

Araştırma Makalesi

Yapay Sinir Ağları Kullanarak İkili Ve Üçlü Büküm Makinalarının Ürettiği CAT 6A U/FTP Kabloların Parametrelerinin Tahmini Ve Tahmin Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Pelin Öztürk^{1*} , Hafız Alisoy², Reşat Mutlu² 

¹Reçber Kablo, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

Received: 07.11.2019

Accepted: 09.12.2019

Özet: Data kablolarının frekans bağımlılıklarından ve üretim süreçlerindeki değişkenlerden dolayı modellenmeleri oldukça zordur. İstenilen Data kablosu parametrelerini elde etmek için üretimde yaygınca deneme ve yanılma yöntemleri kullanılır. Her bir denemenin ayrı bir masrafı olmakta ve her bir kablo üretimi ayrı bir üretim zamanı gerektirmektedir. Yapay Sinir Ağlarının (YSA) CAT 6A U/FTP data kablolarının karakteristik empedans, yakın-uç çapraz-atlama gürültüsü (NEXT) ve Dönüş Kaybı (RL) gibi parametrelerini iyi bir şekilde tahmin edebildikleri son zamanlarda yapılan bir çalışmada gösterilmiştir. CAT 6A U/FTP data kablosu üretiminde kullanılan farklı tipte makinalar; İkili büküm (Double Twist) ve Üçlü büküm (Triple Twist) makinaları mevcuttur. YSA'larının data kablosu parametrelerinin tahmin başarımı kullanılan makine tipine göre değişebilir. Bu çalışmada YSA'ların İkili büküm (Double Twist) ve Üçlü büküm makinalarında üretilen CAT 6A U/FTP data kablolarının karakteristik empedans, yakın-uç çapraz-atlama gürültüsü (NEXT) ve Dönüş Kaybı (RL) gibi parametrelerini tahmin başarımı MATLABTM'in NNTool paket programı kullanılarak incelenmiştir. YSA'ların İkili büküm makinası tarafından kullanılan kablo parametrelerini daha hassas bir şekilde tahmin ettiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: YSA, Parametre tahmini, Data kabloları, Kablo modelleme.

Prediction of CAT 6A U/FTP Cable Parameters Produced by Double Twist and Triple Twist machines Using Artificial Neural Networks, and Comparison of the Predicted Results

Abstract: Data cables are hard to model due to their frequency dependent parameters and manufacturing process variables. In order to obtain the desired cable parameters, commonly trial and error methods in production are used. Every trail has an associated cost and requires a production time. In a recent study, it is shown that Artificial Neural Networks (ANNs) are able to predict parameters of CAT 6A U/FTP cable such as Characteristic impedance, Near-end cross-talk (NEXT) and Return loss (RL) well. There are different types of machines used in manufacturing CAT 6A U/FTP Data cables; Double Twist and Triple Twist machines. The performance of the ANN's parameter prediction change with the machine type used in manufacturing process. In this study, using MATLABTM's NNTool toolbox, the performance of the ANN's prediction of parameters such as impedance, NEXT and Return Loss (RL) are examined for the Double Twist and Triple Twist machines. It has been found that the ANNs are able to predict the cable parameters manufactured with the Double Twist machine more accurately.

Keywords: ANN, Parameter prediction, Data cables, Cable modeling.

* Sorumlu yazar.

E-posta adresi: peлин.ozturk@recber.com.tr (P. Öztürk)

1. Giriş

CAT 6A U/FTP Data kabloları veri iletişimde yaygınca kullanılır. CAT 6A U/FTP Data kabloları dörtlü bükümlü tel çiftleri kullanılarak yapılan kablolardır. Haberleşme kablolarının modellenmesi oldukça karmaşık bir işlemdir. Bükümlü kablolarda yayılma sabiti frekansa ve sıcaklığa bağlıdır [1]. Metalik kablolarda GigaHertz frekanslarında zayıflama [2]'de incelenmiştir. Sıcaklık değişimlerinin etkisi [3]'de iletim hatları modellerine eklenmiştir. Tümüyle frekans bağımlı bir kablo modeli [4]'da verilmiştir. [5]'da kalkanlanmamış bükümlü çift kabloların çapraz-atlama gürültüsü incelenmesi elektromanyetik topolojiyi gözönünde bulundurarak yapılmıştır. DSL Haberleşme kablolarının GigaHertz frekanslarda modellenmesi [6]'de yapılmıştır. Bir Elektromanyetik darbenin bükümlü tel kablolarına kuplajı [7]'de incelenmiştir. Moment metodu kullanarak bükümlü çift bir iletim hattının incelenmesi [8]'te yapılmıştır. İki telli kablolardan yayılan emisyonların azaltılması üzerinde tel çiftlerinin bükümünün olası faydaları [9]'te incelenmiştir. 155 Mb/s hızlara kadar yeterli Band genişliğine sahip sayısal iletişimin kalkanlanmamış bükümlü tel çiftlerinin üzerinden yapılması [10]'te incelenmiştir. Bükümlü tel çifti ve koaksiyel kablo üzerinde yüksek manyetik geçirgenlikli kalkanın manyetik alan kalkanlama verimliliği [11]'de incelenmiştir. Sonlu uzunluklu bükümlü tel çifti tarafından oluşturulan manyetik akı yoğunluğu [12]'de incelenmiştir. Ortogonal olmayan FDTD ve mükemmel eşleşen yutumlu sınır şartı kullanarak, bükümlü tel çifti iletim hatlarının detaylı analizi [13]'de yapılmıştır. Bükümlü tel çiftlerinin diğer bir modellenmesi [14]'da yapılmıştır. Toprağın etkisinin çapraz atlama gürültüsünün azaltılmasının üzerine olan etkisi kapasitif kuplaj durumu için [15]'de incelenmiştir. Bükümlü kablolarda Yapısal Dönüş Kaybının (RL'nin) modellenmesi [16]'de yapılmıştır. Düşük basınç altında yalıtımlı bükümlü çift iletkenlerde elektriksel kısmi boşalma olayının incelenmesi Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak [17]'de incelenmiştir. Frekans domeninde EM çapraz atlama gürültüsünün dörtlü bükümlü tel çifti demeti için analizi [18]'te yapılmıştır. Bükümlü tel çifti üzerinde indüklenen gerilimlerin hesaplanması FDTD yöntemi kullanılarak [19]'da yapılmıştır. Bu kabloların kesirli mertebeden modeller kullanarak modellendiği çalışmalar da mevcuttur [20-22]. Görüldüğü üzere bükümlü çift ve bükümlü çift kullanan CAT 6A U/FTP gibi kabloların modellenmesi sonlu elemanlar, moment metodu, toplu parametrelere eşdeğer elektrik devreleri gibi yöntemler kullanılmasını gerektiren karmaşık bir işlemdir [1-22]. Bu modellemeler için paket bilgisayar programları kullanılabilir. Ama bu programlar kullanım açısından zaman alıcıdır, her fiziksel etkinin aynı anda göz önüne alınması oldukça zordur ve lisans ücretleri oldukça pahalıdır. Bu yüzden kabloların modellenmesinde deneysel sonuçlar yaygınca kullanılır [10,11,17,20].

Üretilen haberleşme kablo parametrelerinin tahmini, hem frekansa hem de üretim süreçlerine bağlı olduğu için zordur. Data kablosu üretiminde, karakteristik empedans, yakın uç çapraz konuşma (NEXT), geri dönüş kaybı (RL) gibi kablo (katalog) parametreleri ve yayılma hızı kablonun fiziksel boyutlarına, kullanılan malzemelerin ve üretim tekniklerinin türüne ve birim uzunluğun endüktansına, kapasitansına, elektriksel direncine, kablonun kaçak iletkenliğine bağlıdır [23-

24]. İstenilen kablo parametrelerini elde etmek için, üretimde genellikle deneme ve yanılma yöntemleri kullanılır ve her ayrı bir deneme için bir maliyet ve üretim süresi ortaya çıkar. Kablo parametreleri, fiziksel boyutların ve üretim parametrelerinin doğrusal olmayan fonksiyonlarıdır ve bu nedenlerden dolayı kablo parametrelerinin modellenmesi ve tahmini zordur. Kablo sektöründe, üretilecek bir kablonun parametrelerinin tahmini, ön hesaptan sonra deneme ve yanılma yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu yüzden kablo üretiminden kaynaklanan üretim sürecinin zamanının ve maliyetinin azaltılması önemli sorundur. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, tahmin yeteneklerinden dolayı Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılabilir [25-26]. Yapay Sinir Ağları (YSA) gerçek sinir hücrelerinden ilham alınarak tasarlanan devreler ya da yazılımlardır [25-26]. Paralel işlem yapabilme yetenekleri YSA'larına büyük bir tahmin yeteneği sağlar. Mühendislik biliminde rastlanılan pek çok problem doğrusal değildir ve Yapay Sinir Ağları kolayca bunları modelleyebilmektedir. YSA'ları sayesinde üretim süreçlerinin ürün kalitesine etkisi başarıyla incelenebilmektedir [27-32]. [33]'te YSA kullanarak üretilen Cat 6A U/FTP kablosunun yüksek frekans parametrelerinin tahmini yapılmıştır ve yapılan YSA modellerinde genel olarak en iyi tahmin başarısı Empedans değerinde elde edilirken, en düşük tahmin başarısı RL çıkış parametresi için elde edilmiştir. [33]'te, CAT 6A U/FTP Data kablosu yüksek frekans parametreleri, kablonun düşük frekans elektriksel parametreleri ile üretim ve makine parametrelerini giriş olarak alan YSA kullanılarak tahmin edilmiştir.

Endüstride Data kablosu üretiminde kullanılan İkili büküm (Double Twist) ve Üçlü büküm (Triple Twist) makinaları mevcuttur. YSA'larının data kablosu parametrelerinin tahmin başarısını kullanan makine tipine göre değişebilir. Yaptığımız Literatür taramasında, böyle bir karşılaştırma çalışması bulunamamıştır. Bu çalışmada YSA'ların İkili büküm (Double Twist) ve Üçlü büküm makinalarında üretilen CAT 6A U/FTP data kablolarının karakteristik empedans, yakın-uç çapraz-atlama gürültüsü (NEXT) ve Dönüş Kaybı (RL) gibi parametrelerini tahmin başarısını incelenecektir.[33]'te olduğu gibi her bir çıkış parametresinin tahmini için ayrı bir yapay sinir ağı modeli kullanılacaktır. Kullanılan YSA'larının eğitimi için MATLAB programı kullanılacaktır.

Bu makalenin bölümleri takip eden sırayla düzenlenmiştir. İkinci bölümde, CAT 6A U/FTP Data kablosu ve elektriksel parametreleri kısaca özetlenmiştir. Üçüncü bölümde CAT 6A U/FTP data kablosu üretim sürecine ve bu süreçte kullanılan makinalara dair bilgi verilmiştir ve İkili büküm (Double Twist) DBH-4 ve Üçlü büküm (Triple Twist) DBH-5 makinaları tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, YSA için giriş ve çıkış değişkenlerinin seçimi ve veri toplanması işlemleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde, DBH-4 ve DBH-5 makinaları için toplanan veriler kullanarak eğitilen YSA'ları seçimi, eğitimi ve tahmin sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Makale sonuç kısmı ile bitirilmiştir.

2. CAT 6A U/FTP Data Kablolarının Elektriksel Özellikleri Hakkında Kısa Bilgi

2.1. Genel Bilgi

CAT 6A U/FTP, 1 Gbps ve üstü veri taşıma ve iletim kapasitesine sahip bir data kablosudur. CAT 6A U/FTP

kablosunun bant genişliği 500 MHz'e kadar çıkabilmektedir. Cat 6A U/FTP kablonun fotoğrafı ve kesiti sırasıyla Şekil 1.a ve 1.b'de verilmiştir. CAT 6A U/FTP Data kablosunda yalıtkan olarak en çok kullanılan malzeme katı Polietilen(PE)'dir. Bu kablonun üretiminde kullanılan "fiziksel köpürtme" teknolojisi, yalıtma (izolasyon) sürecinde ekstruder (çekici) içerisinde bulunan Polietilenin belirli bir sıcaklıkta eriyik hale getirilip, içerisine gaz enjekte edilerek köpürtülme işlemidir. Bu sayede izolasyonda yüksek ve homojen köpürme elde edilir ve böylece kablonun elektriksel özelliklerini uzun süre koruyabilmesi, neme karşı dayanıklılık ve su geçirmezlik, daha az yer kaplayan ince tasarımlı mekanik sağlamlık elde edilmektedir. [30]'daki kataloğtan alınan Cat 6A U/FTP Data Kablo elektriksel özellikleri Çizelge 1'de görülebilir.

Çizelge 1. CAT 6A U/FTP kablosu elektriksel özellikler (20°C) [30].

DC Direnç	max.	74 Ω /km
Direnç Dengesizliği	max.	2%
İzolasyon Direnci	min.	2 G Ω x km
Kapasitans	nom.	43 pF/m
Kapasite Dengesizliği	max.	1500 pF/km
Karakteristik Empedans	100 MHz	100 \pm 5 Ω
Transfer Empedansı	1/10/30 MHz	50/100/200 m Ω /m
Kuplaj Zayıflaması	min.	55 dB (Tip 2)
Yayımla Hızı		79%
Yayımla Gecikmesi	nom.	420 ns/100 m
Sinyal Gecikmesi	nom.	7 ns/100 m
Test Gerilimi		1000 V
Çalışma Gerilimi	max.	125 V

2.2. CAT 6A U/FTP Data Kabloları Elektriksel Parametreleri

Bu kısımda CAT 6A U/FTP Data kablolarının düşük ve yüksek frekans testleri üzerine bilgi verilecektir.

2.2.1. Düşük Frekans (LF) Testi Parametreleri

CAT 6A U/FTP Data kablolarının direnç, direnç dengesizliği, kapasite ve kapasite dengesizliği gibi düşük frekans test parametreleri 500 Hz ile 2.000 Hz aralığında Şekil 2a'da görülen RCKE isimli test cihazı ile ölçülmektedir.



(a)



(b)

Çıplak Bakır Tel
Ø 0,56 mm (AWG23)
Skin Foam Skin PE
Ø 1,35
AL-PET Folyo
Kalaylı Bakır
FRNCL8ZH
Ø 6,90 mm

Şekil 1. a) Cat 6A U/FTP kablo fotoğrafı [24].

b) Cat 6A U/FTP kablo kesiti ve yapısı [24].

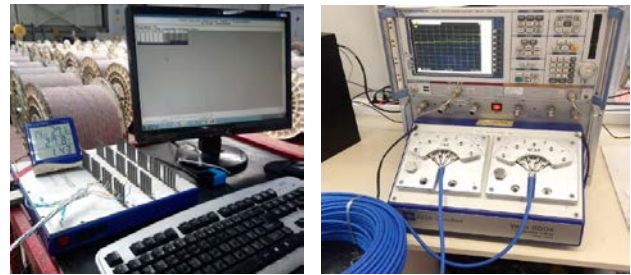
2.2.2. Yüksek Frekans (HF) Testi Parametreleri

Data kablolarında NEXT (Near-end crosstalk), PS-NEXT (Power-sum next), Empedans, RL (Return Loss), IL (Insertion Loss) gibi yüksek frekans parametrelerinin ölçümleri Şekil 2.b'de gösterilen Network Analyzer isimli test cihazı ile yapılmaktadır. Bu çalışmada hazırlanan YSA modellerinde tahmin edilecek yüksek frekans test parametreleri Empedans, NEXT ve Return Loss seçilmiştir.

Bu çalışmada YSA ile tahmin edilecek yüksek frekans parametreleri kısaca açıklanacak olursa;

- Empedans: Data kablosu üzerinden geçen akıma karşı koyan indüktans, kapasitans, kaçak iletkenlik ve tel rezistansı değerleri kullanılarak bulunan kablonun eşdeğer (Thevenin) empedansıdır ya da giriş empedansıdır. Data kablolarında bu değerler ideal olarak 100 Ω olması arzu edilir. Bununla birlikte üretilen kablolarda empedans 85 ile 115 Ω aralığında değişmektedir.
- NEXT (Near-end crosstalk); Data kablolarında bir bükülü çiftten gönderilen işaretin, diğer bükülü çiftte etki eden sinyal bozucu kuplaj etkisidir.
- RL (Return Loss): İletilen bir verinin (sinyalin) iletim hattının sonundan yansıyan kısmının kaybının kaybının bir ölçüsüdür. RL değeri dB olarak ölçülür.

[24]'teki kablo kataloğundan alınıp, Reçber Kablo'nun izni ile bu çalışmada kullanılan Empedans, NEXT ve RL yüksek frekans ölçümleri Şekil 3'te görülebilir.



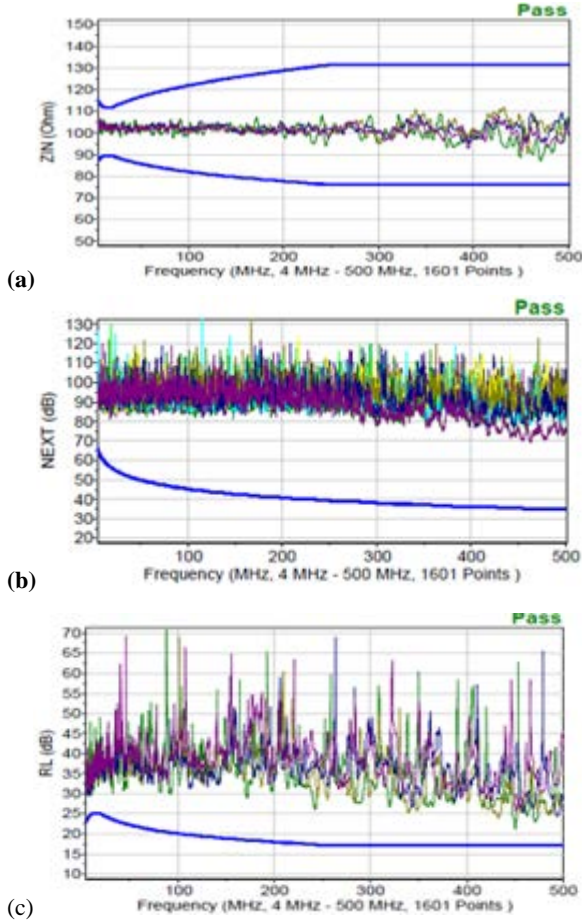
(a)

(b)

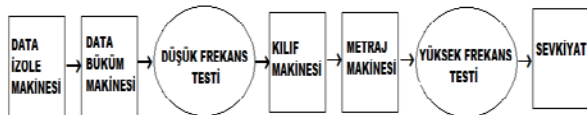
Şekil 2. a) RCKE test cihazı, b) Network Analyzer test cihazı (Tüm bu fotoğraflar Reçber Kablo'nun izni ile kullanılmıştır).

3. Data Kablosu Üretim Süreci

Data kablosu üretim süreci, Şekil 4'te verilen blok diyagramında görülebilir. Data kablosu üretiminde kullanılan makineler sırasıyla Şekil 5'te gösterilmiştir. Data kablosu üretim süreci temel olarak beş adımdan oluşur. İlk adım ilki bakırın girdi olarak kullanıldığı yalıtma (İzolasyon) sürecidir. Ardından büküm süreci takip etmektedir. Bükülü yarı mamul S/FTP ürün tipi için örgü işlemine girer. Çalışmaya konu olan Cat 6A U/FTP data kablosu (ürün) ise kılıf operasyonu ile ortaya çıkar. Kılıfı tamamlanan ürünün müşterinin belirlediği metraja (20 m, 100 m vb.) göre kesimi yapılır. En sonunda test edilen ürünler yani sevke hazır makaralar sipariş miktarına göre ambalajlanır.



Şekil 3. a) Cat 6A U/FTP data kablo giriş empedansının frekansa göre değişimi, b) Cat 6A U/FTP data kablo NEXT değerinin frekansa göre değişimi, c) Cat 6A U/FTP data kablo RL değerinin frekansa göre değişimi [24]. (Tüm bu grafikler Reçber Kablo'nun izni ile kullanılmıştır).



Şekil 4. Data kablosu üretim ve kalite kontrol süreci.

4. Cat 6A U/FTP Data Kablosunun Yüksek Frekans Parametrelerinin YSA ile Tahmin Modeli

Bu bölümde, Cat 6A U/FTP data kablosunun yüksek frekans parametrelerinin tahmini modelinde, giriş olarak düşük frekans testi ve bazı makine parametreleri kullanılarak kurulan YSA modeli üzerine bilgi verilecektir.

Bu süreçte izlenen adımlar şu şekilde gerçekleşmiştir;

- 1) Değişken seçimi (giriş parametrelerinin belirlenmesi)
- 2) Verilerin toplanması
- 3) Yapay sinir ağının seçimi
- 4) Yapay sinir ağının eğitimi

4.1. Değişken Seçimi

Kurulan modelde, tahmin edilmesi hedeflenen yüksek frekans parametreleri (çıkış) ve giriş olarak kullanılan düşük frekans testi parametreleri ve bazı makine değişkenleri Çizelge 2 ve 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Modelde giriş olarak kullanılan proses ve ölçüm parametreleri.

Parametrenin Türü	Seçilen Girdi Parametreleri
1. İzolasyon	-İletken Çapı -İzole Çapı
2. Büküm/Makine	-Hatve Değeri (Her bir per için 1 tane ve toplamda 4 tane) -Grup Hatve -Mor Yay -Grup Mühre -Per Mühre
3. Düşük Frekans Parametreleri	-Direnc, Tel direnci (8 tane) -Per Kapasitans (4 tane)
4. Ölçüm/Ortam Değişkenleri	-Sıcaklık -Frekans -Frekans

Çizelge 3. Modelde çıkış olarak tahmin edilen parametreler.

Seçilen Çıkış Parametreleri	
1. Yüksek Frekans Çıkış Parametreleri	-NEXT (12 tane) -Empedans (4 tane) -RL (4 tane)

Modelde kullanılan bazı büküm/makine parametreleri takip eden satırlarda açıklanacaktır.

Hatve: Büküm adım aralığıdır. Şekil 6.a'da gösterilmiştir. Büküm, her bir perin (çift izole) hatve değerine göre sağlanmaktadır.

Mor Yay: Bükümlü kablonun gerginliği mor yay ayarlanır. Bu değer yüzde olarak belirtilir. Şekil 6.b'de gösterilmiştir.

Mühre: Per mühre, perlenen izolelere yönlendirici görevi görürken, grup mühre ise grup haline gelen perleri bir noktada tutmak için kullanılır. Şekil 6.c'de gösterilmiştir.

4.2. Veri Toplanan Makinalar

YSA'larını eğitmek için gerekli Cat 6A U/FTP ürünü veri toplama işlemi, işlev olarak aynı fakat yapı olarak farklı dizaynlara sahip iki büküm makinesinden toplanmıştır. Bu makineler Data Büküm Hattı-4 (DBH-4) ve Data Büküm Hattı-5 (DBH-5) olarak isimlendirilmiştir. DBH-4 İkili büküm (Double Twist) ve DBH-5 Üçlü büküm (Triple Twist) Makinalarıdır ve Şekil 7'de görülebilirler. Cat 6A U/FTP ürünü veri toplama işlemi kablonun izolasyon süreci ile başlar ve nihai mamul haline gelinceye kadar olan diğer tüm aşamaların test ölçüm sonuçlarının kayıt altına alınmasını kapsar. DBH-4'ten 99 veri ve DBH-5'ten 243 veri toplanmıştır.



(a)



(b)



(c)

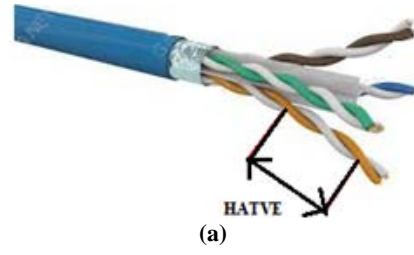


(d)

Şekil 5. a) Data Kablosu İzolasyon makinesi, b) Data kablosu büküm makinesi, c) Kılıf makinesi, d) Metraj makinesi (Tüm bu fotoğraflar Reçber Kablo'nun izni ile kullanılmıştır).

4.3. Toplanan Verilere Örnekler

Bu verilerden Çizelge 4'te verilenler [33]'te de kullanılmıştır. YSA'larının eğitiminde kullanılan verilerin hepsi yer kazanmak amacıyla Çizelge 4 ve 5'te verilmemiştir. Çizelge 4 ve 5'te verilenden daha fazla veri ise [34]'te de bulunabilir. Her bir per için bir adet ve toplamda dört Hatve ve Grup Hatve giriş değişkeni üreticinin isteği üzerine Çizelge 4 ve 5'te verilmemiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. a) Data kablo hatvesi, b) Data Büküm makinesi mor yayı, c) Data Büküm makinesi mühresi (Reçber Kablo'nun izni ile kullanılmıştır).

5. YSA Seçimi, Eğitimi ve Sonuçların Değerlendirilmesi

5.1. YSA Seçimi

Bu kısımda Cat 6A U/FTP data kablosunun yüksek frekans parametrelerinin tahmini amacıyla giriş olarak düşük frekans testi ve bazı makine parametrelerini alan YSA modelleri hakkında kısaca bilgi verilecektir. Bu çalışmada hazırlanan tüm YSA'ları için MATLAB™ yazılımına ait NNTool isimli alet kutusu (paket programı) kullanılmıştır. Bu YSA modellerinin her biri için giriş olarak, her bir renk iletkenin elektriksel direnci yani 8 farklı direnç değeri kullanılırken, kapasite için ise her bir per (çift) olarak alınan 4 farklı kapasite değeri kullanılmıştır. NNTool uygulamasında YSA ağırlıklarının hesaplanması için Levenberg-Marquardt (LM, trainlm) algoritması seçilmiştir. trainlm algoritması çoğunlukla NNTool içerisindeki en hızlı geriye yayılma algoritmasıdır ve genel olarak, daha fazla hafıza gerektirmesine rağmen, gözetimli YSA eğitimi için ilk tercih edilen algoritmadır. Tüm YSA'larında bir adet gizli katmana sahip ayrı bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. İncelenen her bir YSA'nın 24 girişi ve 1 çıkışı vardır. Kullanılan tüm YSA'larında Transfer fonksiyonu olarak, gizli katmanda Sigmoid, çıkış katmanında ise doğrusal fonksiyon kullanılmıştır. Şekil 8'de DBH-4 makinesi kahve-beyaz per empedans değeri için YSA'nın NNTool uygulamasında seçimi görülmektedir. Diğer ağların seçimi yer korumak amacıyla gösterilmemiştir.

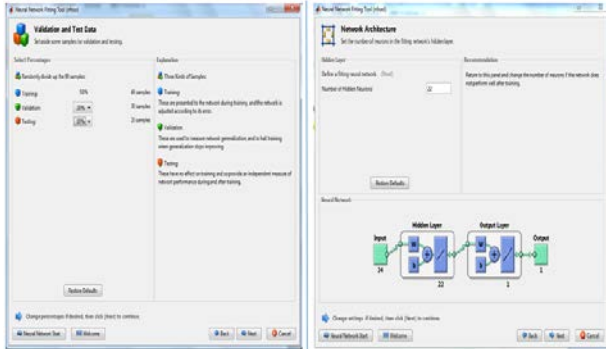


(a)



(b)

Şekil 7. a) İki büküm (Double Twist) DBH-4 makinesi, b) Üçlü büküm (Triple Twist) DBH-5 makinesi (Fotoğraflar Reçber Kablo'nun izni ile kullanılmıştır.



Şekil 8. DBH-4 makinesi kahve-beyaz per empedans değeri için ağı seçimi.

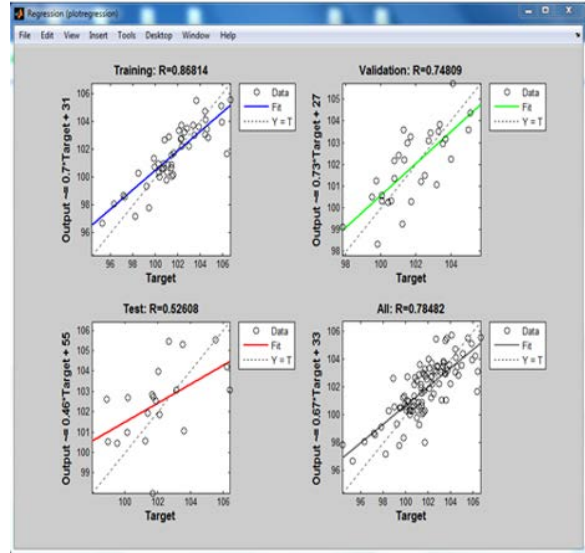
5.2. Sinir Ağı Yapısının Eğitimi

Veriler eğitim, test ve doğrulama kümelerine ayrılmıştır. Daha sonra NNTool'da Input (giriş), Target (gerçekleşen çıktı), verilerin alınış şekli (matrix) gibi bilgiler seçilmiş ve toplanılan verilerin yüzde kaçının Training (eğitim), Validation (sınama) ve Testing (test) için kullanılacağı belirlenmiştir. Çalışma esnasında, bu oranlar ile oynanarak daha iyi başarım elde edilmesine çalışılmıştır. Seçilen oranların son değerleri Şekil 8'de görülebilir. Giriş olarak 24 farklı parametre kullanılmış olup, tahmini gerçekleşen, 20 adet çıkış parametresinin her biri için hazırlanan ayrı bir YSA'nın eğitimi ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. YSA'ları her bir makine için alınan verilerle 12 adet NEXT değeri, 4 adet Empedans ve 4 adet RL çıkış değeri (her seferinde bir çıkış) için ayrı ayrı eğitilmiştir. Bu şekilde eğitim, tüm çıkışlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Eğitim veri kümesiyle eğitilmiş her bir YSA'nın performansı test ve sınama veri kümeleriyle incelenmiştir.

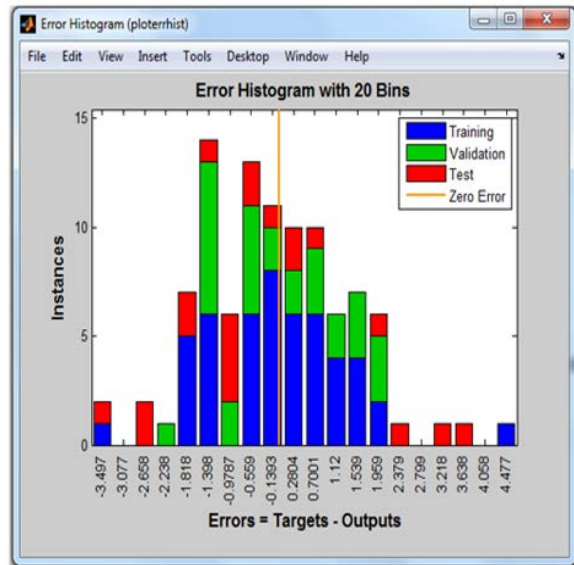
DBH-4 makinesi verilerinin kullanıldığı modeller arasında, empedans parametresinin en iyi tahmin değerini yakalayan kahve-beyaz per (çift) olmuştur. DBH-4 makinesi kahve-beyaz per empedans değeri için eğitilen YSA'nın sınanması ve Hata Histogramı Şekil 9'da görülebilir. Regresyon grafikleri; eğitim, sınama ve test için ayrı ayrı sonuç vermektedir.

Data Büküm Hattı-5 makinesi için de benzeri şekilde eğitim tüm çıkışlar için ayrı ayrı yapılmıştır. 12 adet NEXT değeri, 4 adet Empedans ve 4 adet RL değeri tahmin edilmiştir. Data Büküm Hattı-5 makinesi verilerinin kullanıldığı YSA modellerinin arasında, NEXT parametresi için en iyi tahmin değerini yakalayan mavi-turuncu renk kombinasyonu olmuştur. DBH-5 makinesi mavi-turuncu NEXT değeri için eğitilen YSA'nın sınanması ve Hata Histogramı Şekil 10'da görülebilir. Regresyon grafikleri; eğitim, sınama ve test için ayrı ayrı sonuç vermektedir.

DBH-4 ve DBH-5 makinelerinin eğitim sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 9. a) DBH-4 makinesi kahve-beyaz per için regresyon grafikleri b) DBH-4 makinesi kahve-beyaz per için hata histogramı.

Çizelge 5. DBH-5 makinesi giriş ve çıkış parametrelerine ait toplanan verilerin bir kısmı [34].

Sıra No	Frekans	İletken Çapı	İzole Çapı	Mor	Grup	Per Mühne	GİRİŞLER											ÇIKIŞLAR																					
							Diyeş						Ortak Kapasitans (Per Kapasitans)					Ortam Sıcaklığı	NEXT DEĞERLERİ						EMPEDANS				RL (Geri Dönüş)										
							Mavi	MB	Turuncu	YB	Yeşil	Kahve	KB	M-A/B	T-B	Y-B	K-B		mavi	mavi	mavi	turuncu	turuncu	turuncu	yeşil	yeşil	yeşil	kahve	kahve	kahve	2C	2C	2C	2C	RL	RL	RL	RL	
1	4	0.624	1.52	42	6.2	3.3	29.07	29.03	28.39	28.6	28.8	28.89	28.33	28.48	44.44	44.12	44.71	43.82	23	88.84	91.84	90.46	85.23	91.23	90.36	90.34	89.08	97.24	87.38	91.45	86.64	105.93	105.01	104.78	104.28	28.00	31.32	28.26	33.46

Çizelge 6. DBH-4 ve DBH-5 makinelerinin eğitim sonuçları.

MODEL ÇIKIŞ PARAMETRELERİ	Ağın Eğitiminde Kullanılan Bilgiler				Data Büküm Hattı-4 (DBH-4) Yüksek Frekans Parametreleri Eğitim Sonuçları										Data Büküm Hattı-5 (DBH-5) Yüksek Frekans Parametreleri Eğitim Sonuçları										Ortalama Hata Yüzdeleri (%)
	Training Örnek Dağılımı (%)	Validation Örnek Dağılımı (%)	Testing Örnek Dağılımı (%)	Glizli Nöron Sayısı (n)	Training Regresyon R ²	Validation Regresyon R ²	Testing Regresyon R ²	Tüm Regresyon R ²	Minimum Hata Değeri	Minimum Hata (%)	Maksimum Hata Değeri	Maksimum Hata (%)	Ortalama Hata Yüzdeleri (%)	Training Regresyon R ²	Validation Regresyon R ²	Testing Regresyon R ²	Tüm Regresyon R ²	Minimum Hata Değeri	Minimum Hata (%)	Maksimum Hata Değeri	Maksimum Hata (%)				
					EMPEDANS					EMPEDANS					RETURN LOSS				RETURN LOSS						
Mavi Per Empedans	50%	30%	20%	22	0.82	0.71	0.54	0.72	-4.79	4.88%	5.45	4.92%	1.45%	0.71	0.46	0.44	0.55	-9.16	10.12%	10.3	9.76%	1.69%			
Turuncu Per Empedans	70%	20%	10%	25	0.78	0.69	0.47	0.75	-4.91	5.05%	5.59	5.32%	1.24%	0.75	0.53	0.77	0.70	-9.29	10.16%	8.19	7.45%	1.48%			
Yeşil Per Empedans	50%	30%	20%	22	0.80	0.57	0.53	0.66	-4.75	4.76%	5.83	5.62%	1.70%	0.71	0.35	0.36	0.50	-8.07	8.19%	12.11	10.74%	1.90%			
Kahve Per Empedans	50%	30%	20%	22	0.86	0.74	0.52	0.78	-3.71	3.75%	4.68	4.41%	1.13%	0.81	0.3	0.29	0.59	14.35	16.04%	10.24	8.94%	1.74%			
Mavi Per RL	80%	10%	10%	10	0.81	0.83	0.80	0.82	-8.78	26.93%	12.55	23.60%	7.35%	0.75	0.55	0.66	0.72	-10.49	43.17%	11.08	22.10%	9.19%			
Turuncu Per RL	80%	10%	10%	22	0.77	0.66	0.50	0.74	-8.61	30.00%	14.61	28.43%	8.17%	0.80	0.41	0.51	0.71	-14.88	39.93%	18.98	30.98%	9.11%			
Yeşil Per RL	80%	10%	10%	22	0.86	0.58	0.51	0.75	-14.39	34.79%	15.21	33.94%	6.62%	0.78	0.42	0.70	0.73	-13.98	46.41%	16.42	27.70%	8.50%			
Kahve Per RL	60%	25%	15%	22	0.91	0.66	0.72	0.77	-11.26	38.47%	16.49	38.65%	8.25%	0.78	0.49	0.73	0.69	-10.13	33.77%	24.23	33.47%	9.46%			
Mavi-Turuncu NEXT	80%	10%	10%	10	0.85	0.83	0.58	0.81	-13.96	14.62%	9.04	9.03%	3.23%	0.70	0.65	0.72	0.69	-10.98	12.94%	14.04	12.73%	3.38%			
Mavi-Yeşil NEXT	65%	20%	15%	22	0.75	0.45	0.50	0.61	-11.35	13.44%	10.97	11.02%	3.55%	0.55	0.30	0.41	0.47	-11.70	14.60%	16.56	15.24%	3.92%			
Mavi-Kahve NEXT	60%	25%	15%	22	0.76	0.33	0.54	0.60	-10.16	12.31%	14.68	13.69%	3.50%	0.64	0.26	0.32	0.50	-12.58	14.27%	17.99	16.25%	4.22%			
Turuncu-Mavi NEXT	60%	25%	15%	22	0.72	0.52	0.55	0.60	-11.02	13.39%	24.60	20.74%	4.51%	0.76	0.50	0.28	0.62	-11.91	13.27%	21.23	21.91%	4.14%			
Turuncu-Yeşil NEXT	55%	25%	20%	15	0.78	0.50	0.50	0.60	-10.51	11.79%	12.89	15.15%	3.73%	0.61	0.27	0.33	0.49	-13.90	16.28%	17.35	15.54%	4.25%			
Turuncu-Kahve NEXT	60%	30%	10%	22	0.69	0.41	0.48	0.56	-14.80	20.91%	17.44	16.42%	4.58%	0.69	0.38	0.57	0.53	-11.94	13.50%	21.89	17.84%	3.94%			
Yeşil-Mavi NEXT	80%	10%	10%	22	0.70	0.56	0.77	0.71	-13.58	15.86%	15.20	13.94%	3.37%	0.54	0.28	0.27	0.48	-12.10	13.33%	17.34	15.20%	4.23%			
Yeşil-Turuncu NEXT	65%	20%	15%	22	0.83	0.60	0.49	0.73	-9.05	10.12%	12.79	12.08%	3.07%	0.59	0.55	0.44	0.56	-11.86	12.90%	25.24	18.62%	4.65%			
Yeşil-Kahve NEXT	65%	20%	15%	22	0.78	0.83	0.70	0.80	-10.49	12.34%	18.38	15.77%	3.84%	0.82	0.60	0.63	0.74	-13.35	15.89%	21.51	19.99%	3.68%			
Kahve-Mavi NEXT	80%	10%	10%	22	0.74	0.56	0.72	0.70	-9.53	11.48%	11.58	11.31%	3.41%	0.59	0.24	0.30	0.51	-12.51	18.00%	19.75	14.08%	3.81%			
Kahve-Turuncu NEXT	80%	10%	10%	22	0.66	0.46	0.30	0.59	-10.52	12.53%	15.17	14.28%	3.59%	0.56	0.34	0.38	0.52	-12.66	14.33%	18.53	16.83%	4.08%			
Kahve-Yeşil NEXT	60%	20%	20%	32	0.80	0.66	0.60	0.72	-11.67	13.34%	17.35	17.78%	4.72%	0.75	0.62	0.60	0.68	-9.69	11.40%	22.31	20.99%	4.24%			

Çizelge 7. DBH-4 ve DBH-5 makinelerinden elde edilen verilerin tahmin sonuçlarının doğrulukları.

MODEL ÇIKIŞ PARAMETRELERİ	Data Büküm Hattı-4 (DBH-4) Sonuçların Performansı			Data Büküm Hattı-5 (DBH-5) Sonuçların Performansı		
	MAPE	RMSE	R ²	MAPE	RMSE	R ²
EMPEDANS						
Mavi Per Empedans	1,45%	1,978	0,503	1,69%	2,412	0,245
Turuncu Per Empedans	1,24%	1,689	0,558	1,48%	2,163	0,484
Yeşil Per Empedans	1,70%	2,226	0,319	1,90%	2,718	0,055
Kahve Per Empedans	1,13%	1,459	0,609	1,74%	2,651	0,320
RETURN LOSS						
Mavi Per RL	7,35%	3,637	0,668	9,19%	4,120	0,512
Turuncu Per RL	8,17%	3,875	0,527	9,11%	4,439	0,495
Yeşil Per RL	6,62%	3,965	0,530	8,50%	4,145	0,521
Kahve Per RL	8,25%	4,353	0,546	9,46%	4,674	0,456
NEXT						
Mavi-Turuncu NEXT	3,23%	4,052	0,646	3,38%	3,965	0,472
Mavi- Yeşil NEXT	3,55%	4,196	0,360	3,92%	4,934	0,379
Mavi-Kahve NEXT	3,50%	4,715	0,344	4,22%	5,329	0,176
Turuncu- Mavi NEXT	4,51%	5,931	0,292	4,14%	4,940	0,353
Turuncu-Yeşil NEXT	3,73%	4,570	0,218	4,25%	5,235	0,183
Turuncu-Kahve NEXT	4,58%	5,662	0,288	3,94%	5,087	0,231
Yeşil-Mavi NEXT	3,37%	4,683	0,497	4,23%	5,058	0,224
Yeşil- Turuncu NEXT	3,07%	3,672	0,528	4,65%	5,476	0,241
Yeşil-Kahve NEXT	3,84%	4,877	0,621	3,68%	4,826	0,544
Kahve-Mavi NEXT	3,41%	4,371	0,486	3,81%	4,726	0,262
Kahve-Turuncu NEXT	3,59%	4,581	0,330	4,08%	4,899	0,265
Kahve-Yeşil NEXT	4,72%	5,538	0,346	4,24%	5,433	0,446

6. Sonuç

[33]'te YSA kullanılarak, Cat 6A U/FTP haberleşme kablolarını verimli bir şekilde üretmek için parametre tahmininde bulunulabileceği gösterilmiştir. Bu çalışmada ise YSA kullanarak iki farklı makine ile (ikili ve üçlü büküm makinaları ile) üretilen Cat 6A U/FTP kablolarının karakteristik empedans, yakın-uç çapraz-atlama gürültüsü (NEXT) ve Dönüş Kaybı (RL) gibi yüksek frekans parametrelerinin tahmini yapılmıştır. YSA kullanıldığında ikili ve üçlü büküm makinalarında üretilen Cat 6A U/FTP kablolarının bu YF parametrelerinin tahmin hataları ve üretilen kablolar için YSA tahmininin başarımları incelenmiştir. Bu çalışmada YSA kullanarak;

- Karakteristik empedans için en yüksek hata, DBH-4 için % 5,62 iken, DBH-5 için % 16,04 olarak bulunmuştur. RL için en yüksek hata makine DBH-4 için % 38,65 iken DBH-5 için % 46,41 olduğu bulunmuştur. Bu durum YSA kullanılarak bu çalışmada kullanılan giriş değişkenleri için CAT 6A U/FTP ürününün elektriksel parametrelerinin tahmininin DBH-4 makinası için DBH-5 makinasına göre daha güvenilir olduğunu göstermektedir.
- Cat 6A U/FTP Kablosu parametreleri tahmin performansı, Ortalama Mutlak Yüzde Hatasının (MAPE) en kötü değeri, DBH-4 makinesi empedans parametresi için % 1,70 iken, RL çıkış parametresi için % 8,25 ve NEXT çıkış parametresi için bu değer % 4,72 olarak bulunmuştur. Aynı performans göstergesi için, DBH-5 makinesi verileri için empedans parametresi % 1,90 iken, RL çıkış parametresi için % 9,46 ve NEXT çıkış parametresi için bu değer % 4,65 olarak hesaplanmıştır.
- Bu çalışma bize, YSA performansının kullanılan makineye de bağlı olduğunu göstermiştir. Kullanılan ikili büküm makinesi DBH-4'ün tahmin hatasının, üçlü büküm makinesi DBH-5'ten daha az olduğu görülmüştür.
- DBH-5 makinesi yapı bakımından üçlü büküm (Triple Twist) iken; DBH-4 makinesi ikili büküm (Double Twist)'dir. Üçlü

büküm makinelerinde her bir izole makarasının back twist (geri büküm) motorları ayrıdır. Bu nedenle izolelerin makine içerisinde izledikleri yol değerine göre daha fazladır. İkili büküm makinesinde bu işlem iki makara arasındaki tek back twist motoru ile yapılmaktadır. Bunların çıkışında bulunan Capstan Motor bölümü, üçlü büküm tipinde iki izolenin per (çift) halini çekerken, ikili (double) bükümde her bir izolenin Capstan Motor bölümü ayrıdır. Üçlü bükümde tek motor ile çekilen per (tel çifti), izolede farklı gerginliklere maruz bırakılmaktadır. Bu duruma müdahale edilemediğinden, kablo parametrelerinde değişkenliği neden olabilmektedir.

- Tez çalışmasında kullanılan verilerin iki farklı büküm makinesine ait olması ve YSA eğitimlerinin ayrı ayrı yapılmış olması CAT 6A U/FTP data kablosu tipi için makine performanslarının karşılaştırılabilir olmasına olanak sağlamıştır. Bu ürünün üretiminde makine büküm tipinin etkisi de görülmüştür/incelebilmiştir.
- Bu çalışma her ne kadar CAT 6A U/FTP kablosu elektriksel performansı tahmini üzerine de olsa da, farklı makinalar için elde edilen sonuçlar Yapay Sinir Ağları kullanarak üretim yapılan makine performanslarının da birbirleri ile karşılaştırılabileceğini ya da bu ağların performans karşılaştırması için de bir yöntem olabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Teşekkür

Bu makaledeki tüm fotoğrafları ve kullanılan tüm verileri sağladığı için ve Pelin Öztürk'ün Yüksek Lisans tezine verdiği desteklerden dolayı Reçber Kablo'ya ve çalışanlarına teşekkürü bir borç biliriz. YSA kullanımında yardımları için Prof. Dr. Pelin Gürkan Ünal'a, Dr. Öğr. Üyesi İsmail Devocioğlu ve Ar. Gör. Dr. Özkan Arslan'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Nevsad M. & Lafata P, Modelling of Propagation Constant

- of Twisted Pairs and Its Temperature Dependence at G. fast Frequencies (2016). *Elektronika ir Elektrotechnika*, 22(2), 107-113.
- [2] Lafata, P. (2015). Simple Attenuation Models of Metallic Cables Suitable for G. fast Frequencies. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 13(2), 147-155.
- [3] Cecchi, V., Leger, A. S., Miu, K., Nwankpa, C. O., Incorporating temperature variations into transmission-line models (2011). *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(4), 2189-2196.
- [4] Hoshmeh, A., Schmidt, U. (2017). A full frequency-dependent cable model for the calculation of fast transients. *Energies*, 10(8), 1158.
- [5] Kirawanich, P., Islam, N. E., Yakura, S. J. (2006). An electromagnetic topology approach: Crosstalk characterizations of the unshielded twisted-pair cable. *Progress In Electromagnetics Research*, 58, 285-299.
- [6] Nevosad, M., Lafata, P., Jares, P. (2013). Modeling of telecommunication cables for gigabit DSL application. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 11(5), 336-341.
- [7] Celozzi, S., Feliziani, M. (1990). EMP-coupling to twisted-wire cables, in *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility* pp. 85-89.
- [8] Komisarek, K. S., Chamerberlin, K. A., Sivaprasad, K.(1993). A method of moment analysis of a twisted-pair transmission line, in *Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. (s. 64-67).
- [9] Joffe, E. B., Axelrod, A. (1994). On the benefits (if any) of pair twisting in reducing radiated emissions from two-wire cables, in *Proceedings of IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 474-478.
- [10] Im, G. H., Werner, J. (1993). Bandwidth-efficient digital transmission up to 155 Mb/s over unshielded twisted pair wiring, in *Proceedings of ICC'93-IEEE International Conference on Communications* (s.1797-1803).
- [11] Diakun, P. C., Derewiany, C. F. (1993). Magnetic field shielding effectiveness of a high-permeability shield on twisted pair and coaxial cables, in *1993 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, (s. 170-175).
- [12] Piper, G. R., Prata, A. (1996). Magnetic flux density produced by finite-length twisted-wire pairs, *IEEE transactions on electromagnetic compatibility*, 38(1), 84-92.
- [13] Roden, J. A., Gedney, S. D., Paul, C. R. (1996). A rigorous analysis of twisted pair transmission lines using non-orthogonal FDTD and the PML absorbing boundary condition, in *Proceedings of Symposium on Electromagnetic Compatibility*, IEEE, 254-258.
- [14] Poltz, J., Gleich, D., Josefsson, M., Lindstrom, M. (2000). Electromagnetic modeling of twisted pair cables, In *Proceedings of the 49th International Wire and Cable symposium*.
- [15] Shao, J., Nitta, S., Mutoh, A. (1999). Study on the influence of ground on crosstalk reduction characteristics of twisted-pair-wire. The case of capacitive coupling, in *1999 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (IEEE Cat. No. 99EX147)*, 730-733.
- [16] Umek, A. (2000). Modeling the structural return loss in twisted pair cables, in *2000 10th Mediterranean Electrotechnical Conference. Information Technology and Electrotechnology for the Mediterranean Countries. Proceedings. MeleCon 2000 (Cat. No. 00CH37099)*, vol. 1, pp. 173-176.
- [17] Liu, X.(2006). Low pressure partial discharge investigation with FEM modeling for a twisted pair of insulated conductors, in *2006 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 611-614.
- [18] Belkhelda, S., Lefouili, M., Drissi, K. E. K. (2015). Frequency domain analysis of EM crosstalk problem in a quad by the equivalent cable bundle method among twisted-wire pairs cable bundle. *IEEE Transactions on Magnetics*, 51(11), 1-4.
- [19] Tatematsu, A., Rachidi, F., Rubinstein, M. (2017). A technique for calculating voltages induced on twisted-wire pairs using the FDTD method, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 59(1), 301-304.
- [20] Shang, Y., Fei, W., Yu, H.(2013). A fractional-order RLGC model for terahertz transmission line. in *2013 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (MTT)* (s. 1-3). IEEE.
- [21] Limei Y., Yusong Z., Jianjun X., Weijian R., Qiong W., Zhigang S. (2014). Transmission lines modeling method based on fractional order calculus theory, *Transactions of China Electrotechnical Society*, 29, 260-268.
- [22] Liang, G., & Liu, X., A reduction algorithm for fractional order transmission line modeling with skin effect, *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 239-250, 2015.
- [23] Pozar, D. M. (2014). Mikrodalga mühendisliği, Palme Yayıncılık.
- [24] Google, Reçber Kablo Datasheet, <https://www.recber.com.tr>, 2019.
- [25] Haykin, S and Network, N. (2004). *Neural networks-A Comprehensive Foundation*.
- [26] Bose, N. K., Liang, P. (1996). *Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms, and Applications*, McGraw-Hill Series in Electrical Computer Engineering.
- [27] Monostori L., Prohaszka J. (1993). A step towards intelligent manufacturing: Modelling and monitoring of manufacturing processes through artificial neural networks, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 42(1), 485-488.
- [28] Rajagopalan R., Rajagopalan P.(1999) Applications of Neural Network in Manufacturing, in *Proceedings of the 29th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*.
- [29] Cho, H.S., Leu, M. C. (1998). Artificial Neural Networks in Manufacturing Processes Monitoring and Control, *IFAC Proceedings Volumes*.
- [30] Kumar, A., Chauhan, V., Bist, A. S. (2013). Role of artificial neural network in welding technology: a survey network, 67(1).
- [31] Smail M.K., Le Bihan Y., Pichon L. (2012). Fast Diagnosis of Transmission Lines using Neural Networks and Principal Component Analysis, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, IJAEM, Vol. 39, Issue: 1, 2012, 435-441.
- [32] Chauhan, N., Yadav, N., Arya, N. (2018). Applications of Artificial Neural Network in Textiles, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(4), 3134-3143.
- [33] Pelin Ö., Hafız A., and Reşat M. (2019). CAT 6A U/FTP

Data Kablosunun Yüksek Frekans Parametrelerinin YSA ile Tahmin Modeli. 4nd International Conference on Material Science and Technology in Kızılcahamam (IMSTEC'19) October 18-20 2019 (s. 604-612).
[34] Öztürk P., Yapay Sinir Ağı Tabanlı Data Kablosu

Parametreleri Tahmini, (2019) Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
[35] Lewis, C. D. (1982). Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting, Butterworth-Heinemann.