapılan ısı ışlem uygulaması sonuçlarıyla oluşturulan tablolardaki veriler yorumlanarak belirlenmiştir. Isı ışlem sonucunda değerleri standartlar içerisinde gelen tellerin örme prosesinde kullanılmasıyla üretilen ACCC Lisbon iletkeninden numune alınarak standartlarda belirtilen testler yapılmış ve sonuçları anlatılmıştır.

3.3.2. ACCC Lisbon iletkeni için yapılan rutin testler

Alüminyuma uygulanan ısı ışlem sonucu standartları sağlayan teller ile üretilen ACCC Lisbon iletkeni kontrol testleri anlatılacaktır.  letkenlerin henüz üretilmeye başlanmasıyla birlikte iletken testleri de başlar.  letkenler için, standartlardan

faaydalanılarak nominal değerlere ve testlerin nasıl yapılacağına dair bilgilere ulaşılr. Bunun sonucunda her iletken çeşidi için bir teknik şartname oluşturulur. ACCC Lisbon iletkeni için ASTM B 857 / B 609 ve EN 50540 standartlarına göre teknik şartname oluşturulmuştur. Tablo 3.4.'de rutin testlerde kullanılacak olan iletkenin teknik özellik değerleri verilmiştir.

ACCC Lisbon iletkeni toplamda 16 adet trapez şeklindeki alüminyum telden meydana gelir. Birbirlerine ters yönlerde örölmüş, iki katmandan oluşan iletkenin üst katmanında 10, alt katmanında 6 adet trapez şeklinde alüminyum tel mevcuttur.

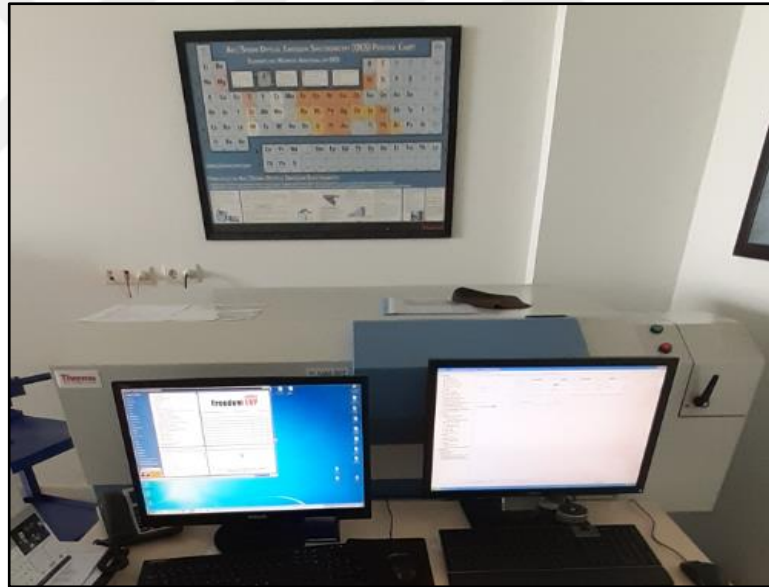
Tablo 3.4. ACCC Lisbon iletkeni teknik özellikleri

ACCC Lisbon İletkeni Teknik Özellikleri		
Alüminyum kesit alanı (Nominal)	mm ²	315,5
Kompozit özün kesit alanı (Nominal)	mm ²	39,7
İletkenin kesit alanı (Nominal)	mm ²	355,2
Kompozit özün çapı (Nominal)	mm	7,11
İletkenin çapı (Nominal)	mm	21.79
Alüminyum birim ağırlığı (Nominal)	kg/km	871,6
Kompozit özün birim ağırlığı (Nominal)	kg/km	76
İletkenin birim ağırlığı (Nominal)	kg/km	947,6
İletkenin 20°C'daki direnci (Maksimum)	Ω/km	0,0887

3.3.2.1. Kimyasal analiz

Alüminyum külçelerin analizleri Thermo Scientific marka spektrometre cihazı ile yapılır (Şekil 3.25.). Bu cihaz ile katı metal numunelerin elementel analizi gerçekleştirilir ve geniş konsantrasyon aralığını kapsayan katı metal örneklerinde Lityum'dan Uranyum'a kadar geniş bir element yelpazesini analiz ederek çok yüksek doğruluk, yüksek hassasiyet ve düşük tespit sınırları sağlar.

Elektrik akımına maruz bırakılan elementler farklı özelliklerde ışımlar göstermektedir. Spektrometre cihazı ile bu ışımlar analiz edildiğinde her elementin ayrı bir spektrum çizgisi olduğu görülmektedir. Buna göre metalik malzemeler içindeki element ve miktarları belirlenir (Şekil 3.26.).



Şekil 3.25. Spektrometre test cihazı

Element	Birimler	✓4	✓3	✓2	✓1	AVG	SD	SD%
Al%	%	99.83801	99.84004	99.84557	99.82549	99.83728	0.008486	0.01
Si	%	0.04608	0.04516	0.04291	0.04768	0.04546	0.001989	4.38
Mg	%	0.00630	0.00626	0.00614	0.00645	0.00629	0.000127	2.02
Fe	%	0.06745	0.06552	0.06208	0.07247	0.06688	0.004337	6.48
Cu	%	0.00056	0.00053	0.00051	0.00058	0.00054	0.000033	6.03
Ti	%	0.00314	0.00352	0.00331	0.00324	0.00330	0.000163	4.94
B	%	0.00102	0.00145	0.00121	0.00116	0.00121	0.000179	14.79
Ni	%	0.00232	0.00222	0.00232	0.00282	0.00242	0.000268	11.07
Zn	%	0.00660	0.00635	0.00663	0.00786	0.00686	0.000676	9.85
Mn	%	0.00056	0.00043	0.00068	0.00103	0.00067	0.000260	38.57
Cr	%	0.00069	0.00073	0.00084	0.00103	0.00082	0.000154	18.81
Ga	%	0.01307	0.01304	0.01283	0.01360	0.01313	0.000329	2.51
Na	%	0.00040	0.00041	0.00037	0.00051	0.00042	0.000061	14.46
Pb	%	0.00402	0.00406	0.00440	0.00533	0.00445	0.000609	13.67
V	%	0.00924	0.00972	0.00959	0.01013	0.00967	0.000366	3.78
Zr	%	0.00055	0.00056	0.00059	0.00064	0.00059	0.000040	6.79

Şekil 3.26. Spektrometre cihazında analizi yapılan %99.8 saf alüminyum

3.3.2.2. Adım yönü

Sağ örüm veya sol örüm olarak adlandırılan adım yönüdür. Sağ örümde teller Z harfinin orta bölümünün yönüne uygun olur. Sol örümde teller, S harfinin orta bölümünün yönüne uygun olur. Alt ve üst katmanın adım yönleri birbirlerine zıt yönde olmalıdır. Dış katman sağ örüm ise onun altındaki katman sol örüm yönünde olmalıdır. Şekil 4.5.'de ACCC Lisbon iletkeninin üst katmanında Z harfine uygundur. 'Z' harfi EN 50540 standardında da sağ örüm yönünü göstermektedir (Şekil 3.27.).

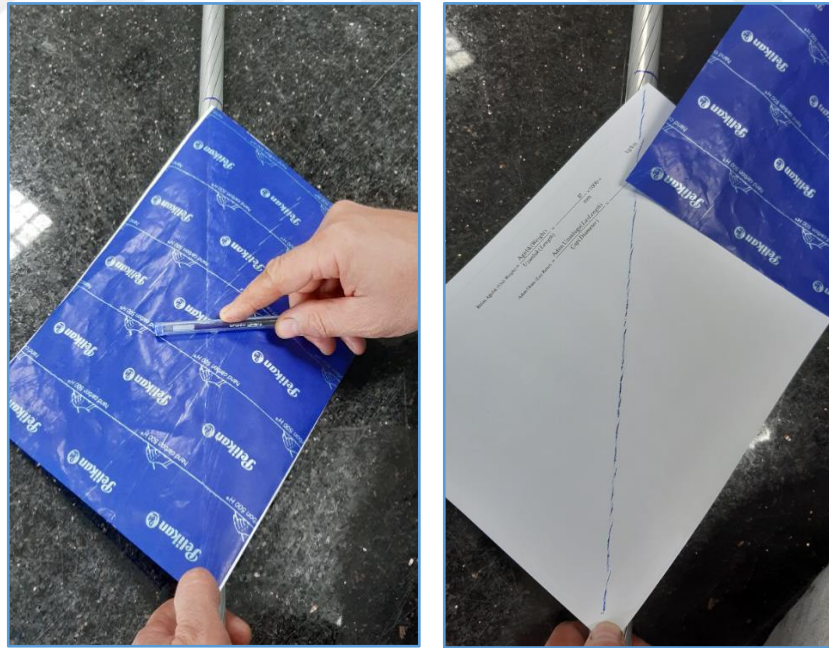


Şekil 3.27. ACCC Lisbon iletkeninin sağ adım yönünde örüldüğünün gösterilişi

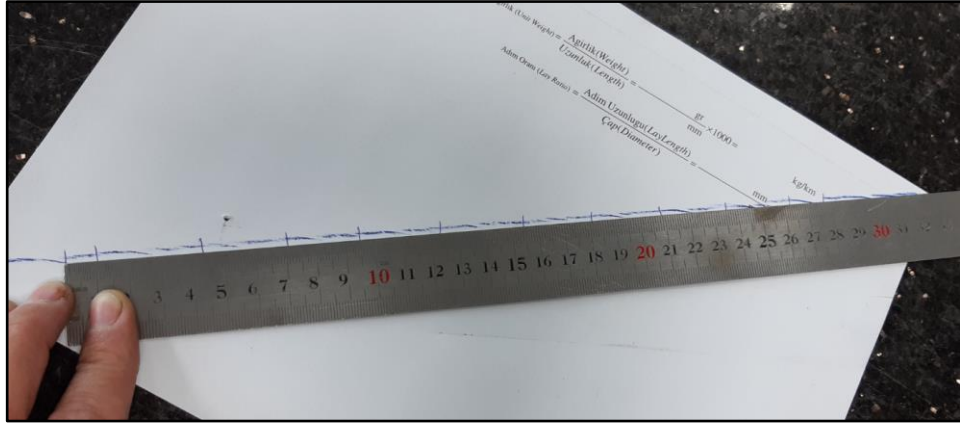
3.3.2.3. Adım oranı

Adım oranı testi iletkenin gevşek ya da sık olarak örüldüğünün kontrolü için yapılır. Sonuç, standart içerisinde verilen değer aralıklarından üst sınıra yakınsa iletkenin gevşek örüldüğü, alt sınıra yakınsa sık örüldüğü manası taşımaktadır. EN 50540 standardında adım oranı, örgülü iletkende adım uzunluğunun tellerin tabakasına karşılık gelen dış çapına oranıdır.

Adım oranını bulmak için ilk önce iletkenlerdeki her katman için adım uzunluğu belirlenir. Adım uzunluğu ölçümünde, adım uzunluğu ölçülecek katmanın kâğıt üzerine izi çıkarılır (Şekil 3.28.). Katmanda bulunan tel sayısı kadar iz işaretlenerek başlangıç ve bitiş noktası belirlenir. Başlangıç ve bitiş noktası aralığı ölçülerek adım uzunluğu belirlenir. İletkenin üst katmanında 10 adet tel mevcuttur bu yüzden adım uzunluğunu belirlemek için 10 tane iz işaretlenir. İşaretler arası cetvelle ölçülerek üst katmanda 10 telli tabakanın adım uzunluğu 278 mm ölçülmüştür (Şekil 3.29.).



Şekil 3.28. Üst katmanda bulunan iletken tellerin izlerinin karbon kâğıdı yardımıyla kağıda çıkarılması



Şekil 3.29. Üst kat 10 telli katmanın adım uzunluğu testi

Adım oranı; örgülü iletkende adım uzunluğunun, tellerin tabakasına karşılık gelen dış çapına oranıdır. Dış çap mitutoyo marka kumpas ile ölçülür (Şekil 3.30). Kumpas, uzunluk, gibi değerleri “mm” cinsinden ölçen hassas mekanik ölçüm cihazıdır.



Şekil 3.30. Dış çap 21,96 mm olarak kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

Adım oranı, adım uzunluğunun adım oranına bölünmesiyle hesaplanır. 10 telli tabakanın dış çapı 21,96 mm, adım uzunluğu 278 mm olarak ölçülmüştür. Adım uzunluğunun dış çapa bölünmesiyle dış katmanın adım oranı 12,66 olarak

hesaplanmıştır (Şekil 3.31.). EN 50540 standardına göre örgülü alüminyum iletkenin dış katmanının adım oranı 10 ile 14 arasında, iç katmanların adım oranı ise 10 ile 16 arasında olmalıdır. Bulunan değer 12,66'dır ve standart içerisinde.

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

$$\text{Adım Oranı (Lay Ratio)} = \frac{\text{Adım Uzunluğu (Lay Length)}}{\text{Çap (Diameter)}} = \frac{278}{21.96} = 12.66$$

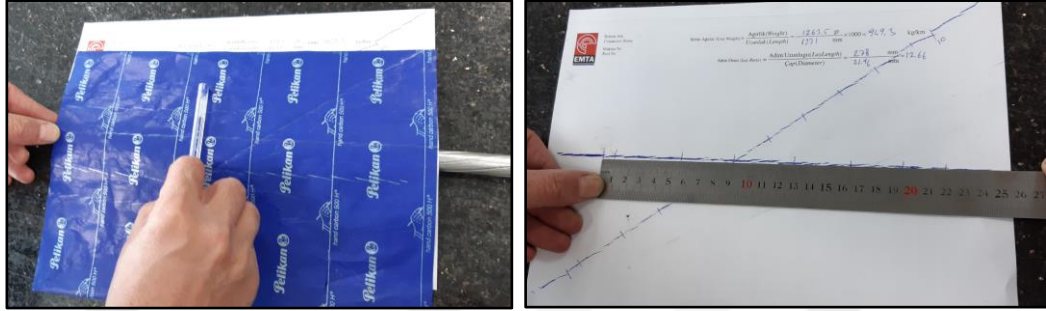
Şekil 3.31. 10 telli üst katmanın adım uzunluğunun, 10 telli üst katmanın çapına bölünmesiyle 12,66 olarak adım oranı hesaplanmıştır

İletkenin her katmanı için adım oranı testi tekrarlanır. ACCC Lisbon iletkeninin bir alt katmanda bulunan 6 telli tabakanın da adım oranı hesaplanmalıdır. En üst katmanda bulunan 10 tel soyularak 6 telli alüminyum iç katmanı çıkarılmalıdır (Şekil 3.32.).



Şekil 3.32. 10 telli üst katmanın soyulması

En üst katman için yapılan testler 6 telli alt katman için tekrarlanmalıdır. Alt katmanın izi karbon kâğıdı yardımıyla kâğıda çıkarılır ve alt katmanda 6 tel bulunduğu için 6 tane iz işaretlenir (Şekil 3.33.).

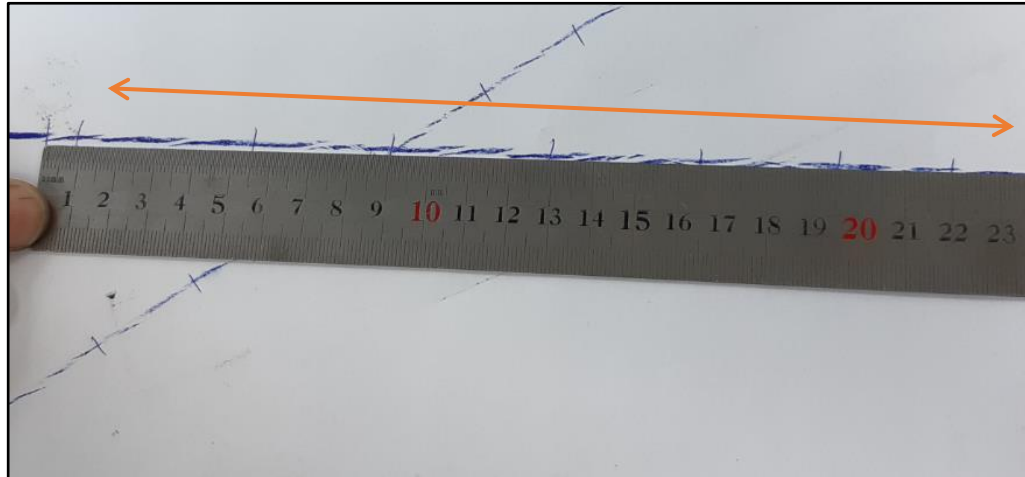


(a)

(b)

Şekil 3.33. (a)'da alt katmanda bulunan 6 telli katmanda bulunan tellerin izlerinin karbon kâğıdı yardımıyla kâğıda çıkarılması, (b)'de ise alt katmanda bulunan 6 telin işaretlenmesinin gösterilmesi

Alt katmanın karbon kâğıdı yardımıyla kâğıda çıkarılan ve işaretlenen 6 tane izin uzunluğu, çelik cetvelle 220 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.34.). Alt katmanın çapı kumpas ile 14,38 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.35.).

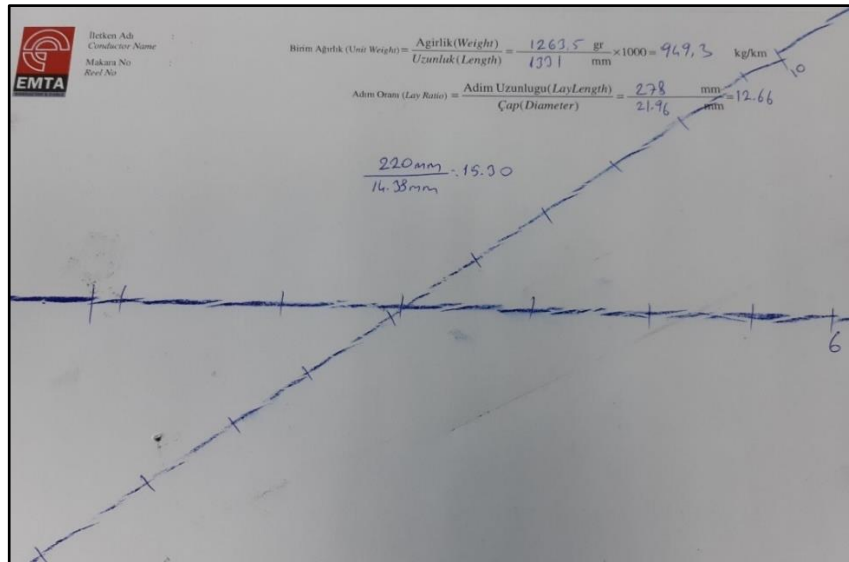


Şekil 3.34. Alt kat 6 telli katmanın belirlenen adım uzunluğunun çelik cetvel yardımıyla 220 mm olarak ölçülmüştür



Şekil 3.35. Alt katman 6 telli tabakanın dış çapının ölçülmesi sonucu çap 14,38 mm olarak ölçülmüştür

Alt katman adım oranı, 220 mm olarak ölçülen adım uzunluğunun, 14,38 mm olarak ölçülen çapına bölünmesiyle 15,30 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.36.). EN 50540 standardına göre alüminyum iç tabakalarının adım oranları 10 ile 16 arasında olması gerekmektedir ve bulunan sonuç standart içerisindedir.



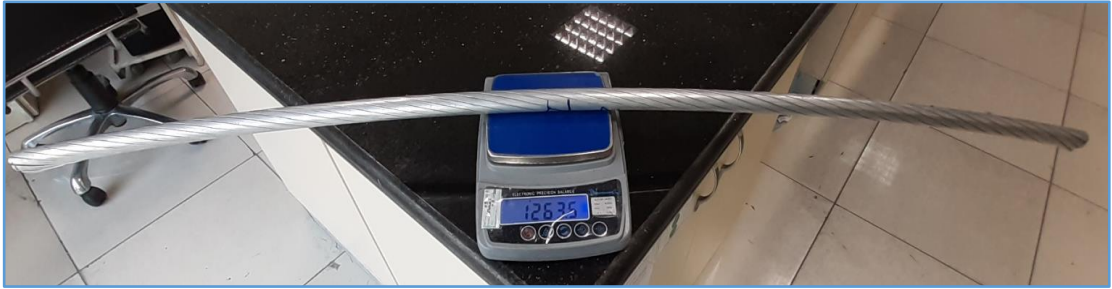
Şekil 3.36. Alt kat 6 telli tabakanın adım uzunluğunun çapına bölünmesiyle adım oranı 15,30 olarak hesaplanmıştır

3.3.2.4. Birim uzunluk başına kütle

Birim ağırlık; Numune iletkenin gram biriminden ağırlığının, numune iletkenin milimetre biriminden uzunluğuna terazi yardımıyla bölünmesiyle bulunur. Kg/km birimine çevirmek için ise ‘gr/mm’ olan birim 1000 katsayısıyla çarpılır.

Nominal birim ağırlık ise, cismin özgül ağırlığı ile kesitin çarpılmasıyla hesaplanır. Örümünden dolayı meydana gelen kütledeki artışın da bu sonuca eklenmesiyle nominal birim ağırlık hesaplanır.

ACCC Lisbon iletkeninden alınan 1331 mm uzunluğundaki numunenin tartılması sonucu ağırlığı 1263,5 gr olarak ölçülmüştür (Şekil 3.37.). Ağırlığın uzunluğa bölünmesi ve 1000 ile çarpılması sonucu birim ağırlığı 949,3 kg/km olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.38.). İletkenin her birim uzunluk için kütlesi, anma değerinden $\pm$ %2’den daha fazla değişmemelidir. Birim ağırlığın $\pm$ %2’den daha fazla değişmemesi gerektiğinden bulunan birim ağırlık en az 930,3 kg/km en fazla 968,2 kg/km olmalıdır. Hesaplanan birim ağırlık standarttaki sınırlar içerisindedir.



Şekil 3.37. ACCC Lisbon İletkenin 1331 milimetresinin ağırlığı hassas terazi yardımıyla 1263,5 gr olarak ölçülmüştür

$$\text{Birim Ağırlık (Unit Weight)} = \frac{\text{Ağırlık (Weight)}}{\text{Uzunluk (Length)}} = \frac{1263,5 \text{ gr}}{1331 \text{ mm}} \times 1000 = 949,3 \text{ kg/km}$$

Şekil 3.38. ACCC Lisbon iletkeninin birim ağırlığının hesaplanması sonucu 949,3 kg/km olduğu görülmüştür

3.3.2.5. Alüminyum tellerin kesit alanının hesaplanması

Yuvarlak biçimli tellerin kesit alanı mikrometre ile çap ölçümü yapılarak geometrisine uygun formülle hesaplanır. Tellerin çapı mikrometre ile ölçülür. Mikrometre, çap ve kalınlık ölçmeye yarayan cihazdır. Bir somun içerisinde ileri geri hareket halinde olan dişli milden oluşmaktadır. Milin dönmesiyle birlikte, uç taraf hareket eder ve karşı çeneye doğru yaklaşır, uzaklaşarak ölçümler gerçekleştirilir (Şekil 3.39.) [1].



Şekil 3.39. Yuvarlak şekilli tellerin çapının ölçülmesi [4]

Yuvarlak tel silindir şeklindedir. Silindirin kesit alanı formülünden faydalanılarak çapı ölçülen yuvarlak telin kesit alanı hesaplanmaktadır [1].

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3.9)$$

S iletkenin kesit alanını (mm²), D iletkenin çapını (mm) ifade etmektedir.

ACCC iletkenlerde kullanılan tel trapez şeklinde olduğu için çapı mikrometreyle ölçülemez. Kesit alanı özkütlesinden faydalanılarak hesaplanır [1].

Özkütle, cismin birim hacmindeki madde miktarına denir. Özkütle (yoğunluk) skaler bir büyüklük olup d ile gösterilmektedir. Ayrıca maddeler için ayırt edicidir. Sabit basınç ve sıcaklıkta tüm maddelerin yoğunlukları (özkütleleri) farklıdır [1].

$$d = \frac{m}{V} \quad (3.10)$$

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

$$V = S \times L \quad (3.11)$$

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

$$S = \frac{m}{dxL} \quad (3.12)$$

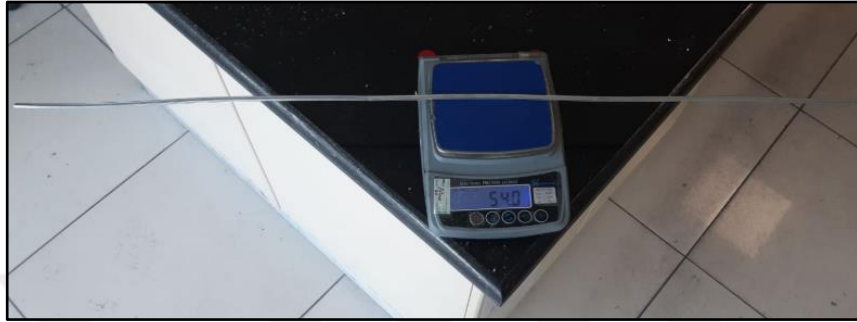
S iletkenin kesit alanını (cm^2), m iletkenin kütlesini (gr), L iletlenin boyunu (cm) ve d iletkenin özkütlesini (gr/cm^3) ifade etmektedir.

TS EN 60889 standardında yer alan sert çekilmiş alüminyum teller için verilen değerlerde Alüminyum telin 20°C 'taki yoğunluk $2,703 \text{ gr}/\text{cm}^3$ (kg/dm^3) olarak verilmiştir. Hesaplama amaçlarında sert çekilmiş alüminyum tel için TS EN 60889 standardında verilen değerler kullanılmalıdır (Şekil 3.40.) [1].

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

Şekil 3.40. 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 54 gr olarak ölçülmüştür (Şekil 3.41.). Her tel için ayrı ayrı hesaplanan kesit alanı kopma ve iletkenlik testlerinde kullanılacaktır [1].



Şekil 3.41. 1 metre uzunluğundaki telin hassas teraziyle tartılması sonucu 54 gr geldiği görülmüştür

3.3.2.6. İletkenlik testi

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

İletkenlik hesabı yapılırken öncelikle iletkenin öz direnci hesaplanmalıdır. Öz direnç, iletkenin elektrik akımına karşı direnç gösterme ölçüsüdür.

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (3.13)$$

E elektrik alan şiddeti, J elektrik akım yoğunluğu ve ρ öz direnç. Boyut saptamak için aşağıdaki bağlantılar yazılabilir:

$$E = \frac{V}{L} \quad (3.14)$$

E elektrik alan şiddeti, V iki ucu arasındaki iletkenin gerilimi ve L iletken uzunluğu

$$J = \frac{I}{S} \quad (3.15)$$

I akım şiddeti, J elektrik akım yoğunluğu ve S de iletken kesit alanı. Bu durumda;

$$\rho = \frac{(V/L)}{(I/S)} = \frac{V}{I} * \frac{S}{L} \quad (3.16)$$

V / I oranı direnç (R) olduğundan,

$$\rho = \frac{R \times S}{L} \quad (3.17)$$

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

İletkenlik hesabı standartlarda verilen tavllanmış bakırın öz direncine göre hesaplanır. İletkenlik birimi standartlarda IACS olarak verilmiştir. IACS (International Annealed Copper Standard) uluslararası tavllanmış bakır standardının İngilizce yazıldığı baş harflerinin kısaltmasıdır. İletkenlik hesaplanırken standartta verilen verilerden faydalanılır. ASTM B609’da Tavllanmış bakırın öz direnci standartlarda 17,241 n.ohm.mt, %100 IACS olarak kabul edilir. 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 [1].

ACCC Lisbon iletkeninin örüm sonu iletkenliğinin tutturulabilmesi için örüm öncesi kullanılan tellerin iletkenliklerinin standartlarda belirtilen minimum değerin (%63 IACS) üzerinde olması gerekmektedir. ACCC Lisbon iletkeninde kullanılan tek telin direnci direnç ölçer cihazı yardımıyla ölçülmektedir (Şekil 3.42.). Ölçülen direnç değeri kullanılarak iletkenlik hesabı yapılmalıdır. Kesit alanı bulunan, trapez şeklindeki alüminyumun tek telinin direncinin $1.3583 \text{ m}\Omega$ geldiği görülmüş ve iletkenlik değeri %63,85 IACS olarak hesaplanmıştır [1].



Şekil 3.42. ACCC Lisbon iletkeninde kullanılan tek telin direnci $1.3583 \text{ m}\Omega$ olarak ölçülmüştür

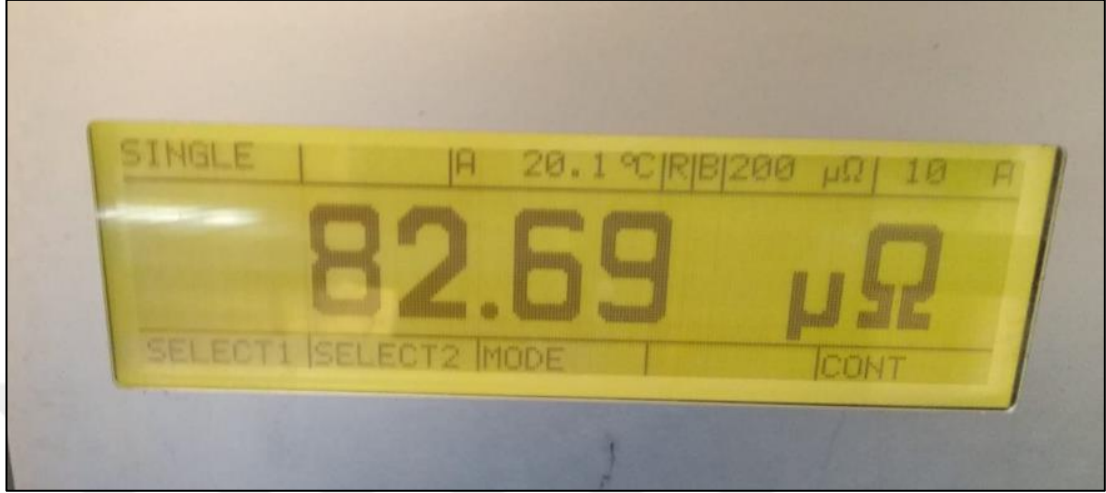
ACCC Lisbon iletkeninin komple iletkenliği ölçülürken, yaklaşık 2.5 metre uzunluğunda numune direnç ölçer tablasına yerleştirilir. Yan taraflarda bulunan kollar yardımıyla iletken gergiye alınır. Tabla üzerinde iletkenin 1 metrelik kısmına temas eden iki uç arasında direnç ölçülür (Şekil 3.43.) [1].



Şekil 3.43. ACCC Lisbon iletkenin direnç ölçer cihazına yerleştirilmesi

Ölçülen direnç değeri direnç ölçer cihazının ekranında görülmektedir (Şekil 3.44.). ACCC Lisbon iletkeni için teknik şartnamede 20°C 'da minimum %63 IACS

iletkenlik için en yüksek direnç değeri 0,0887 Ω/km olarak hesaplanmıştır. İletkenin ölçülen değeri 0.08269 Ω/km olduğundan iletkenlik değeri standart içerisinde.



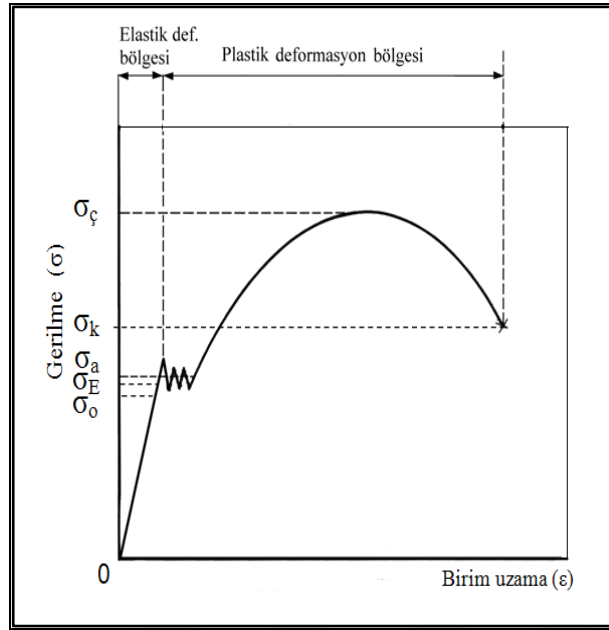
Şekil 3.44. ACCC Lisbon iletkenin ölçülen direnç değeri

3.3.2.7. Çekme deneyi

Malzemelerin seçimi, mekanik özelliklerine göre belirlenmesi ve sınıflandırılması amacıyla çekme testi yapılır. Bu testte malzemenin mukavemet değerleri ölçülmektedir [36].

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

Kuvvet (F)-uzama (Δl) eğrisi çekme deneyinde elde edilir. Numune boyutlarını da Kuvvet (F)-uzama (Δl) eğrisi ile birlikte vermek gerekir. Bu nedenle gerilme σ - birim uzama ϵ eğrisi tercih edilir. Birim alana etkiyen yük anlamına gelir gerilme. σ gerilme ϵ birim uzama eğrisi çekme diyagramı olarak isimlendirilir. Şekil 3.45.'de bir çeliğin birim uzama-gerilme eğrisi verilmiştir [37].



Şekil 3.45. Düşük karbonlu çeliğin çekme diyagramı [35]

Çekme deneyiyle birlikte malzemenin elastik sınırı, çekme dayanımı, orantı sınırı ve akma sınırı gibi mukavemet değerleri ile kopma büzülmesi, süneklik, kopma uzaması ve tokluk değerleri belirlenir. Kimyasal içeriğine, metalografik yapısı ve cinsine göre malzemenin bu özellikleri aşağıda açıklanmaktadır [37].

(σ_0) Orantı sınırı;

Gerilme σ - birim uzama ε eğrisi hooke kanunun, 3.18 bağıntısının geçerli kılındığı doğrusal kısmın sınırlandığı gerilme değeridir. 3.18 bağıntısındaki orantı katsayısı (E) elastiklik modülüdür. Bu orantı katsayısı çekme diyagramında elastik kısmı oluşturan eğimi göstermektedir. Elastik şekil değişimine direnç küçük ise, elastik modülü de küçük olur.[37].

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (3.18)$$

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

(σ_E) Elastiklik sınırı;

Sadece elastik şekil değiştirmenin olduğu veya plastik uzamanın olmadığı en yüksek gerilme değeri elastik sınırını ifade etmektedir ve genelde de orantı sınırıyla eşit kabul edilmektedir.[37].

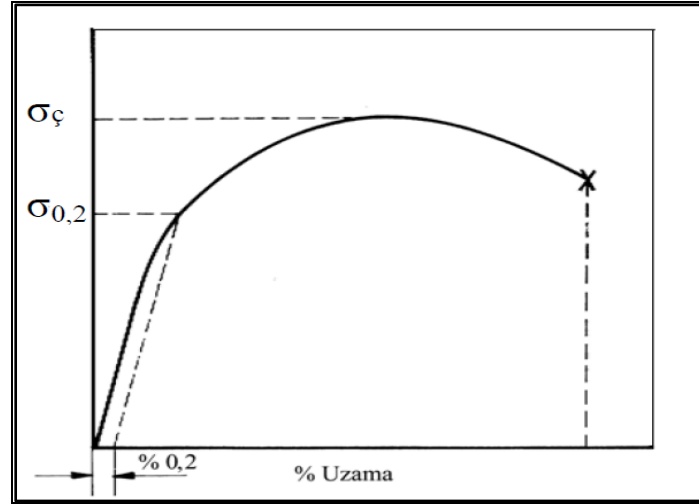
(σ_a) Akma dayanımı;

Sabit kalan çekme kuvvetine karşı, plastik şekil değişiminin arttığı ve çekme diyagramında düzgün olmayan kısma karşılık gelen değerdir. Akma kuvvetiyle numune ilk kesit alanına bölünmesi sonucu elde edilir [37].

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_0} \quad (3.19)$$

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

Yumuşak az (düşük) karbonlu çelik gibi malzemeler, belirgin bir akma sınırı gösterebilmektedir. Belirgin bir akma olmaması durumunda, plastik uzamanın %0,2'lik kısmına denk gelen gerilme akma dayanımı veya sınırı olarak alınmaktadır. Şekil 3.46.'de Bir malzemenin akma dayanımının çekme diyagramında nasıl belirlendiği gösterilmektedir [37].



Şekil 3.46. Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram [31]

($\sigma_{\text{ç}}$) Çekme dayanımı;

Bir malzemenin kırılıncaya veya kopuncaya kadar dayandığı en yüksek çekme gerilmesi olarak adlandırılır. Çekme diyagramındaki en yüksek gerilme bu gerilmedir. 3.20.'de belirtilen formül ile bulunur [37].

$$\sigma_{\text{ç}} = \frac{F_{\text{maks}}}{A_0} \quad (3.20)$$

En yüksek kuvvet F_{maks} , A_0 ise ilk kesit alan ve $\sigma_{\text{ç}}$ çekme dayanımıdır.

(σ_{k}) Kopma dayanımı;

Çekme testi sırasında, numune kesitinin çekme kuvvetini karşılayamadığı an kopma oluşur. Çekme diyagramında son gerilme değerine, kopma dayanımı denir [37].

(KU) Kopma uzaması;

Yüzde plastik uzama oranıdır. Çekme testine işleme tutulmuş numunenin kopan kısımları bir araya getirilir ve son boy ölçülür. Boyda meydana gelen uzamanın bulunmasında 3.21.'deki bağıntı kullanılır.[37].

$$\Delta l = l_k - l_0 \quad (3.21)$$

Δl boyda meydana gelen uzama, l_0 numune ilk ölçüm uzunluğunu, l_k numune kırılma boyu

Kopma uzaması, 3.22.'deki bağıntı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliliğini gösterir [37].

$$KU(\%) = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad (3.22)$$

Burada KU (%) yüzde kopma uzamasını, Δl boyda meydana gelen uzamayı, l_0 numunenin ilk ölçü uzunluğudur.

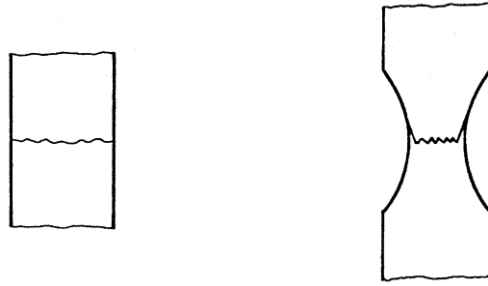
Kopma büzülmesi (KB);

Numune kesit alanındaki en büyük yüzde büzülme oranı veya daralma olup, 3.23.'de verilen bağıntı ile kullanılarak hesaplanır.

$$KB(\%) = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100 \quad (3.23)$$

A_0 ilk kesit alanını, A_k kırılma anında kesit alanı ya da kırılma yüzeyi alanı ve KB (%) kopma büzülmesidir.

Kopma uzaması gibi kopma büzülmesi de s nekli in bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin boyun verme veya büzülme olurken, gevrek malzemeler de büzülme olmaz. Şekil 3.47.'de sünek ve gevrek malzemelerin kırılma davranışları gösterilmektedir [37].



Şekil 3.47. Gevrek ve sünek malzemenin kırılma şekilleri

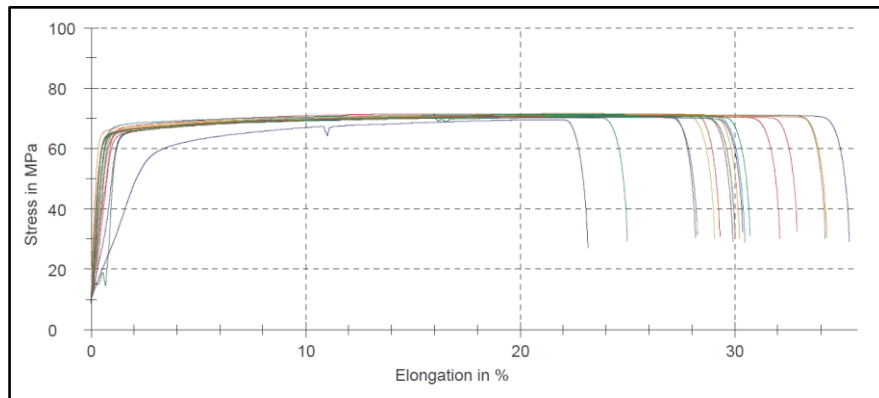
(a)

Gevrek

(b)

Sünek

Geleneksel  elik  zl  alüminyum iletkenlerde kullanılan alüminyum teller için standart içerisinde kopma uzaması sınırı belirtilmemiŐtir. Kompozit  zl  alüminyum iletkenlerde kullanılan alüminyum tellerin örüm sonundaki kopma uzaması EN 50540 standardında belirtildiği gibi minimum %20 olması istenmektedir. ACCC Lisbon iletkeninin alüminyum tellerinin koparılması sonucu gerilme uzama grafiği Şekil 3.48.'de verilmiştir. Bu grafikte alüminyum tellerin yüksek s neklili e sahip olduğu g r lmektedir.



Şekil 3.48. ACCC Lisbon tellerinin çekme cihazında koparılması sonucu gerilme uzama grafiği

ACCC Lisbon iletkeninde alüminyum tellerin sayısı 16'dır. Tüm teller, Şekil 3.49.'daki gibi kopma testi uygulanmalıdır.



Şekil 3.49. ACCC Lisbon telinin çekme cihazıyla koparılması

Trapez şeklindeki alüminyum tellerin kesit alanları hesaplanır ve bu kesite uygun çap girilir. Çekme makinesinin teli koparmak için uyguladığı kuvvetin ilk kesit alanına bölünmesiyle çekme mukavemeti hesaplanır. Çeneler arası mesafe 250 mm olarak ayarlanmıştır. İlk boy 250 mm olarak belirlenir ve telin kopması sonucu makinede okunan son boy kullanılarak kopma uzaması hesaplanır. Tüm teller için kopma uzamaları ve çekme mukavemetleri Tablo 3.5.'de gösterilmiştir. Trapez şeklindeki alüminyum tellerin EN 50540 standardına göre örümden sonraki uzama değerinin minimum %20, mukavemet değerinin ise 60-95 Mpa (N/mm^2) aralığında olması gerektiği belirtilmiştir. Trapez şeklindeki alüminyum tellere ısıtma işlemi uygulanması sonucu örüm öncesi standartlar içerisinde gelen teller ile üretilen ACCC Lisbon iletkeninden örüm sonu numune alınmasıyla yapılan mekanik testlerin standartlar içerisinde geldiği görülmüştür.

Tablo 3.5. ACCC Lisbon tellerinin kopma sonuçları

No	Uzama %	d _o Cap mm ²	S _o Kesit mm ²	R _m Cekme Mukavemeti N/ mm2	F _m Cekme Kuvveti N	Test Boyu mm
1	28,9	5,03	19,97	72	1421	250
2	24,8	5,03	19,97	70	1400	250
3	34,7	5,03	19,97	71	1413	250
4	30,1	5,03	19,97	71	1420	250
5	32,8	5,03	19,97	71	1403	250
6	30,2	5,03	19,97	71	1413	250
7	28,8	5,03	19,97	71	1413	250
8	29,7	5,03	19,97	71	1410	250
9	29,9	5,03	19,97	70	1395	250
10	30,2	5,03	19,97	70	1398	250
11	34,2	5,03	19,97	71	1407	250
12	27,9	5,03	19,97	71	1405	250
13	27,8	5,03	19,97	71	1416	250
14	34,0	5,03	19,97	71	1413	250
15	31,6	5,03	19,97	71	1405	250
16	30,5	5,03	19,97	71	1404	250

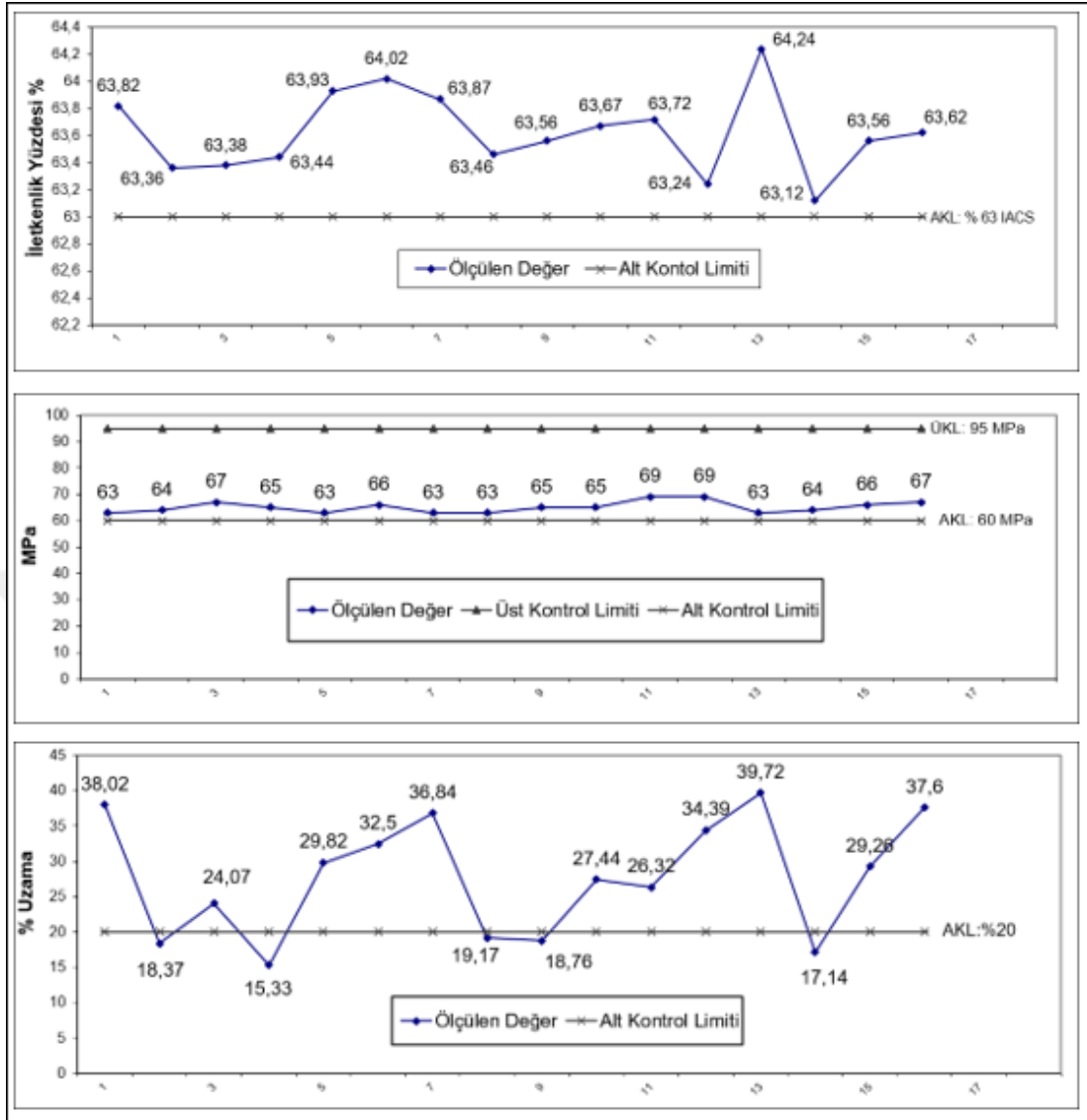
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Araştırma Bulguları

Tablo 4.1.'de mukavemeti 68 MPa, iletkenliği %63.01 IACS ve uzama değeri %49,60 olan filmaşın kullanılarak üretilen 16 adet trapez şeklindeki alüminyum tellerin test sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar yorumlandığında, tek telin iletkenliğinin minimum değerin %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 350°C'de 8 saat süreyle ısıtıl işlem uygulandığında tellerin iletkenliği ve uzaması artarken mukavemetinin azalarak standart değerlerin yakalandığı görülmüştür. Yapılan ısıtıl 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 sündüğü, bunun sonucunda kesitte meydana gelen küçülmeden dolayı örüm sonunda alınan numunelerde birim ağırlık ve bazı tellerin uzama değerlerinin standartların dışında geldiği görülmüştür. Şekil 4.1'de alüminyum tellerin iletkenlik ve mukavemet değerlerinin kontrol limitleri dahilinde ölçüldüğünü uzama değerlerinde ise bazı tellerin %20 alt kontrol limiti altında olduğu gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Mukavemeti 68 MPa, iletkenliği %63,01 IACS olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıtma işlem ve sonuçları

Girdiler						Süreç		Çıktılar				
Isıl İşlem Öncesi						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler			Örüm Sonu Değerler	
Alüminyum Filmaşın			Alüminyum Tel			Alüminyum Tel		Alüminyum Tel			Alüminyum Tel	
Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Derece ° C	Saat h	Mukavemet MPa	İletkenlik Min 63 %IACS	Uzama Min. %20 - Max. % 50	Mukavemet Min.60-Max 95 MPa	Uzama Min. %20 - Max. % 50
68	63,01	49,6	102	63,17	4,0	350	8	62	63,82	70,01	63	38,02
68	63,01	49,6	98	63,02	3,9	350	8	67	63,36	71,33	64	18.37
68	63,01	49,6	108	63,17	3,5	350	8	68	63,38	69,20	67	24,07
68	63,01	49,6	116	63,08	3,6	350	8	64	63,44	72,30	65	15,33
68	63,01	49,6	99	63,4	3,7	350	8	63	63,93	68,00	63	29,82
68	63,01	49,6	110	63,45	4,5	350	8	65	64,02	68,80	66	32,50
68	63,01	49,6	107	63,36	2,7	350	8	64	63,87	68,87	63	36,84
68	63,01	49,6	108	63,41	3,0	350	8	61	63,46	69,72	63	19,17
68	63,01	49,6	98	63,34	2,9	350	8	63	63,56	71,12	65	18,76
68	63,01	49,6	102	63,31	4,2	350	8	66	63,67	72,00	65	27,44
68	63,01	49,6	101	63,27	3,3	350	8	68	63,72	72,45	69	26,32
68	63,01	49,6	97	63,33	3,6	350	8	70	63,24	73,41	69	34,39
68	63,01	49,6	114	63,34	3,6	350	8	62	64,24	72,12	63	39,72
68	63,01	49,6	109	63,12	2,7	350	8	63	63,12	73,61	64	17,14
68	63,01	49,6	106	63,18	2,9	350	8	64	63,56	71,00	66	29,26
68	63,01	49,6	113	63,34	3,0	350	8	64	63,62	68,92	67	37,60



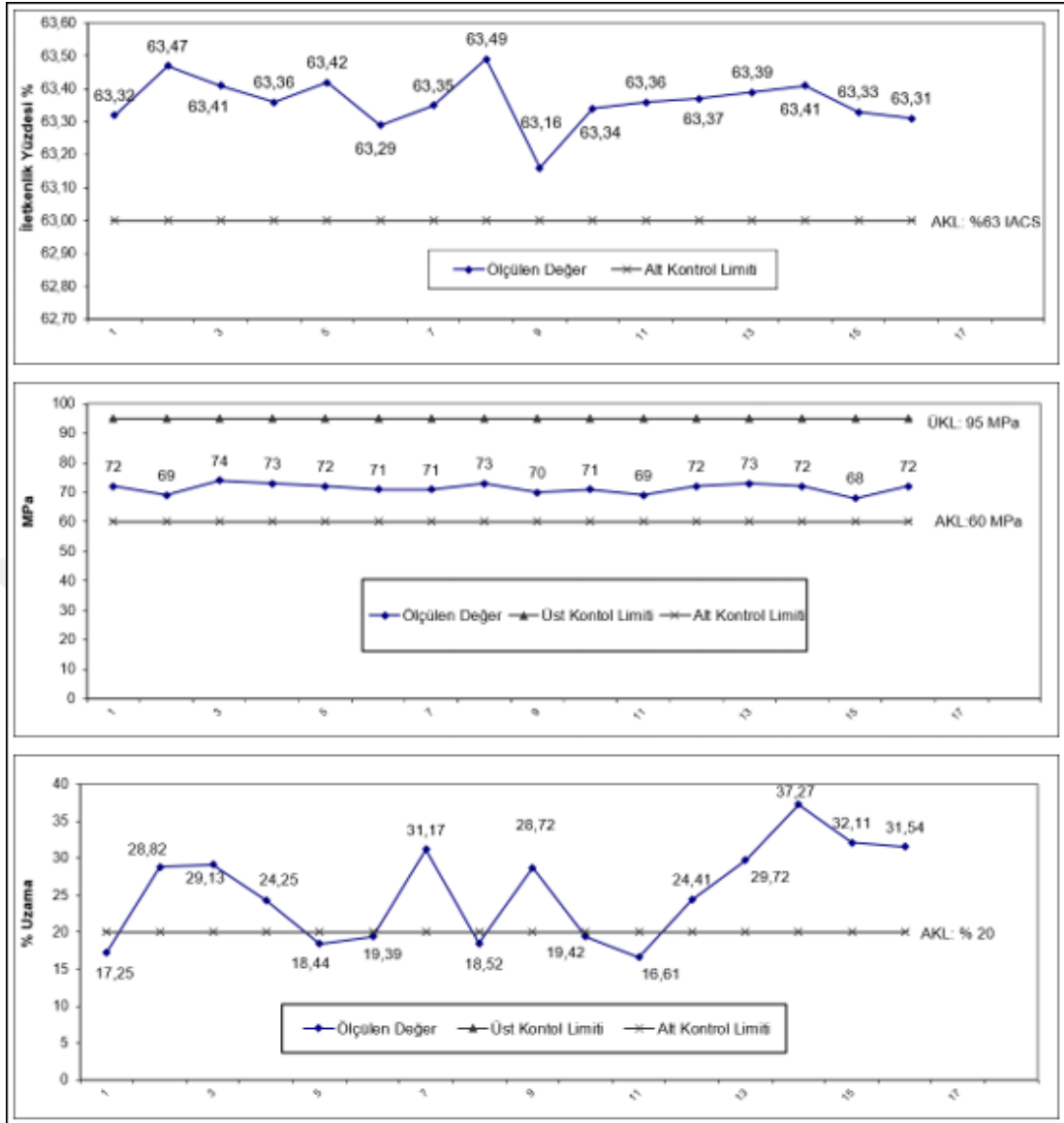
Şekil 4.1. Mukavemeti 68 MPa, iletkenliği %63,01 olan filmaşından çekilen 16 adet alüminyum tellere uygulanan ısı işlem ve sonuçları eğilimi

Tablo 4.2.'de mukavemeti 68 MPa, iletkenliği % 63,12 IACS ve uzama değeri %49,20 olan filmaşın kullanılarak üretilen 16 adet trapez şeklindeki alüminyum tellerin test sonuçları verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, bu filmaşından çekilen tellerin tel çekme sonrası iletkenlik değeri standardın üzerinde gelirken, uzama ve mukavemet değerlerinin standart dışı geldiği görülmüştür. Tellere 330°C'de 8 saat süreyle ısı işlem uygulandığında uzama değerinde artış meydana gelirken mukavemet değeri azalmıştır. Tellere uygulanan ısı işlem sonrasında standartta belirtilen değerler sağlanmış fakat, uzama değerindeki artışın yüksek olması ve mukavemetin alt sınıra yakın olmasından dolayı örme prosesi sonrası

yapılan testlerde, bazı tellerde birim ağırlık ve uzama değerlerinin standartların dışında geldiği görülmüştür. Şekil 4.2.'de alüminyum tellerin iletkenlik ve mukavemet değerlerinin kontrol limitleri dahilinde ölçüldüğünü uzama değerlerinde ise bazı tellerin %20 alt kontrol limiti altında olduğu gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Mukavemeti 68 MPa iletkenliği %63.12 IACS olan filmaşından çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıtma işlem ve sonuçları

Girdiler						Süreç		Çıktılar				
Isıl İşlem Öncesi						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler			Örüm Sonu Değerler	
Alüminyum Filmaşın			Alüminyum Tel			Alüminyum Tel		Alüminyum Tel			Alüminyum Tel	
Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Derece ° C	Saat h	Mukavemet MPa	İletkenlik Min 63 %IACS	Uzama Min. %20 - Max. % 50	Mukavemet Min.60-Max 95 MPa	Uzama Min. %20 - Max. % 50
68	63,12	49,2	107	63,22	6,0	330	8	70	63,32	66,71	72	17,25
68	63,12	49,2	101	63,16	4,2	330	8	68	63,47	64,32	69	28,82
68	63,12	49,2	113	63,32	4,3	330	8	73	63,41	68,72	74	29,13
68	63,12	49,2	99	63,16	7,0	330	8	71	63,36	67,44	73	24,25
68	63,12	49,2	97	63,27	3,2	330	8	70	63,42	65,68	72	18,44
68	63,12	49,2	112	63,20	3,9	330	8	72	63,29	63,24	71	19,39
68	63,12	49,2	102	63,33	4,3	330	8	70	63,35	65,47	71	31,17
68	63,12	49,2	104	63,41	3,7	330	8	69	63,49	66,92	73	18,52
68	63,12	49,2	113	63,17	3,9	330	8	68	63,16	67,19	70	28,72
68	63,12	49,2	108	63,31	4,6	330	8	69	63,34	64,22	71	19,42
68	63,12	49,2	111	63,29	4,9	330	8	70	63,36	66,18	69	16,61
68	63,12	49,2	99	63,34	4,2	330	8	71	63,37	67,21	72	24,41
68	63,12	49,2	109	63,35	4,1	330	8	72	63,39	65,51	73	29,72
68	63,12	49,2	112	63,21	3,5	330	8	70	63,41	66,21	72	37,27
68	63,12	49,2	114	63,13	3,6	330	8	69	63,33	65,27	68	32,11
68	63,12	49,2	107	63,19	3,6	330	8	69	63,31	67,38	72	31,54



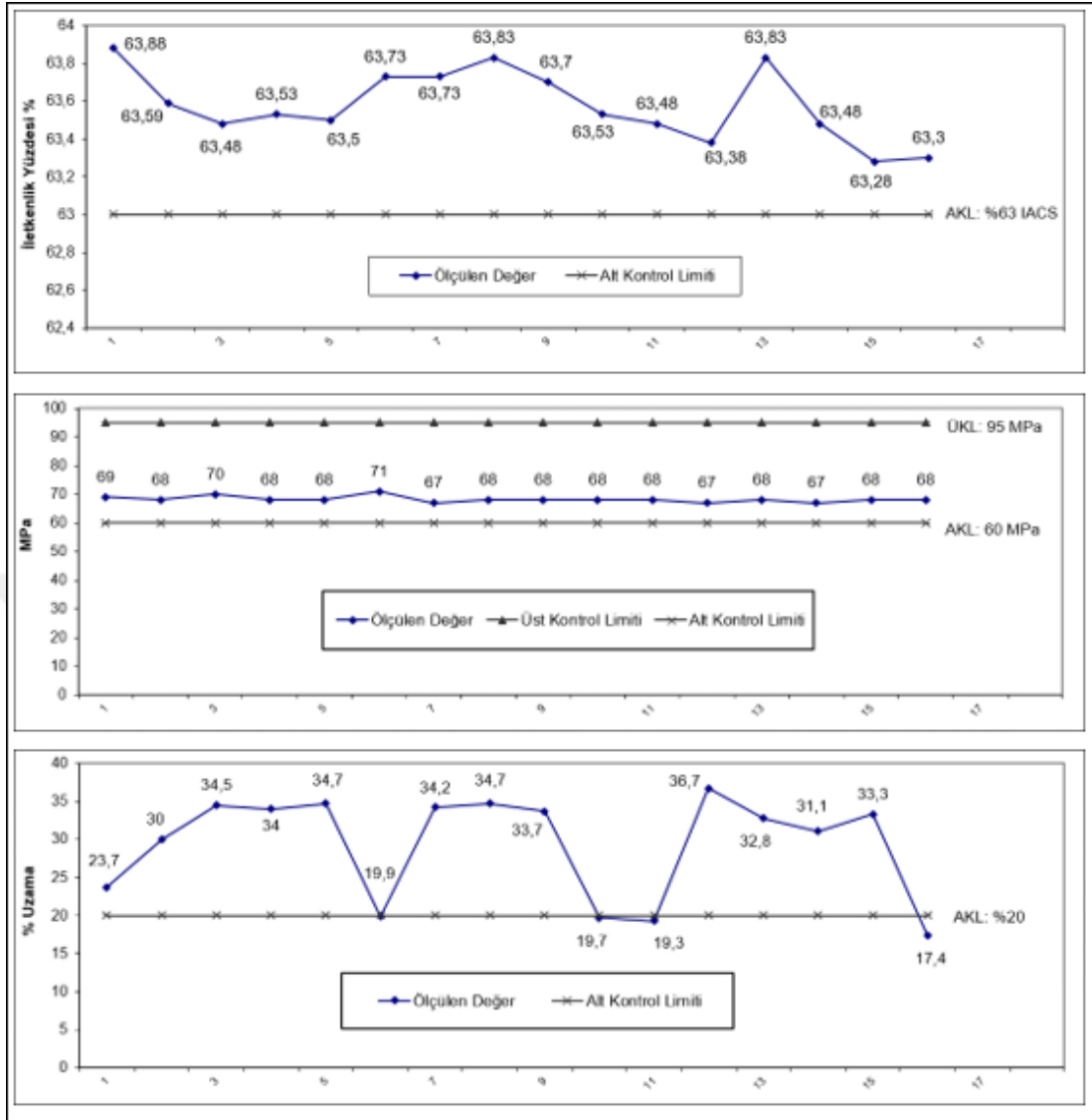
Şekil 4.2. Mukavemeti 68 MPa iletkenliği %63,12 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıtma işlemi ve sonuçları eğilimi

O tipi filmaşinden üretilen tellerin örüm prosesinden sonraki değerleri sağlayamadığı için O tipi filmaşinden sonra iletkenliği en yüksek olan filmaşin grubu H11 tipi filmaşin kullanılmıştır. Tablo 4.3.'de H11 tipi mukavemeti 95 MPa, iletkenliği %62,82 ve uzama değeri %51,4 olan filmaşin kullanılarak üretilen 16 adet trapez şeklindeki alüminyum tellerin test sonuçları verilmiştir. Bu filmaşinden üretilen tellerde, tel çekme sonrası mukavemet, iletkenlik ve uzama değerlerinin standart dışı geldiği görülmüştür. Bu tellere, 350°C 8 saat ısıtma işlemi uygulanmıştır. Tellere uygulanan ısıtma işlemi sonrasında standartta belirtilen değerler sağlanmış fakat, uzama

değerindeki artışın yüksek olması ve mukavemetin alt sınıra yakın olmasından dolayı örme prosesi sonrası yapılan testlerde, bazı tellerde birim ağırlık ve uzama değerlerinin standart dışında geldiği görülmüştür. Şekil 4.3.'de alüminyum tellerin iletkenlik ve mukavemet değerlerinin kontrol limitleri dahilinde ölçüldüğünü uzama değerlerinde ise bazı tellerin %20 alt kontrol limiti altında olduğu gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Mukavemeti 95 MPa iletkenliği % 62,82 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıt işlem ve sonuçları

Girdiler						Süreç		Çıktılar				
Isıl İşlem Öncesi						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler			Örüm Sonu Değerler	
Alüminyum	Filmaşın	Alüminyum Tel				Alüminyum Tel		Alüminyum Tel			Alüminyum Tel	
Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Derece ° C	Saat h	Mukavemet MPa	İletkenlik Min 63 %IACS	Uzama Min. %20 - Max. % 50	Mukavemet Min.60-Max 95 MPa	Uzama Min. %20 - Max. % 50
95	62,82	51,4	135	62,64	2,9	350	8	72	63,88	66,5	69	23,7
95	62,82	51,4	135	62,67	2,7	350	8	72	63,59	51,8	68	30,0
95	62,82	51,4	131	62,71	2,9	350	8	70	63,48	52,6	70	34,5
95	62,82	51,4	138	62,69	2,8	350	8	72	63,53	42,7	68	34,0
95	62,82	51,4	136	62,74	2,1	350	8	69	63,50	59,0	68	34,7
95	62,82	51,4	131	62,71	3,1	350	8	72	63,73	43,7	71	19,9
95	62,82	51,4	141	62,60	2,7	350	8	70	63,73	58,0	67	34,2
95	62,82	51,4	140	62,55	3,5	350	8	66	63,83	43,1	68	34,7
95	62,82	51,4	136	62,58	3,1	350	8	66	63,70	50,6	68	33,7
95	62,82	51,4	132	62,64	3,3	350	8	67	63,53	57,3	68	19,7
95	62,82	51,4	137	62,66	3,5	350	8	65	63,48	61,2	68	19,3
95	62,82	51,4	133	62,70	2,9	350	8	67	63,38	58,6	67	36,7
95	62,82	51,4	132	62,74	2,8	350	8	66	63,83	57,9	68	32,8
95	62,82	51,4	132	62,72	3,0	350	8	68	63,48	51,9	67	31,1
95	62,82	51,4	135	62,61	2,9	350	8	66	63,28	59,6	68	33,3
95	62,82	51,4	131	62,73	2,3	350	8	67	63,30	46,2	68	17,4



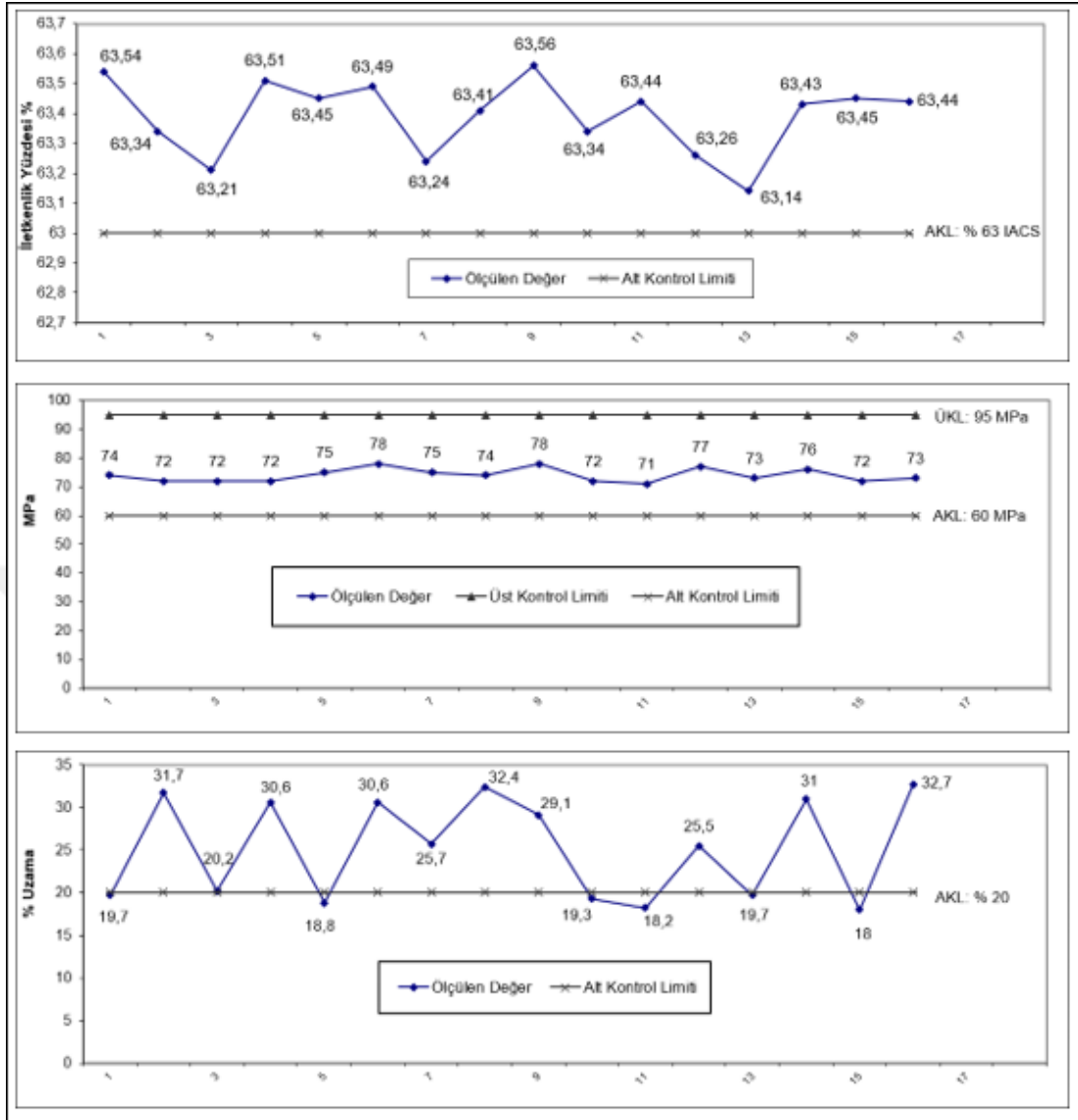
Şekil 4.3. Mukavemeti 95 MPa iletkenliği %62,82 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıt işleminin sonuçları eğilimi

Tablo 4.4.'de mukavemeti 93 MPa, iletkenliği %62,76 ve uzama değeri %47,5 olan filmaşin kullanılarak üretilen 16 adet trapez şeklindeki alüminyum bobinlerin test sonuçları verilmiştir. Bu filmaşinden üretilen tellerde, tel çekme sonrası mukavemet, iletkenlik ve uzama değerlerinin standart dışı geldiği görülmüştür. Alüminyum tellere 330°C'de 8 saat ısıt işlem uygulanmıştır. Tellere uygulanan ısıt işlem sonrasında değerler standart içindedir. Fakat; uzama değeriindeki artışın yüksek olmasından dolayı örme prosesi sonrası yapılan testlerde, bazı tellerde birim ağırlık ve uzama değerlerinin standartların dışında geldiği görülmüştür. Şekil 4.4.'de alüminyum tellerin iletkenlik ve mukavemet değerlerinin kontrol limitleri dahilinde ölçüldüğünü

uzama değerlerinde ise bazı tellerin %20 alt kontrol limiti altında olduğu gösterilmektedir

Tablo 4.4. Mukavemeti 93 MPa iletkenliği %62,76 olan filmaşından çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıt işlem ve sonuçları

Girdiler						Süreç		Çıktılar				
Isıl İşlem Öncesi						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler			Örüm Sonu Değerler	
Alüminyum Filmaşın			Alüminyum Tel			Alüminyum Tel		Alüminyum Tel			Alüminyum Tel	
Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Derece ° C	Saat h	Mukavemet MPa	İletkenlik Min 63 %IACS	Uzama Min. %20 - Max. % 50	Mukavemet Min.60-Max 95 MPa	Uzama Min. %20 - Max. % 50
93	62,76	47,5	128	63,17	3,0	330	8	72	63,54	50,82	74	19,7
93	62,76	47,5	134	63,02	2,7	330	8	72	63,34	48,91	72	31,7
93	62,76	47,5	136	62,55	2,6	330	8	70	63,21	49,62	72	20,2
93	62,76	47,5	125	62,59	3,0	330	8	72	63,51	42,30	72	30,6
93	62,76	47,5	126	62,55	2,3	330	8	69	63,45	47,0	75	18,8
93	62,76	47,5	131	62,45	3,0	330	8	72	63,49	50,36	78	30,6
93	62,76	47,5	133	62,36	3,0	330	8	70	63,24	49,12	75	25,7
93	62,76	47,5	134	62,41	3,1	330	8	66	63,41	47,44	74	32,4
93	62,76	47,5	130	62,34	3,4	330	8	66	63,56	48,23	78	29,1
93	62,76	47,5	128	62,31	2,7	330	8	67	63,34	51,36	72	19,3
93	62,76	47,5	127	62,27	3,5	330	8	65	63,44	48,41	71	18,2
93	62,76	47,5	117	62,33	2,8	330	8	67	63,26	46,72	77	25,5
93	62,76	47,5	123	62,34	2,7	330	8	66	63,14	48,69	73	19,7
93	62,76	47,5	132	62,36	3,1	330	8	68	63,43	49,23	76	31,0
93	62,76	47,5	123	62,31	2,4	330	8	66	63,45	47,13	72	18,0
93	62,76	47,5	127	62,34	2,6	330	8	67	63,44	46,27	73	32,7



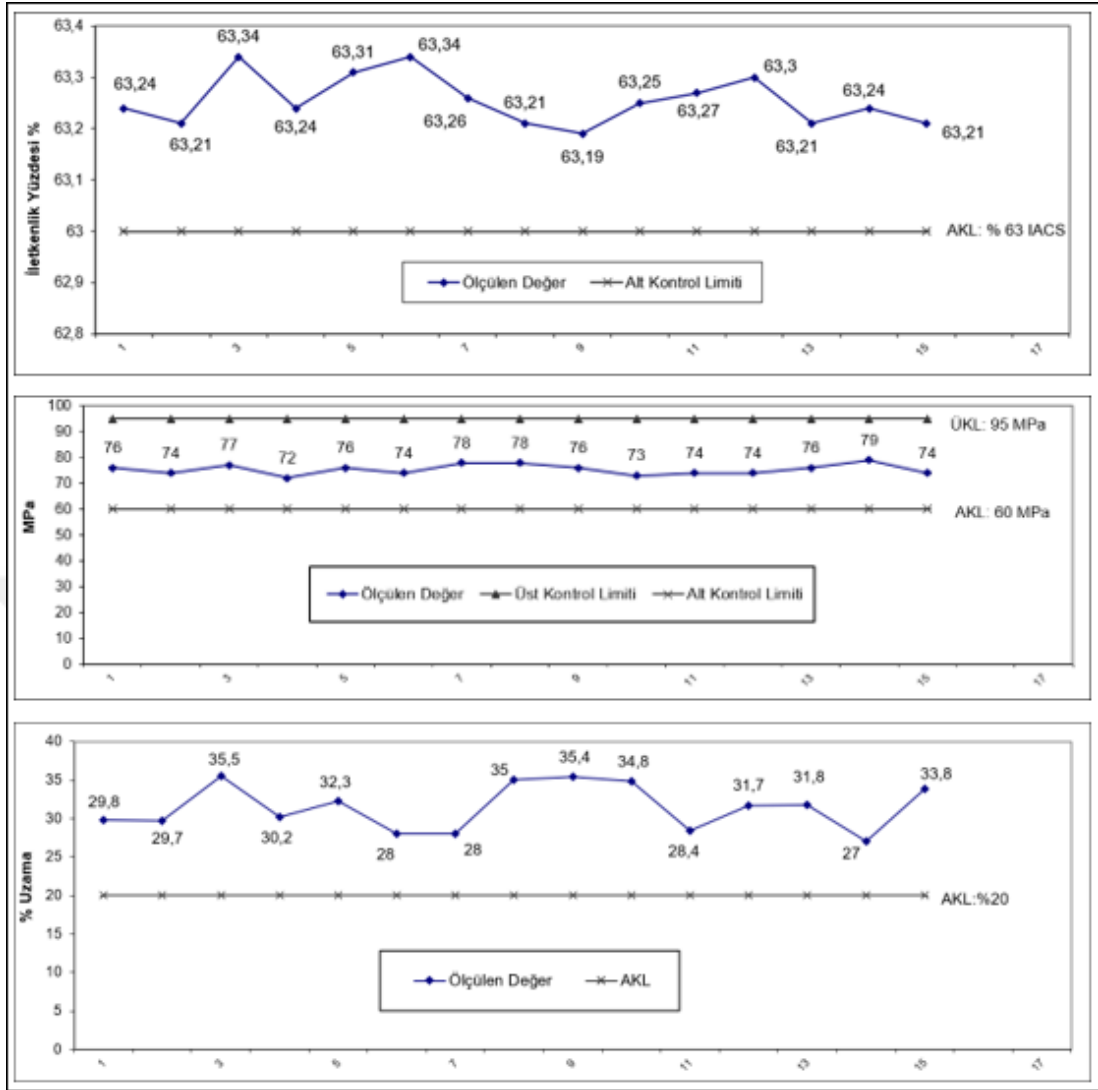
Şekil 4.4. Mukavemeti 93 MPa iletkenliği %62,76 olan filmaşından çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıtma işlemi ve sonuçları eğilimi

Tablo 4.5.'de mukavemeti 95 MPa, iletkenliği %62,94 ve uzama değeri %51,8 olan filmaşın kullanılarak üretilen 16 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 350°C'de 6 saat ısıtma işlemi uygulanmıştır. Tellere uygulanan ısıtma işlemi sonrasında standartta belirtilen değerler sağlanmıştır. Örme prosesi sonrası yapılan testlerde, sünmeden kaynaklı problemler minimize edilmiş olup örüm sonrası değerler sağlanmıştır. Ayrıca örüm sonrası uzama değerlerinin tutması için ısıtma işlemi

sonrası uzama değerlerinin de tek tel için maksimum %50 olması gerektiği tespit edilmiştir. Şekil 4.5.'de alüminyum tellerin iletkenlik, mukavemet ve uzama değerlerinin kontrol limitleri dahilinde ölçüldüğü gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Mukavemeti 95 MPa iletkenliği %62,94 olan filmaşından çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıtma işlem ve sonuçları

Girdiler						Süreç		Çıktılar				
Isıl İşlem Öncesi						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler			Örüm Sonu Değerler	
Alüminyum Filmaşın			Alüminyum Tel			Alüminyum Tel		Alüminyum Tel			Alüminyum Tel	
Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Mukavemet MPa	İletkenlik %IACS	Uzama %	Derece ° C	Saat h	Mukavemet MPa	İletkenlik Min 63 %IACS	Uzama Min. %20 - Max. % 50	Mukavemet Min.60-Max 95 MPa	Uzama Min. %20 - Max. % 50
95	62,94	51,8	135	62,65	3,8	350	6	74	63,24	47,5	76	29,8
95	62,94	51,8	121	62,58	4,3	350	6	72	63,21	47,5	74	29,7
95	62,94	51,8	135	62,73	3,5	350	6	75	63,34	47,6	77	35,5
95	62,94	51,8	136	62,77	3,3	350	6	76	63,24	43,8	72	30,2
95	62,94	51,8	137	62,70	3,1	350	6	79	63,31	48,0	76	32,3
95	62,94	51,8	134	62,68	3,9	350	6	81	63,34	47,0	74	28,0
95	62,94	51,8	133	62,70	1,8	350	6	79	63,26	48,1	78	28,0
95	62,94	51,8	130	62,61	3,0	350	6	80	63,21	46,0	78	35,0
95	62,94	51,8	136	62,68	3,2	350	6	77	63,19	45,5	76	35,4
95	62,94	51,8	132	62,64	2,7	350	6	76	63,25	48,2	73	34,8
95	62,94	51,8	131	62,70	3,1	350	6	75	63,27	47,3	74	28,4
95	62,94	51,8	132	62,66	3,2	350	6	76	63,30	50,3	74	31,7
95	62,94	51,8	133	62,67	3,0	350	6	77	63,21	45,4	76	31,8
95	62,94	51,8	137	62,69	3,2	350	6	78	63,24	48,4	79	27,0
95	62,94	51,8	133	62,71	2,8	350	6	73	63,21	45,8	74	33,8



Şekil 4.5. Mukavemeti 95 MPa iletkenliği %62,94 olan filmaşinden çekilen 16 adet bobine uygulanan ısıtma işlemi ve sonuçları eğilimi

4.2. ACCC Lisbon İletkeni Saha Performans Ölçümleri

Türkiye’de bir ilk olarak gerçekleşen Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. işletmesinde bulunan İnegöl TM – İnegöl DM enerji nakil hattının ACSR Hawk iletkeninden ACCC Lisbon iletkenle yenilenmesi projesi başarıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6.) [38]. ACCC Lisbon içerisindeki kompozit öz muadil klasik çelik özlü alüminyum iletken’den %25 daha hafif, %25 daha güçlü ve yaklaşık 2 kat akım taşıma kapasitesine erişmiş olan son teknoloji ürünü bir iletkenidir. Yine muadil iletkenlere göre sehim değerlerinde de hatırı sayılır miktarda iyileştirme sağlamaktadır.



Şekil 4.6. ACCC Lisbon iletken kurulumu

Hattın kapasitesinin artırıldığı projede hattın mevcut direkleri kullanılmıştır. Bu sayede yeni iletken, yeni direk ve kamulaştırma maliyetlerinden uzak durulmuştur. Kompozit özlü alüminyum iletken maliyeti günümüzde hala yaygın olarak kullanılan çelik özlü alüminyum iletkenine göre fazla olsa da olası bir hat kapasite artırımı projesinde toplam maliyet ACCC ile çok daha azalmaktadır. Değiştirilen hat çift devre olup ACSR Hawk iletken ile çalışmaktayken, birim ağırlığı ACSR Hawk'a göre yaklaşık 40 kg daha az olan ACCC Lisbon iletken ile mevcut direk yapısı korunarak yine çift devre uygulama yapılmıştır. Hattın çalışmasındaki çevre değerleri alüminyum iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri hesaplarında kullanılan IEC 61597 standardı ve TEİAŞ Şartnameleri göz önüne alınarak düşünülmüştür. Bu değerler hattın çalışma çevre şartlarına dair ortalama değerler olarak düşünülmelidir. Değerler aşağıda belirtilmiştir.

- Solar radyasyon şiddeti = 900W/m^2 , çevre sıcaklığı = 40°C
- Rakım = 0 metre, rüzgâr açısı = 90°
- Rüzgâr hızı = 0.25 m/s

Hattın ve taşınan yükün değerleri ise hesaplamada şu şekilde alınmıştır;

- Hat uzunluğu: 2 km, kurulu güç: 50 MW
- İşletme gerilim değeri = 34,5 kV,
- Yüklenme faktörü = %50

İnegöl TM – İnegöl DM enerji nakil hattının ACSR Hawk iletkeninden ACCC Lisbon iletkenle yenilenmesi projesi ACCC Lisbon hat uygulaması saha ölçüm parametreleri Tablo 4.6.'da belirtilmiştir.

Tablo 4.6. Ölçüm parametreleri

Ölçüm parametreleri	Ölçüm aralığı	Ölçme yöntemi	Açıklama
İletken sehim	2 saatte / Saha ziyaretinde	Teodolit cihazı	Teodolit, yeryüzündeki koordinatlar ve düşey/yatay mesafeleri ölçen hassas ölçüm cihazıdır. Koordinatlar, düşey/yatay mesafeler ve açılar ölçülür. Mevcut yerin kot farkını veya deniz seviyesi yüksekliğini hesaplar.
İletken akımı	2 saatte / Saha ziyaretinde	Akım trafosu	Akım trafo vasıtasıyla röleler üzerinden Amper olarak ölçülmüştür.

4.2.1. Akım taşıma kapasitesi kıyası

Tablo 4.7.'de hattın ACSR Hawk kullanımındayken akım taşıma kapasitesi ile ACCC Lisbon uygulamasından sonraki kapasitesi kıyas edilmiştir. ACSR Hawk için ölçümler ACCC Lisbon iletkeni kurulumunda önce alınmıştır. ACCC Lisbon 6 gün gibi kısa bir sürede kurulmuştur. İki iletkenin ölçümü de aynı mevsim koşullarında değerlendirilmiştir. Ölçümler 2 saat aralıklarla yapılmıştır. İletken akımları akım

trafosu vasıtasıyla röleler üzerinden dijital ekrandan amper olarak alınmıştır. Akım gücü artırıldığında sıcaklık artmaktadır. 60°C’de ACCC Lisbon iletkeni ACSR Hawk iletkenine göre yaklaşık ortalama %15,64’ten fazla akım taşıma kapasitesine sahiptir. 80°C’de ACCC Lisbon ACSR Hawk iletkenine göre yaklaşık %16,77’den fazla akım taşıma kapasitesine sahiptir. Hattın kurulu gücü yüksek akım taşımaya yeterli olmadığı için 180°C için deneme yapılamamıştır. 180°C ve diğer sıcaklıklardaki akımı ölçmek için CTC Global firması tarafından geliştirilen CCP programı kullanılmıştır. CTC Global, sistem planlamacılarının ve mühendislerinin hemen hemen her iletken tipinin ve büyüklüğünün akım taşımalarını, hat kayıplarını, termal ve buz yükü sarkmasını ve ekonomik yönlerini karşılaştırmasına yardımcı olmak için CCP Yazılımı (Conductor Comparison Programme) tasarlamıştır. Hesaplamalar için gerekli tüm veriler bir sayfaya girilir. Temsili karşılaştırma ACCC İletkenler, seçilen ana iletken temel alınarak otomatik olarak seçilir. CCP matematiksel modelleme programında 180°C’de ise hattın eski iletkeni olan ACSR Hawk’a göre ACCC Lisbon iletkeni %100’den fazla akım taşıma kapasitesine sahip olduğu hesaplanmıştır. 60°C ve 80°C çalışma koşullarında sahadan alınan veriler CTC global firması tarafından yazılan CCP matematiksel modelleme programı vasıtasıyla da doğrulanmıştır. CCP Yazılımı veri giriş ekranı Şekil 4.7.’de gösterilmiştir. Doğrulama sonuçları Şekil 4.8.’de gösterilmektedir.

Tablo 4.7. Saha ve CCP program verileri kıyası

İletken tipi			
Akım taşıma (A)		ACSR Hawk	ACCC Lisbon
Akım taşıma (A) 60 °C	10.00 am	492	579
	12.00 pm	497	576
	14.00 pm	501	571
	16.00 pm	498	573
	Ortalama	497	574,75
	CCP programı	509	584
Akım taşıma (A) 80 °C	10.00 am	891	1039
	12.00 pm	903	1044
	14.00 pm	894	1043
	16.00 pm	901	1047
	Ortalama	897,25	1043,25
	CCP programı	914	1049
Akım taşıma (A) 180 °C	10.00 am	-	-
	12.00 pm	-	-
	14.00 pm	-	-
	16.00 pm	-	-
	CCP programı	-	2084

CTC GLOBAL [Save Comparison to PDF](#)

Conductor Information	Base Conductor	Conductor #1	Conductor #2	Conductor #3
Type:	ACCC®	ACSR	Select Type	Select Type
Size (mm² Al - Code Word):	316 - LISBON	242 - HAWK	525 - DUBLIN	403 - DRAKE
Aluminum Area (mm²):	315,5	241,7	0,0	0,0
Diameter (mm):	21,793	21,793	0,000	0,000
Rated Strength (kN):	103,4	86,7	0,0	0,0
Weight (kg/km):	947,9	976,1	0,0	0,0
DC Resistance at 20°C (ohms/km):	0,0887	0,1169	0,0000	0,0000
AC Resistance at 25°C (ohms/km):	0,0910	0,1198	0,0000	0,0000
AC Resistance at 75°C (ohms/km):	0,1088	0,1432	0,0000	0,0000

Şekil 4.7. CCP veri giriş ekranı

CTC GLOBAL		Physical & Electrical Characteristics Report		
12/10/2019 6:33:18 AM GMT (or UTC)		Project Name: UEDAS ACCC LISBON PROJECT		
		Project Location: Bursa		
Conductor Information		Base Conductor	Comparison Conductor #1	Not Selected
Type		ACSR	ACCC®	
Size (Unit - Code Word)		242 mm ² HAWK	316 mm ² LISBON	
Aluminum Area (mm ²)		241.7	315.5	
Diameter (mm)		21.793	21.793	
Rated Strength (kN)		86.7	103.4	
Weight (kg/km)		976.1	947.9	
Electrical Characteristics				
DC Resistance at 20°C (ohms/km)		0.1169	0.0887	
AC Resistance at 25°C (ohms/km)		0.1198	0.0910	
AC Resistance at 75°C (ohms/km)		0.1432	0.1088	
Conductors per phase		1	1	
Number of Circuits		2	2	
Ampacity (A) at Temperature 1 (°C)		(60) - 509	(60) - 584	
Ampacity (A) at Temperature 2 (°C)		(80) - 914	(80) - 1,049	
Ampacity (A) at Temperature 3 (°C)		(80) - 914	(80) - 1,049	
Ampacity (A) at Rated Operating Temp (°C)		(75) - 834	(180) - 2,084	
Ampacity (A) at Maximum Temp (°C)		(100) - 1,172	(200) - 2,224	
Solar Absorptivity		0.60	0.60	
Emissivity		0.50	0.50	

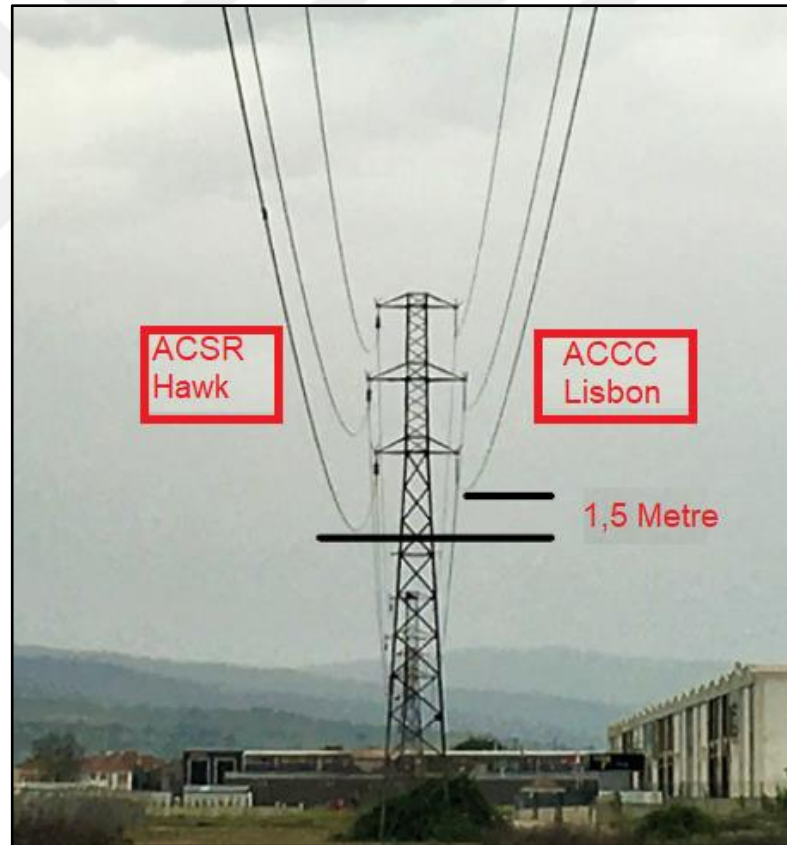
Şekil 4.8. CCP program raporu

4.2.2. Sehim kıyası

Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin işletmesinde bulunan yaklaşık 30 yıllık İnegöl trafo merkezi – İnegöl dağıtım merkezi enerji nakil hattının ACSR Hawk iletkeninden ACCC Lisbon iletkenle yenilenmesi projesi kapsamında 34,5 kV'luk çift devre hattın mevcut direkleri değiştirilmeden yapılan projede eski iletkenle göre ACCC iletken ile sehimdeki azalma yaklaşık 1.5 metre olarak kaydedildi. İletken sehimini topoğraf tarafından teodolit cihazıyla ölçülerek yapılmıştır. Sehim kıyaslarının gösterildiği Tablo 4.8.'de ise işletme sıcaklıklarında iletkenlerin sehim değerleri görülmektedir. Şekil 4.9.'da görüleceği üzere kendi işletme sıcaklığında ACCC Lisbon ACSR Hawk iletkenine göre ciddi bir sehim avantajı sağlamaktadır. ACCC Lisbon iletken içerdiği kompozit özün getirdiği muadil iletkenlere göre %25'lik daha hafif olmasının avantajıyla iletken yenileme projelerinde kapasite artımı yaparken aynı zamanda sehim değerlerinde de öne geçmektedir.

Tablo 4.8. Sehim değerleri

Akım taşıma (A)	Sehim değerleri (m)	İletken tipi		
		ACSR Hawk	ACCC Lisbon	Fark
Akım taşıma (A) 60 °C	Üst sehim değeri	10,40	12,00	1,60
	Orta sehim değeri	8,50	10,00	1,5
	Alt sehim değeri	6,50	8,00	1,5
Akım taşıma (A) 80 °C	Üst sehim değeri	12,8	11,2	1,4
	Orta sehim değeri	11,4	9,9	1,5
	Alt sehim değeri	9,2	7,8	1,4



Şekil 4.9. 3 ve 4 nolu tellerin sehim farkı görüntüsü

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

ACCC Lisbon iletkeninin büküm sonunda standartta belirtilen değerleri yakalayabilmesi için kullanılan alüminyum filmaşınların mukavemet, uzama ve iletkenlik değerleri önemlidir. Alüminyum filmaşınlerden soğuk şekillendirmeyeyle üretilen teller tel çekme makinalarında, bobinlere sarılırlar. Her bobine mukavemet, uzama ve iletkenlik testleri yapılarak değerler belirlenir. Farklı iletkenlik, mukavemet ve uzama verilerine ait alüminyum filmaşınlerden üretilen tellerin sonuçları ve büküm sonunda istenilen değerlerin elde edilmesi için kullanılan tellerin sağlaması gereken değer aralıkları belirlenmiştir. Alüminyum filmaşından soğuk plastik şekillendirme ile elde edilen trapez şeklindeki tellere istenen elektriksel ve mekaniksel özelliklerin kazandırılması için ısıtma işlemi uygulanmalıdır.

O tipi filmaşınların tel çekme prosesinde kullanılmasıyla örüm öncesi tellerin uzama değerlerinin %20'nin altında olduğu, mukavemet değerlerinin 95 Mpa'nın üzerinde, tek telin iletkenliğinin minimum değerin (%63 IACS) üzerinde geldiği görülmüştür. İki ayrı filmaşından üretilen tellere yapılan 350 °C ve 330 °C 8 saatlik ısıtma işlemi ile örüm öncesi uzamalar yükselmiş, mukavemet ve iletkenlik değerleri sağlanmıştır. Fakat H11 Filmaşına Isıtma işlemi uygulanmasıyla elde edilen O tipi filmaşından üretilen tellere tekrar ısıtma işlemi uygulandığında sağlanan mukavemet değeri alt sınıra yani 60 MPa'ya yakın olması bu malzemenin yumuşak bir ürün olması anlamına gelmektedir. Yapılan ısıtma işlemi sonucunda her ne kadar standarttaki değerler yakalansa da teller örme makinesine yüklenip örüldüğünde alüminyum tellerin çok yumuşak ve uzamasının çok yüksek olmasından dolayı tellerin sündüğü, bunun sonucunda kesitte meydana gelen küçülmeden dolayı örüm sonunda alınan

numunelerde birim ağırlık ve bazı tellerin uzama değerlerinin standartların dışında geldiği görülmüştür.

Tel üretiminde, O tipi filmaşinde alınan olumsuz sonuç sonrası iletkenliği en yüksek filmaşin gurubu olan H11 tipi filmaşin kullanılmıştır. H11 filmaşinin tel çekme prosesinde kullanılmasıyla üretilen trapez tellerin uzama değerinin %20'den ve iletkenlik değerleri % 63 IACS'den düşük olduğu görülmüştür. Bu tellere ısıtıl işlem uygulanması sonucu trapez şeklindeki Alüminyum tellerin örüm öncesi ve örüm sonrası özellikleri sağladığı görülmüştür.

H11 tipi mukavemeti 95 MPa, iletkenliği % 62,82 ve uzama değeri % 51,4 olan filmaşin kullanılarak üretilen 16 adet trapez şeklindeki alüminyum tellerin tel çekme sonrası mukavemet, iletkenlik ve uzama değerlerinin standart dışı geldiği görülmüştür. Bu tellere, 350 °C 8 saat ısıtıl işlem uygulanmıştır. Tellere uygulanan ısıtıl işlem sonrasında standartta belirtilen değerler sağlanmış fakat, uzama değerindeki artışın yüksek olması ve mukavemetin alt sınıra yakın olmasından dolayı örme prosesi sonrası yapılan testlerde, bazı tellerde birim ağırlık ve uzama değerlerinin standart dışında geldiği görülmüştür.

H11 tipi mukavemeti 93 MPa, iletkenliği %62,76 ve uzama değeri %47,5 olan H11 tipi filmaşin kullanılarak üretilen 16 adet trapez şeklindeki alüminyum tellerin, tel çekme sonrası mukavemet, iletkenlik ve uzama değerlerinin standart dışı geldiği görülmüştür. Alüminyum tellere 330°C'de 8 saat ısıtıl işlem uygulanmıştır. Tellere uygulanan ısıtıl işlem sonrasında değerler standart içindedir. Fakat; uzama değerindeki artışın yüksek olması ve mukavemetin alt sınıra yakın olmasından dolayı örme prosesi sonrası yapılan testlerde, bazı tellerde birim ağırlık ve uzama değerlerinin standartların dışında geldiği görülmüştür.

H11 tipi mukavemeti 95 MPa, iletkenliği %62,94 ve uzama değeri %51,8 olan filmaşın kullanılarak üretilen 16 adet trapez şeklindeki alüminyum tellerin iletkenlik değeriinin ve uzama değeriilerinin standardın altında geldiği gözlemlenmiştir. Alüminyum tellere 350°C’de 6 saat ısıt işleml uygulanmıştır. Tellere uygulanan ısıt işleml sonrasında standartta belirtilen değeriiler sağlanmıştır ve mukavemetin artmasından dolayı örme prosesi sonrası yapılan testlerde, sünmeden kaynaklı problemler minimize edilmiş olup örüm sonrası değeriiler sağlanmıştır.

Isıt işleml sonrası telde standart değeriilerin elde edilebilmesi için seçilen filmaşının mukavemetinin H11 tipi ve 95 Mpa’ya yakın, tel iletkenliğinin min %62 IACS’nin üzerinde olması gerekmektedir. Uygulanan ısıt işlemlin ise 350°C sıcaklık aralığında 6 saat bekletilmesi gerekmektedir. Ayrıca örüm sonrası uzama değeriilerinin tutması için edinilen tecrübeyle ısıt işleml sonrası uzama değeriilerinin de maksimum %50 olması gerektiği tespit edilmiştir.

Türkiye’de bir ilk olarak gerçekteşen Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. işletmesinde bulunan İnegöl TM – İnegöl DM enerji nakil hattının ACSR Hawk iletkeninden ACCC Lisbon iletkenle yenilenmesi projesi başarıyla gerçekteştirilmiştir. Hattın ACSR Hawk akım taşıma kapasitesi ile ACCC Lisbon uygulamasından sonraki kapasitesi kıyas edilmiştir.

60°C’de ACCC Lisbon iletkeni ACSR Hawk iletkenine göre yaklaşık ortalama %15,64’ den fazla akım taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

80°C’de ACCC Lisbon ACSR Hawk iletkenine göre yaklaşık %16,77’den fazla akım taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Enerji Nakil Hattının ACSR Hawk iletkeninden ACCC Lisbon iletkenle yenilenmesi projesi kapsamında 34,5 kV’luk çift devre hattın mevcut direkleri değeriştirilmeden

yapılan projede eski iletkene göre ACCC iletken ile sehimdeki azalma yaklaşık 1,5 metre olarak kaydedilmiştir.

ACCC lisbon iletken içerdği kompozit özün getirdiği muadil iletkenlere göre %25'lik daha hafif olmasının avantajıyla iletken yenileme projelerinde kapasite artımı yaparken aynı zamanda sehim değerlerinde de öne geçmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] Kıstı, E., 2016. Kompozit Özlü Alüminyum İletkenlerin Üretilmesi ve İletkenliğinin Yükseltilmesi İçin Yapılan Çalışmalar
- [2] <http://w3.gazi.edu.tr/~bayindir/D4.pdf> , Erişim Tarihi: 10.03.2020
- [3] Üstünel, M., Altın, M. ve Kızılgedik, M., 2011. Endüstriyel Elektrik, MEB Yayınevi, Ankara
- [4] Elektrik Elektronik Teknolojisi, Havai Enerji Hatları, Ankara 2011, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara
- [5] www.emtakablo.com, Erişim Tarihi: 10.03.2020
- [6] 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.2193-219
- [7] CTC Global Corporation, 2011. Engineering transmission lines with high capacity low sag ACCC conductors, first edition, p.255, A.B.D
- [8] Goel, A., Kamarudin, A., Pon, C., 2005. New High Temperature Low Sag Conductors, NATD Conference & Expo May 2005
- [9] Savaşkan, T., 2015. Malzeme bilgisi ve muayenesi, Palme kitap, 396s, Trabzon
- [10] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Dislokasyon>, Erişim Tarihi: 16.05.2020

- [11] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Dislokasyon>, Erişim Tarihi: 16.05.2020
- [12] <https://www.metalurjimalzeme.net/sicak-sekillendirme/>, Erişim Tarihi: 16.05.2020
- [13] (<https://www.metalurjik.net/soguk-haddeleme-islemi>), Erişim Tarihi: 16.05.2020
- [14] http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/89610_20471920831.pdf, Erişim Tarihi: 16.05.2020
- [15] Serfiçeli, Y. S., 2002. Metal İşleri Meslek Teknolojisi, MEB Yayınları, İstanbul
- [16] Özmen, O., Bozkurt A., Mayıs 2017, İstanbul. Kompozit Özlü Alüminyum İletkenler
- [17] https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_1445.pdf, Erişim Tarihi: 16.05.2020
- [18] Gedik, D., 2008. Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sodyum dikromat ve sülfirik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi, 114 s, Adana
- [19] <http://www.aluminyumdokum.org/etiket/aluminyum-uretimi/> Erişim Tarihi: 16.05.2020
- [20] Zor, M., 2006. Kompozit malzemelerle ilgili genel bilgiler ders notu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
- [21] Şahin, Y., 2006. Kompozit malzemelere giriş, Şağın Yayıncılık, 327 s
- [22] 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
- [23] Tanoğlu, M., Toğulga, M., 2005. Kompozit Malzemeler ve Jeotermal Uygulamalar, Jeotermal Enerji Semineri

- [24] Uluçay, Y., 1989.The Effect On Surface Treament On The Bonding Properties Of Specrafibers For USA In Composites Structures, Maryland College Park University, USA
- [25] Mısıroğlu, M., 1996.Cam Elyaf Takviyenin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [26] Becenen, N., 2008.Traktör Kaportalarında Kullanılan Plastik Matrisli Kompozit Malzemelerin Yapısal Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Tekirdağ
- [27] Rouchan, J., 1987.Materiaux composites pour d'aeronefs, Ecole Nationale Superieured'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques
- [28] Greene E., 1998.Marine Composites, Annapolis, ABD
- [29] Ülkü, S. ve Korkmaz, B., 1988.Farklı Kompozisyonlardaki Polyesterin Mekanik Özelliklerinin Yapıya Bağlı Olarak Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi Balıkesir Kongresi Bildiriler Kitabı
- [30] 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
- [31] Sayman, O., Aksoy S., 1978.Kompozit Malzemeler, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Yayınları, 1-30, İzmir
- [32] <https://bilginoglu-endustri.com.tr>, Erişim Tarihi: 19.05.2020
- [33] <http://hafifmesrepmetaller.com/gallery/aluminyumuretimsureclerindekullaniln%20ergitmevetutma.pdf>, Erişim Tarihi: 19.05.2020
- [34] https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi135/d135_5560.pdf, Alüminyum iletken imalat sanayiinde AlB2 ve AlB12 ön-alaşımlarının %99,5-%99,7Al ve AlMg0.7Si alaşımları üzerindeki iletkenlik tesirlerinin araştırılması
- [35] <https://docplayer.biz.tr/14745111-Malzemelerin-deformasyonu.html>, Erişim Tarihi: 19.05.2020

- [36] <https://www.scribd.com/document/76563731/Plastik-Sekil-Verme-Esasları>
Erişim Tarihi: 19.05.2020
- [37] Yıldızlı, K., 2011. Çekme/Eğme deney föyü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 11s, Samsun
- [38] https://emtaenergy.com/enerji_projeleri, Erişim Tarihi: 19.05.2020



ÖZGEÇMİŞ

Necati Ocak, 1985 yılında Sakarya’da doğdu. Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Mühendisliği alanında lisans eğitimini tamamladı. Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Mühendislik Yönetimi alanında yüksek lisans, yine aynı Üniversitede Malzeme Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitime devam etmektedir. Meslek hayatına 2009 yılında Yıldız Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasında Proses Kalite Mühendisi olarak başlamıştır. 2011 yılından itibaren de EMTA Kablo Sanayi ve Ticaret A.Ş.’de Kalite ve Ar-Ge departmanlarında görevine devam etmektedir. Bu süre içerisinde şirketin Kalite Yönetimi, Ar-Ge ve Yönetim Sistemleri projelerinde aktif rol almıştır.