



# Kompozit Özlü Alüminyum İletkenlerin (ACCC) üretilmesi ve iletkenliğinin yükseltilmesi için yapılan çalışmalar

**Oğuzhan AKGÖL**

*İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 31140, Hatay*

**Ebru AKDAĞ KISTI**

*İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 31140, Hatay  
Emta Kablo, Kadirli, Osmaniye*

**Muharrem KARAASLAN\***

*İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 31140, Hatay*

*[muharrem.karaaslan@iste.edu.tr](mailto:muharrem.karaaslan@iste.edu.tr) , ORCID:0000-0003-0923-1959, Tel: (326) 613 56 00*

**Emin ÜNAL**

*İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 31140, Hatay*

Geliş: 17.09.2017 , Kabul Tarihi: 13.06.2018

## Öz

*Bu çalışmada kompozit özlü alüminyum iletkenlerin (ACCC) üretilmesi ve iletkenliğinin yükseltilmesi için yapılan işlemler araştırılmıştır. Elektrik enerjisi taleplerinin büyümesiyle birlikte iletim hatlarının kapasitesinin ve etkinliğinin artırılması giderek önem kazanmaktadır. ACCC iletkeninin üretilmesinin temel nedeni geleneksel iletkenlerin dezavantajları göz önünde bulundurularak, artan enerji taleplerini karşılamaktır. Bu makale çalışmasında ACCC iletkeninin avantajları, yapılan testlerle desteklenerek anlatılacaktır. İletkenlik değeri yükseltilirken uygulanan ısı işlemler, elde edilen ısı işlem verileriyle yapay sinir ağları kullanılarak optimizasyon yapılması ve standartlarda geleneksel iletkenler için belirtilmeyen fakat ACCC iletkenler için minimum değeri belirtilen alüminyumun uzama değerlerinin yakalanması için kullanılan yöntemler anlatılacaktır. Ülkemizde son zamanlar da üretilmekte olan bu iletkenin yapısı, üretim süreci, standartlarda belirtilen değerlerin tutturulması sırasında yapılan testler ve uygulanan yöntemler üzerinde değerlendirmeler yapılacaktır.*

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

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Elektrik enerjisi çeşitli kaynaklardan elde edilebilmektedir. Bu kaynaklar doğalgaz, kömür, jeotermal kullanan termik santraller, nükleer ve hidrolik santraller şeklinde ifade edilebilir. Bu santrallerden üretilen elektrik enerjisi yerleşim yerlerine ve sanayi tesislerine iletilirken uzun mesafe alırlar. Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında kullanılan temel elemanlar iletkenler, yalıtılmış havai hatlar ve yeraltından taşınması gerekli olan durumlar için yer altına uygun güç kabloları şeklindedir (Anonim, 2012).

Son zamanlara kadar bakır, kullanışlı özelliklerinden dolayı temel iletim elemanı olarak tercih edilmiştir. Bakırın tercih edilmesinde ki başlıca nedenler, yüksek iletim özellikleri, işlenebilirlik ve yeterli mekanik özellikleridir. Son günlerde, elektrik enerjisi iletiminde, temel iletken malzeme olarak alüminyum, bakırın yerini hızla almaktadır. Bunun nedenleri arasında, alüminyumun daha hafif olması (% 30) temel nedenlerden birisidir. Çünkü, havai hatları taşımada kullanılan direkler için taşıyacakları iletkenin hafifliği önem arz etmektedir, ağırlık arttıkça direklerinde ağırlığı artmaktadır. Bunun yanında, alüminyum iletkenin montajı ve işlenmesi bakır iletkenine göre oldukça basittir. Ayrıca, alüminyum doğada en fazla bulunan iletken malzemedir (8%) (Anonim, 2012).

Yüksek gerilim enerji hatlarında kullanılacak iletkenlerin elektriksel iletim ve mekaniksel dayanıklılık özelliklerinin özenle seçilmesi gerekmektedir. Bu iletkenler genellikle spiral şeklinde örülür. Bunun nedeni, hem yeterli esnekliği elde etmek hem de bağlantı yerlerinde oluşabilecek kopma etkilerini önlemektir (Üstünel ve ark., 2011). Günümüzde en çok tercih edilen alüminyum örgülü havai hat çeşitleri tam alüminyum alaşımlı (AAAC), tam alüminyumlu (AAC), ve çelik özlü alüminyum iletkenlerdir(ACSR). Yurt dışında üretimi ve kullanımına başlanan, ülkemizde üretimi henüz yapılmaya başlanacak olan kompozit özlü alüminyum iletkenler de avantajlarından dolayı tercih edilen iletken çeşitlerindedir. AAC

iletkenler yuvarlak şekilli alüminyum tellerin standart ve teknik şartnamelere göre belirlenen konstrüksiyonla birbiri üzerine örülmesiyle oluşturulur. AAC'ler içeriğinde uygun oranlarda alaşım elementleri içerir. Yuvarlak şekilli alaşım tellerin standartta belirlenen konstrüksiyonla birbiri üzerine örülmesiyle oluşturulan iletken yüksek mekanik ve korozyon direncine sahiptirler. ACSR'ler %6-40 oranında değişen tek tel ya da örgülü çelik özler üzerine sarılan alüminyum tellerden meydana gelir. Çeliğin ana görevi hatta binen yükü taşımaktır. Yüksek gerilim hatları için tercih edilen bir iletkenidir. ACCC'ler, merkezinde kompozit öz üzerine sarılan trapez şeklindeki alüminyum tellerden meydana gelir. Henüz çok yeni olan ve yurt dışında uygulamaları bulunan bu iletken ihtiva ettiği kompozit öz sayesinde diğer geleneksel iletkenlere göre çok daha yüksek mukavemet ve düşük sehim performansı göstermektedir (Dropulic,2017).

Oksijen ve silisyumun ardından, dünyada en çok yer alan element alüminyumdur. Bununla beraber, alüminyumun endüstride kullanımı elektroliz yönteminin gelişmesi ile ivme kazanmıştır. Kurşun, demir, kalay gibi yaygın kullanımı olan metallerle benzer olarak alüminyum da doğal ortam da bileşik halindedir (Gedik,2008). İlk defa 1807 yılında, doğada oksitlenmiş olarak bulunan alüminyumu saflaştıran Sir Humprey Davy olmuştur. Bu çalışmanın üzerine, saf alüminyumun elde edilmesinde yeni yöntemler Frederick Wöhler, Hans Christian Oersted ve Henry Sainte-Clairre Deville tarafından gerçekleştirilmiştir (Gedik,2008). Alüminyumun endüstriye kazandırılması elektroliz yöntemi kullanılarak, iki farklı ülkeden bilim adamları olan Charles Martin Hall (ABD) ve Paul T. Heroult (Fransa) gerçekleştirilmiştir. Elektroliz yöntemi ile hali hazırda alüminyum elde edilmesinde kullanılmaya devam edildiğinden dolayı, alüminyum endüstrisinin doğuşu 1886 yılıdır denebilir. Alüminyumun endüstride kullanımını oldukça kolay kılan ise yine aynı yılda Werner Von Siemens'in dinamoyu keşfi ve Bayer süreci ile boksitten alümina oluşturulması olmuştur. Bu sayede, alüminyum demir-çeliğin arkasında en çok kullanımı olan metal olmuştur

(Gedik,2008). Alüminyumun tercih edilme nedenlerinden bir tanesi hafif olmasıdır. Hacimsel olarak eşit olan çeliğe göre 1/3 oranında daha hafiftir. Ayrıca, sıcak soğuk hava koşullarına dayanıklı olması ve sıklıkla kullanılan gaz ve sıvılara dayanıklıdır. Alüminyumun bir diğer önemli özelliği yansıtmasının yüksek oluşudur. Gümüşe yakın rengi ile yansıtma özelliğinin birleşimi ile iç ve dış mimari için tercih edilmektedir. Alüminyumun dikkat çeken bu görünümü, değişik kimyasallar kullanılarak korunabilmektedir. Ayrıca, mukavemet açısından da alüminyum alaşımlar, çeliğe denk veya yüksek dayanıklılık gösterebilmektedir. Alüminyumun bir diğer önemli özelliği, ısı ve elektriği yüksek bir seviyede iletebilmesidir. İletim elemanı olarak daha çok saf hali tercih edilir ve bu halde başka amaç için kullanılmaz. Fakat alaşım halinde günlük kullanım da dahil olmak üzere çok özel uygulamalarda yerini almaktadır (Gedik,2008). Birden fazla malzemenin birbirlerinde çözülmeden birleştirilmesi sonucunda kompozit malzemeler oluşturulmaktadır. Kompozit malzemelerin oluşturulmasının amacı, kendisini oluşturan malzemelerin göstermediği hafiflik, dayanıklılık, esneklik gibi mekanik özelliklerin elde edilmesidir. Kompozit malzemeler, karışım ile karıştırılmamalıdır çünkü çözen ve çözünen içermez. Diğer bir deyişle, bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır. Kompozitler genelde iki tür malzeme içerirler. Bunlardan biri ana malzemedir ve matris olarak adlandırılır diğer malzeme ise mukavemeti daha fazla olan takviye malzemesidir. Matris olarak adlandırılan ana malzeme, plastik deformasyon sürecinde meydana gelebilecek çatlakları ve bunların ilerlemesini azaltarak ya da önleyerek kompozitin kopmasını engellerken, yan malzeme olan takviyenin kullanılma amacı mukavemeti artırarak tük taşıma kapasitesini geliştirmektir (Zor, 2006).

geçişini sağlar. Bu faz, bütün bunların yanında kompozit malzemeyi çevre şartlarından koruyarak çatlak meydana gelmesini engellemek amacı da taşır (Tanoğlu,2005). Kompozit malzemelerin hafif olmaları, uzun süre deformasyon uğramamaları, mekanik ve kimyasal etkilere dayanıklılığının yüksek olmasından dolayı istenmektedir. Havai hatlarda kullanılmaya başlanmasının temel nedenleri de bu avantajlarıdır. Kompozit malzemeler çok - fazlı malzemeler olarak da adlandırılmaktadır. Bunun nedeni, özel üretimleri ile farklı fazlarda ki malzemelerin birleştirilmesi ile üretildiklerinden ve önemli seviyede fiziksel ve mekanik özellikler ortaya koymaktadırlar (Şahin, 2006).

Ülkemizde henüz üretimine başlanan fakat kullanımı bulunmayan, dünyada 100'den fazla elektrik idaresi tarafından kullanılan, 257'den fazla projede, 25.000 km<sup>2</sup>'nin üzerinde uygulamaları bulunan ACCC İletkenler tercih edilmeye başlanmıştır (CTC Global,2011). Ülkemizde yüksek gerilim nakil hatlarında genellikle çelik özler üzerine yerleştirilen alüminyum tellerden meydana gelen ACSR kullanılmaktadır. Bu iletkenlerde akım taşıma kapasitesini arttırmak için ebatlar arttırılır. Çeliğin özgül ağırlığı alüminyumdan çok daha fazla olduğundan dolayı, artan bu ağırlıkta çeliğinde önemli bir payı vardır ancak taşıma görevini gördüğü için bu özellikten ödün vermek oldukça zordur. Bir diğer önemli problem ise yüksek sıcaklıklarda sarkmaya neden olan ve hattın ömrünü kısaltan sehim olayıdır. Hızla gelişen teknolojiyle beraber geleneksel iletkenlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için yeni arayışlar başlamıştır. Bu arayışların sonucunda iletken seçimini etkileyen temel parametrelerin geleneksel iletkenlerden çok daha verimli olduğu ACCC üretimi ve kullanımı gerçekleştirilmiştir.

Dayanıklılığı artırıcı bileşeni birlikte durmasını sağlayarak bağlayıcı etki gösteren matris fazı, kompozit malzemenin ayrışmasına engel olarak, maruz kalınan yükün mukavemetlendirici faza

## Materyal ve Metot

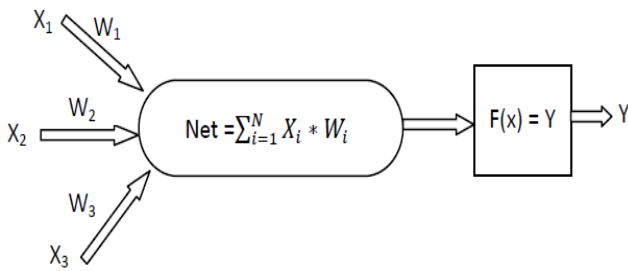
ACCC iletken üretim süreçleri genel olarak döküm, tel çekme, örme, ısıl işlem fırınları olmak üzere 4 ana süreçten oluşur. Döküm süreci 1 tane ergitme fırını ve 2 adet dinlendirme fırınından oluşmaktadır. Döküm süreci sonucu alüminyum filmaşın üretilmektedir. Alüminyum filmaşın, genel olarak çapları değişmeyen, daire biçimli, sıcak haddelenerek elde edilmiş, tel imalinde ve sıkı sarımda kullanılan, 9,5 mm veya 12 mm çapında, uzun, som çubuktur. %99,8 saflıkta alüminyum külçeler döküm yapmak üzere ergitilerek sıvı faza dönüştürülür ve bir kanal vasıtası ile sürekli bir şekilde dinlendirme fırınına aktarılır. Eğer alaşım yapılacaksa gerekli alaşımlar burada eklenir. Dinlendirme fırınından 690-730°C de alınan sıvı metal, sabit debide döküm makinasına verilir. Döküm makinasında bakır dış zarflı döküm tekerleği ve dışında bulunan kanal vasıtası ile soğutma suyu verilerek yaklaşık 500°C sıcaklıkta alüminyum bara elde edilir. Bu bara, döküm makinası ile senkronize çalışan haddeme makinasında 9,5 mm veya 12 mm çaplı alüminyum filmaşın şekline dönüştürülür. Filmaşın çıkış sıcaklığı 180- 220°C 'dir. Filmaşın müteakiben ve sürekli olarak deveboynu denilen bir aktarma kısmı ile filmaşın sepetlerine istiflenir. Tel çekme süreci, kalın kesitli olan bir tel haddelenerek kesitinin küçültülmesi işlemidir. Tel kesitleri genelde daireseldir. Sürekli alüminyum filmaşın üretim hattından gelen 9,5 veya 12mm çaplı alüminyum filmaşınlar tel çekme makinelerinde soğuk çekilerek 1,50 - 5 mm çaplarında tel haline getirilmektedir. Amaçlanan çap değeri elde edilene kadar telin ardışık matris işlemlerine girmesi gerekmektedir. Uygulanan her matris ve sıralı matris çapları malzemenin giriş çap değerinden düşüktür. Tel kesiti, matris işlemlerinde azalmaktadır.

Tel çekme sürecinin teorik olarak atık olmadan sonuçlanması istenmektedir. Bundan dolayı, hacimsel olarak tel azalsa da, boyu uzama ve ya sünme durumundadır. Yarı Mamul olan filmaşın tel çekme makinalarının giriş kısmına getirilerek deveboynu denilen kuleden geçirilmekte ve tel çekme makinasına verilmektedir. Verilen

filmaşın hangi nihai ürün isteniyorsa o nihai ürünü oluşturan tel çaplarına göre hadde istasyonlarında hadde çapları ayarı yapılarak soğuk çekilmektedir. Soğuk çekilen teller bobinlere sarılmaktadır. Geleneksel iletkenlerde kullanılan alüminyum teller yuvarlak şekillidir, ACCC iletkenlerde ise trapez şekilli teller üretebilmek için trapez şeklinde özel haddelerin tasarlanması gerekmektedir. Örme işlemi, spiral şekilde gerçekleştirilir. Bunun nedeni, örülen iletkenlerin yeterli esneklik düzeyinde olmasını gerçekleştirmek, gergi ve askı birleşim noktalarında oluşabilecek salınımlar nedeni ile kopma oluşmasını engellemektir. Bu örgüdeki katmanlar ters yönde sarılırlar. Bu sayede tellerin birbirinden uzaklaşmaması ve ters yönde meydana gelen manyetik alan değerlerinin etkilerini yok etmeleridir. 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. Genellikle metallere uygulanan ve dayanıklılık, setlik gibi mekanik karakteristiklerini değişik yöntemler kullanılarak ısıl değişim ile artırma yöntemi içerisinde ki süreçlerin tamamına, ısıl işlem süreci adı verilir. Bu süreç, metallerin daha çok dayanıklılık, sertlik gibi mekanik karakteristiklerini artırmak için kullanılan işlemlerin bütünüdür. Bu süreç türü metalürjiktir. Genel olarak, uygun sıcaklık değerinde metallerin tavlanması yolu ile amaçlanan faz durumuna getirmek şeklinde yapılır. Bu işlemin ardından metal hızla soğuma işlemine tabi tutulur ve bu şekilde, oda sıcaklığında granüller termodinamik olarak denge halinde bulunmayan bir faz değerinde sıkıştırılmış olur. Anılan faz değeri metalin daha iyi bir mekanik karaktere sahip olduğu fazdır. Isıl işlem uygulamalarında uygulanan sıcaklık ve ne kadar süreyle uygulandığı çok önemlidir. İstenilen mekanik özellikler uygun sıcaklıkta uygun süreyle tavlanırsa yakalanabilir. Ayrıca iletkenliğin yükseltilmesi için alüminyum tellere ısıl işlem uygulanmalıdır. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi tellerin mekanik özelliklerini etkilemektedir. İstenilen mekanik özellikler için

uygun sıcaklık ve sürede alüminyum tellere ısıtım işlem uygulanmalıdır. Isıtım işlem uygulamalarıyla elde edilen veriler değerlendirilerek, deneme üretimlerini azaltmak ve kısa sürede en uygun verilere ulaşabilmek için optimizasyon yöntemi kullanılacaktır.

Optimizasyon, belirli koşullar altında herhangi bir şeyi en iyi yapma olarak tanımlanabilir. Optimizasyonlar, yapay sinir ağları ile yapılacaktır. Yapay sinir ağları (YSA), öğrenme yöntemleri ile var olan bilgileri geliştirme şeklinde ki insan beyni gibi davranan bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağları tekniği, insan beynine benzer öğrenme aşamalarının matematiksel modellenmesi sonucunda oluşturulmuştur (Demirci,2013). Bundan dolayı, yapay sinir ağları üzerine çalışmalar beynin biyolojik birimlerinden nöronların benzetimi ve bilgisayar programlarına adapte edilmesi ile başlanmıştır. Gelişimi, bilgisayar sistemleri ile paralellik göstermiştir. Isıtım işlem uygulanan alüminyum tellerin sonucunda elde edilen verilerden faydalanılarak yapay sinir ağları ile optimizasyon yapılacaktır. Ağın gücünü doğrudan etkileyen nedenlerden biri yapay sinir ağında bağlantı ağırlık fonksiyonlarının en başta belirlenmesidir. Ağırlık değerleri belirlenmiş ölçülerde seçilmelidir. Büyük aralık seçimi, yerel çözümler içerisinde sürekli değişime, küçük aralık seçimi ise geç öğrenmeye neden olur. Anılan değerlerin kullanılmasında standart bir yöntem bulunmamaktadır fakat genel olarak çalışmalarda 0,1-1,0 aralığında atanan değerler iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 1. Yapay sinir ağı şeması

## Bulgular

Döküm sürecinden çıkan alüminyum filmaşınlar kullanılarak üretimi yapılan ACCC Silvassa trapez şeklindeki alüminyum tellerin her biri

için rutin testler tamamlanarak, iletkenlik, uzama ve mukavemet değerleri belirlenmiştir. Örme makinesine yerleştirilen tellerin örümünden sonraki uzama değeri minimum %20, iletkenlik değeri minimum %63 IACS, mukavemet değeri ise 60-95 Mpa aralığında olmalıdır. (EN 50540). Filmaşından soğuk şekillendirme ile elde edilen trapez şeklindeki tellere istenilen mekanik ve elektriksel özelliklerin kazandırılması için tavlama ısıtım işlemi uygulanır. Farklı mukavemet, iletkenlik ve uzama değerlerine ait filmaşınlerden üretilen tellerin sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 1’de mukavemeti 65, iletkenliği 63,15 ve uzama değeri 59 olan filmaşın kullanılarak üretilen 20 adet trapez şeklindeki alüminyum bobinlerin test sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar yorumlandığında, tek telin iletkenliğinin minimum değer (%63 IACS) üzerinde geldiği görülmüştür. Kopma mukavemeti standartta verilen değer aralığının (60-95 Mpa) dışında gelirken, uzama değerinin standartta verilen %20 minimum uzama değerinin çok altında geldiği görülmüştür. Standarttaki değerlerin yakalanabilmesi için tellere 300°C’de 5 saat süreyle ısıtım işlem uygulandığında tellerin iletkenliği ve uzaması artarken mukavemetinin azalarak standart değerlerin yakalandığı görülmüştür. Yapılan ısıtım 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, iletkenlik ve uzama değerlerinin standartların dışında geldiği görülmüştür. Örüm sonu bu değerlerin tutması için uzama değeri en fazla %50 olarak belirlenmiştir.

GİRDİLER						ÇIKTILAR				
Isıl İşlem Öncesi Değerler			Uygulanan Isıl İşlem			Isıl İşlem Sonrası Değerler				
KULLANILAN FİLMAŞIN			TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA	DERECE	SAAT	TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA
Mukavemet (Mpa)	İletkenlik (%IACS)	Uzama (%)	Mpa	%IACS	%	°C	h	(Min, 60- Max, 95Mpa)	(Min 63 %IACS)	(Min, %20- Max,% 50)
65	63,15	59	147	63,44	3,1	300	5	73	63,95	73,90
65	63,15	59	148	63,36	3	300	5	74	64,07	70,20
65	63,15	59	147	63,14	2,6	300	5	74	64,20	72,40
65	63,15	59	148	63,46	3	300	5	74	64,34	62,50
65	63,15	59	149	63,21	3	300	5	74	63,99	62,30
65	63,15	59	149	63,19	3,1	300	5	73	64,11	68,50
65	63,15	59	148	63,31	3,8	300	5	74	64,08	63,70
65	63,15	59	148	63,27	5,1	300	5	72	63,75	78,10
65	63,15	59	146	63,43	3,3	300	5	74	64,19	69,00
65	63,15	59	145	63,37	6,5	300	5	74	64,01	54,70
65	63,15	59	148	63,39	3	300	5	73	64,17	64,40
65	63,15	59	146	63,46	3,1	300	5	74	64,10	63,40
65	63,15	59	147	63,9	3,1	300	5	74	64,22	76,20
65	63,15	59	147	63,83	3,3	300	5	74	64,19	67,00
65	63,15	59	147	63,87	3,3	300	5	72	64,16	72,70
65	63,15	59	147	63,87	3,6	300	5	74	64,04	66,50
65	63,15	59	145	64,2	4	300	5	74	64,20	65,70
65	63,15	59	145	63,8	3,1	300	5	73	64,22	63,40
65	63,15	59	144	63,75	2,9	300	5	73	64,25	63,70
65	63,15	59	150	63,77	2,9	300	5	75	64,25	52,30

**Tablo 1:** Mukavemeti 65,iletkenliği 63,15 olan filmaşinden çekilen 20 adet bobine uygulanan ısıl işlem ve sonuçları

Tablo 2’de mukavemeti 65, iletkenliği 63,4 ve uzama değeri 57 olan filmaşin kullanılarak üretilen 20 adet trapez şeklindeki alüminyum tellerin test sonuçları verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde iletkenlik değeri standartın üzerinde gelirken, uzama değerinin standart dışı geldiği görülmüştür. Tellere 300°C’de 5 saat süreyle ısıl işlem uygulandığında uzama değerinde artış meydana gelirken mukavemet

değeri azalmıştır. Uzama değerindeki artışın çok yüksek olmasından dolayı örme süreci sonucunda iletkenlikten alınan numunede, alüminyum tellerin testleri tekrar yapıldığında, makine üzerinde sünmesinden dolayı tel kesitleri küçüldüğünden, örüm sonrası uzama, birim ağırlık ve iletkenlik değerleri standart dışında gelmiştir.

GİRDİLER						ÇIKTILAR				
Isıl İşlem Öncesi Değerler					Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler			
KULLANILAN FİLMAŞIN			TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA	DERECE	SAAT	TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA
Mukavemet (Mpa)	İletkenlik (%IACS)	Uzama (%)	Mpa	% IACS	%	°C	h	(Min, 60- Max,95Mpa)	(Min, 63 %IACS)	(Min, %20- Max, % 50)
65	63,4	57	142	63,57	2,1	300	5	72	63,30	73,90
65	63,4	57	147	63,48	3,5	300	5	72	63,62	72,90
65	63,4	57	149	63,55	3,6	300	5	71	63,40	78,40
65	63,4	57	149	63,31	3,3	300	5	72	63,16	77,20
65	63,4	57	146	63,7	2,8	300	5	73	63,89	71,50
65	63,4	57	148	63,52	2,6	300	5	72	63,42	70,40
65	63,4	57	146	63,3	2,7	300	5	71	63,72	81,30
65	63,4	57	149	63,39	2,6	300	5	71	63,70	79,40
65	63,4	57	150	63,44	3,4	300	5	71	64,10	77,60
65	63,4	57	149	63,36	3,1	300	5	71	64,02	77,40
65	63,4	57	145	63,51	4,7	300	5	71	63,93	69,10
65	63,4	57	149	63,69	4,2	300	5	72	63,75	70,30
65	63,4	57	147	63,57	3,2	300	5	71	63,93	71,40
65	63,4	57	146	63,61	3,5	300	5	72	64,13	70,80
65	63,4	57	149	63,42	3,8	300	5	72	64,08	74,90
65	63,4	57	149	63,57	3,2	300	5	72	64,13	80,80
65	63,4	57	151	63,61	2,6	300	5	71	63,89	76,50
65	63,4	57	151	63,68	2,9	300	5	71	64,17	77,80
65	63,4	57	151	63,58	3,8	300	5	72	63,60	76,50
65	63,4	57	151	63,53	3,1	300	5	70	64,04	85,90

**Tablo 2** :Mukavemeti 65 iletkenliği 63,4 olan filmaşinden çekilen 20 adet bobine uygulanan ısıl işlem ve sonuçları

Tablo3’de mukavemeti 92, iletkenliği 62,21 ve uzama değeri 39 olan filmaşin kullanılarak üretilen 20 adet trapez şeklindeki alüminyum bobinlerin test sonuçları verilmiştir. Bu filmaşinden üretilen bazı alüminyum tellerin iletkenlik değerinin ve uzama değerlerinin standardın altında geldiği gözlemlenmiştir. Alüminyum tellere 325°C’de 2,5 saat yapılan ısıl işlem sonucunda iletkenlik değerinin yükselerek standart değerin üzerine çıktığı görülmüştür. Isıl işlem sonucunda tellerin bir kısmında uzama değeri tutarken bir kısmı standardın altında kalmıştır. Standartları

karşılaman teller iletkenlikte kullanılmak üzere ayrılmıştır.

GİRDİLER						ÇIKTILAR				
Isıl İşlem Öncesi Değerler						Uygulanan Isıl İşlem		Isıl İşlem Sonrası Değerler		
KULLANILAN FİLMAŞIN			TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA	DERECE	SAAT	TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA
Mukavemet (Mpa)	Uzama (%)	İletkenlik (%IACS)	Mpa	%IACS	%	°C	h	(Min, 60- Max, 95 Mpa)	(Min, 63 %IACS)	(Min, %20- Max, % 50)
92	39	62,21	160	62,72	2,7	325	2,5	86	63,36	17,2
92	39	62,21	162	62,93	2,8	325	2,5	77	63,43	28
92	39	62,21	161	62,92	2,9	325	2,5	84	63,17	30
92	39	62,21	164	62,86	3	325	2,5	79	63,29	19,6
92	39	62,21	166	62,65	3,1	325	2,5	87	63,33	32,4
92	39	62,21	160	62,93	2,9	325	2,5	79	63,51	29
92	39	62,21	164	62,98	2,4	325	2,5	77	63,46	37
92	39	62,21	156	62,86	2,2	325	2,5	83	63,27	20,2
92	39	62,21	165	62,79	3	325	2,5	93	63,19	18,1
92	39	62,21	160	63,08	2,3	325	2,5	90	63,31	22
92	39	62,21	164	63,06	2,7	325	2,5	90	63,81	36,4
92	39	62,21	162	62,98	2,6	325	2,5	79	63,29	24,1
92	39	62,21	171	62,62	2,9	325	2,5	97	63,35	25,3
92	39	62,21	162	62,93	2,9	325	2,5	90	63,45	13,7
92	39	62,21	162	62,99	3	325	2,5	99	63,15	19,2
92	39	62,21	163	63,02	3,3	325	2,5	99	63,24	17
92	39	62,21	165	62,58	2,7	325	2,5	94	63,21	23,8
92	39	62,21	165	62,88	3,1	325	2,5	99	63,38	20,6
92	39	62,21	161	62,91	3	325	2,5	82	63,36	17,1
92	39	62,21	160	62,86	3,2	325	2,5	94	63,43	24,3

**Tablo 3:** Mukavemeti 92 iletkenliği 62,21 olan filmaşından çekilen 20 adet bobine uygulanan ısı işlem ve sonuçları

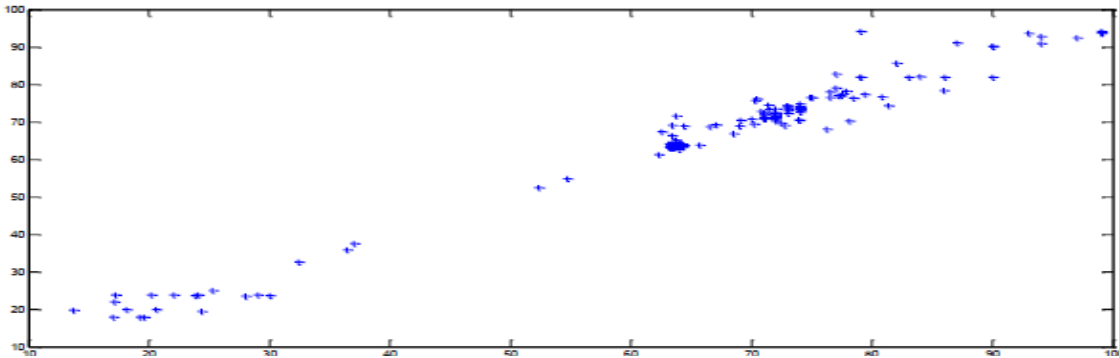
Tablo 4'te mukavemeti 93, iletkenliği 62,08 ve uzama değeri 48,3 olan filmaşın kullanılarak üretilen 20 adet trapez şeklindeki alüminyum bobinlerin test sonuçları verilmiştir. Bu filmaşınlerden üretilen tellerde iletkenlik değerlerinin standardın üzerinde gelmesine rağmen uzama değerlerinin standart dışı geldiği

görülmüştür. Alüminyum tellere 300°C'de 6 saat uygulanan ısı işlem sonucunda iletkenliğin standart değerinin üzerinde geldiği fakat bazı uzama değerlerinin standardın altında kaldığı görülmüştür. Standartları karşılayan teller iletkenlikte kullanılmak üzere ayrılmıştır.



GİRDİLER						ÇIKTILAR				
Isıl İşlem Öncesi Değerler			Uygulanan Isıl İşlem			Isıl İşlem Sonrası Değerler				
KULLANILAN FİLMAŞİN			TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA	DERECE	SAAT	TEL MUKAVEMET	TEL İLETKENLİK	TEL UZAMA
Mukavemet (Mpa)	Uzama (%)	İletkenlik (%IACS)	Mpa	% IACS	%	C°	h	(Min, 60- Max, 95Mpa)	(Min 63 % IACS)	(Min, %20- Max,% 50)
93	48,3	62,08	144	63,67	2,8	300	6	92	64,02	27,1
93	48,3	62,08	142	63,45	2,4	300	6	71	64,3	20,7
93	48,3	62,08	137	63,48	1,9	300	6	95	64,02	11,2
93	48,3	62,08	141	63,51	2,5	300	6	77	64,36	24,9
93	48,3	62,08	140	63,4	1,9	300	6	76	64,24	21,8
93	48,3	62,08	143	63,47	4,1	300	6	71	64,38	51,8
93	48,3	62,08	140	63,41	3,3	300	6	82	64,4	28,7
93	48,3	62,08	138	63,43	4	300	6	72	64,28	21,3
93	48,3	62,08	140	63,47	4,5	300	6	92	64,11	21,3
93	48,3	62,08	139	63,32	4,3	300	6	70	64,36	47,9
93	48,3	62,08	143	63,47	5,8	300	6	70	64,3	46,9
93	48,3	62,08	141	63,52	3,8	300	6	102	63,9	9,3
93	48,3	62,08	142	63,49	4,7	300	6	99	64	11,4
93	48,3	62,08	140	63,54	3,1	300	6	99	64,02	11,2
93	48,3	62,08	139	63,5	3,5	300	6	72	64,48	25,2
93	48,3	62,08	143	63,48	3,7	300	6	70	64,32	52,7
93	48,3	62,08	142	63,35	3,6	300	6	71	64,3	34,2
93	48,3	62,08	142	63,3	4,3	300	6	98	64,02	9,4
93	48,3	62,08	143	63,34	4,1	300	6	70	64,36	31,6
93	48,3	62,08	141	63,31	4,3	300	6	71	64,14	38,2

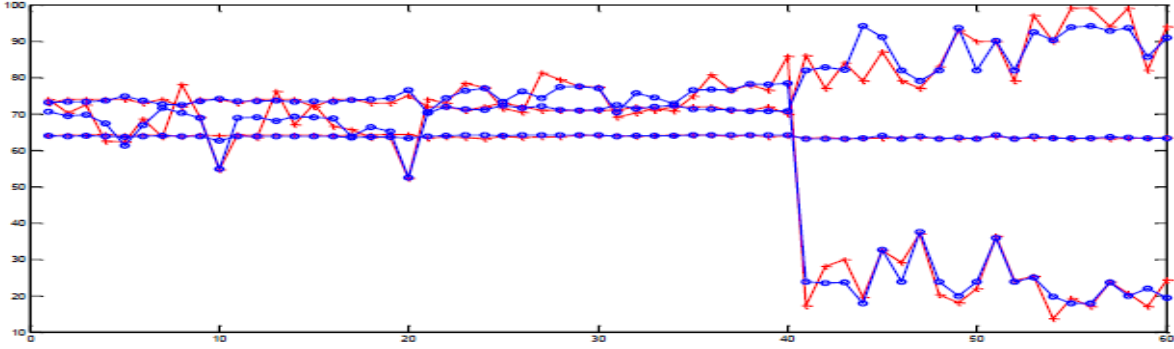
**Tablo 4:** Mukavemeti 93 iletkenliği 62,08 olan filmaşinden çekilen 20 adet bobine uygulanan ısıl işlem ve sonuçları



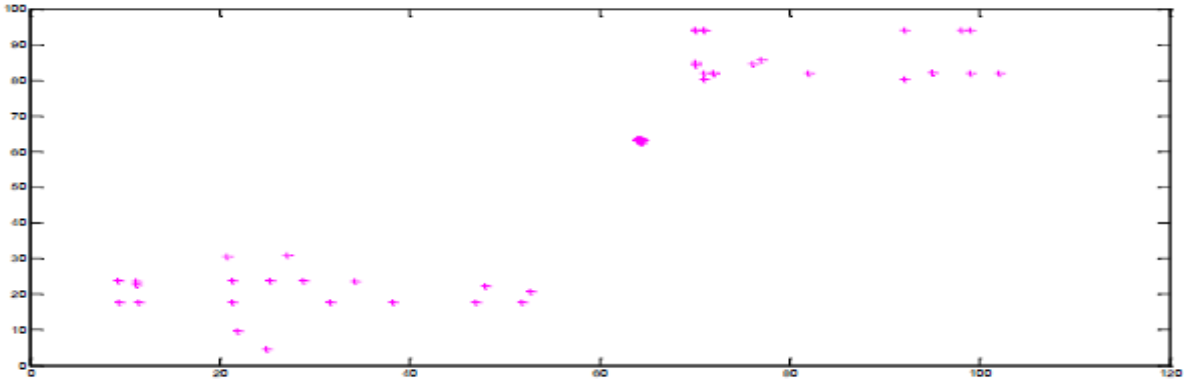
**Şekil2.** Eğitim aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle saçılım grafiği

Yapay sinir ağında kullanılmak üzere, alüminyuma uygulanan ısıl işlem sonucu tablo 1, tablo2 tablo 3 ve tablo 4 bulunan giriş-çıkış verileri kullanılarak sinir ağlarının eğitilerek işi öğrenmesi sağlanır. Eğitim aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle saçılım grafiği şekil 1'de gösterilmiştir.

yapay sinir ağı eğitildi ve işi öğrenmesi sağlandı. Yapay sinir ağlarına ısıl işlem verileri girilerek test edildiğinde, test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle saçılım grafiği şekil 3'te verilmiştir.



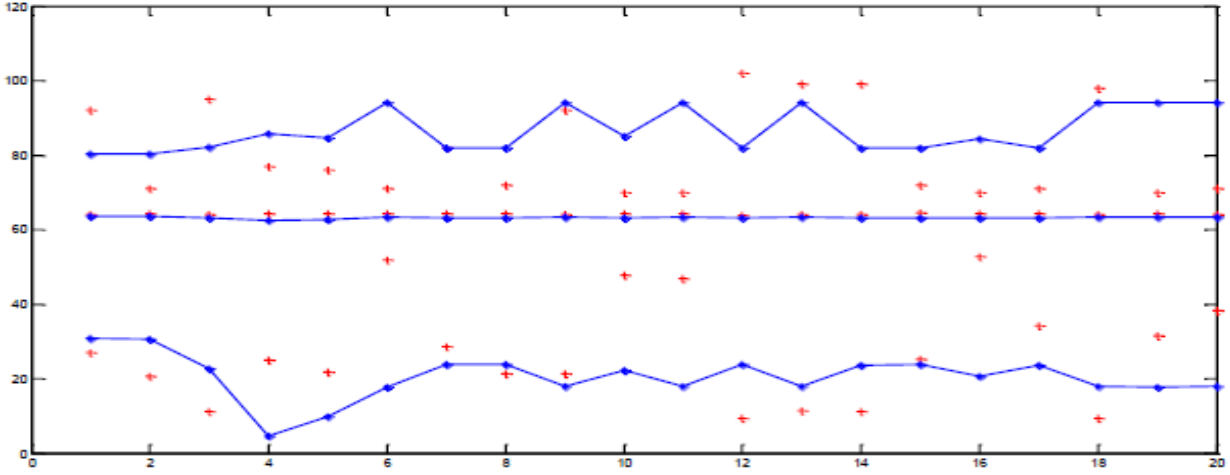
**Şekil 3.** Eğitim aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle dağılım grafiği (mavi ile renklendirilen yuvarlak işaretler yapay sinir ağları çıkışlarını, kırmızı ile renklendirilen artı işaretler gerçek değerleri göstermektedir)



**Şekil 4.** Test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle saçılım grafiği

Eğitim aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle dağılım grafiği şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de mavi ile renklendirilen yuvarlak işaretler yapay sinir ağları çıkışlarını, kırmızı ile renklendirilen artı işaretler gerçek değerleri göstermektedir. Grafikte gerçek değerlerle yapay sinir ağının çıkış değerlerinin birbirine çok yakın geldiği yani yapay sinir ağının işi öğrendiği gözlemlenmiştir. Eğitim sırasındaki korelasyon katsayısı 0,9871 olarak belirlenmiştir Yapay sinir ağında tablo 1, tablo2 tablo 3 ve tablo 4 bulunan giriş-çıkış verileri kullanılarak,

Test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle dağılım grafiği şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'de mavi ile renklendirilen yuvarlak işaretler yapay sinir ağları çıkışlarını, kırmızı ile renklendirilen artı işaretler gerçek değerleri göstermektedir. İş öğrenen yapay sinir ağının test sırasında gerçek verilere yakın değerler çıkardığı gözlemlenmiştir. Test sırasındaki korelasyon katsayısı 0,8862 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 5.** Test aşamasında yapay sinir ağları tahminlerinin gerçek ısıl işlem verileriyle dağılım grafiği (mavi ile renklendirilen yuvarlak işaretler yapay sinir ağları çıkışlarını, kırmızı ile renklendirilen artı işaretler gerçek değerleri göstermektedir)

## Tartışma ve Sonuç

ACCC Silvassa iletken tellerine uygulanan ısıl işlem sonuçları değerlendirildiğinde, ısıl işlem sonucunda alüminyum tellerin iletkenlik, uzama ve mukavemet değerleri standartlar içerisinde olsa da ısıl işlem sonucunda uzaması çok yüksek değerlere ulaşan teller ile üretilen ACCC Silvassa iletkeninden numune alınarak yapılan test sonuçlarının, örüm sonunda belirlenen standart değerlerin dışında geldiği görülmüştür. Bunun nedeni, uzaması çok yüksek olan trapez şeklindeki alüminyum tellerin örme makinelerinde örülmeye başladığında, makine frenlerinin ve tamburun oluşturduğu gergiden dolayı makine üzerinde uzamıştır. Yapılan üretimlerle edinilen tecrübeyle, örüm sonucunda standartta belirtilen değerlerin yakalanması için trapez şeklindeki alüminyum tellerin ısıl işlem sonucunda en küçük uzama değerinin %20, en büyük uzama değerinin ise %50 olması gerektiği tespit edilmiştir. Uzaması yüksek, düşük mukavemetli ve yüksek iletkenliğe sahip filmaşin kullanılarak yapılan üretimlerde ısıl işlem öncesi iletkenlik değerleri yakalansa da, uzama değerlerinin düşük geldiği görülmüştür. Bu filmaşinlerden üretilen tellere ısıl işlem uygulandığında, tellerin daha da çok yumuşadığı ve uzama değerinin çok yükseldiği görülmüştür.

Isıl işlem sonucunda değerleri standartlar ve belirlenen uzama değeri arasında gelen trapez

şeklindeki alüminyum teller seçilmiştir. Örme makinesine yerleştirilen tellerin örümden sonraki değerleri EN 50540 standardına göre, uzama değeri minimum %20, iletkenlik değeri minimum %63 IACS, mukavemet değeri ise 60-95 Mpa (N/mm<sup>2</sup>) aralığında olmalıdır. Seçilen tellerle oluşturulan ACCC Silvassa iletkeninin rutin testleri yapıldığında örüm sonunda standart değerlerin yakalandığı yapılan testlerle gösterilmiştir.

Yapay sinir ağlarından faydalanılarak yapılan optimizasyonda, yapay sinir ağları elde edilen ısıl işlem verileriyle eğitilerek iş öğretilmiştir. Eğitim sırasında daha fazla veri girilmesiyle işi daha iyi öğrenen yapay sinir ağının hata oranı çok daha azalacaktır. Uygulanan ısıl işlem sonuçlarının optimizasyonla da değerlendirilmesiyle, ısıl işlem sonrası telde standart değerlerin elde edilebilmesi için seçilen filmaşinin mukavemetinin 90-95 Mpa (N/mm<sup>2</sup>) aralığında, iletkenliğinin % 62 IACS'nin üzerinde olması gerekmektedir. Uygulanan ısıl işlemin ise 280°C-330°C sıcaklık aralığında 4-7 saat arasında olmalıdır.

## Kaynaklar

- CTC Global Corporation, 2011. Engineering transmission lines with high capacity low sag ACCC conductors, first edition, p.255, A.B.D
- Gedik, D. , 2008. Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının sodyum dikromat ve sülfirik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi, 114 s, Adana
- Şahin, Y. , 2006. Kompozit malzemelere giriş, Şeçkin Yayıncılık, 327 s
- Tanoğlu, M., Toğulga, M., 2005. Kompozit Malzemeler ve Jeotermal Uygulamalar, Jeotermal Enerji Semineri
- Üstünel, M. , Altın, M. ve Kızılgedik, M. , 2011. Endüstriyel Elektrik, MEB Yayınevi, Ankara
- Dropulic, T., 2017. First ACCC conductor installation in Croatia 13th Conference Cigre-Cired, Maribor, Slovenia.
- Zor, M., 2006. Kompozit malzemelerle ilgili genel bilgiler ders notu , Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Demirci, M. Baltacı, A., 2013. Prediction of suspended sediment in river using fuzzy logic and multilinear regression approaches, Neural Computing and Applications 23 (1), 145-151.

## **Studies on the production of Composite Cored Aluminum Conductors (ACCC) and improving their conductivity**

### **Extended Abstract**

*In this study, the processes for producing and increasing the conductivity of aluminum conductor composite core (ACCC) have been investigated. With the growth of electrical energy demand, increasing the capacity and the efficiency of transmission lines is gaining ever increasing importance. The main reason for the manufacturing the ACCC conductors is to meet increased energy demands taking into account the disadvantages of conventional conductors. In this paper, the advantages of the ACCC conductors will be supported with the conducted tests and explained. Optimization using neural networks with the heat treatment data, the conducted heat treatments while increasing the conductivity value and the methods used for achieving the aluminum elongation values specified for conventional conductors but not for ACCC conductors while only their minimum values are provided will be explained. Evaluations on the structure, production process, the tests conducted during the meeting the values specified in the standard and the applied methods for this conductor which has been started to be manufactured recently in our country will be made.*

*In this study, when the results of the heat treatment applied to the ACCC Silvassa conductor wires are examined, it was seen that even though the conductivity, elongation and strength of the aluminum wires are in the standard values as a result of the heat treatment, the test results obtained by taking a sample from ACCC Silvassa conductor produced with wires whose elongation values reached to very high levels as a result of the heat treatment are outside the determined standard values. The reason is that when the trapezoidal aluminum wires with high elongation started to be knitted with knitting machines, they elongated due to the tension created by the machine brakes and the*

*drum. With the experience obtained with the conducted productions, it has been determined that the smallest elongation value should be 20% while the highest elongation values should be 50% as a result heat treatment processes of the trapezoidal aluminum wires to achieve the values specified in the standard at the end of the knitting. In the production made by using wire rods having high elongation, low strength and high conductivity, it has been seen that the elongation values were found to be low even if the conductivity values are achieved before the heat treatment. When the heat treatment is applied to the wires manufactured from these rods, the wires were seen to be even softer and their elongation value becomes very high.*

*As a result of the heat treatment, trapezoidal aluminum wires whose values are in the elongation values determined with the standards were selected. According to EN 50540 standard, the values of the wires placed in the knitting machine after knitting should be at least 20% for elongation, minimum 63% IACS for conductivity and their strengths should be between 60-95 Mpa (N/mm<sup>2</sup>). When the routine tests of the ACCC Silvassa conductor manufactured with the selected wires were conducted, it was shown with the performed tests that the standard values were achieved as a result of the knitting process.*

*In the optimization performed by using artificial neural networks, the artificial neural networks are taught by training with the obtained heat treatment data. By entering more data during the training, the error rate of the artificial neural network that learns the work more will decrease. With the evaluation of the results of the applied heat treatment through optimization, the strength of the wire rods should be between 90-95 Mps (N/mm<sup>2</sup>) and its conductivity should be more than 62% IACS in order to obtain the standard values on the wires after the heat treatment process. The applied heat treatment should be between 4-7 hours in the temperature range of 280°C-330°C.*

**Keywords:** Composite core aluminum conductors; ACCC; Increasing the conductivity via thermal process; Conducting tests;