



Neveehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makelesi (Research Article)

Makale Doi 10.17100/nevbiltek.728791

Geliş Tarihi: 28-04-2020

Kabul Tarihi 30-06-2020



CAT 6A U/FTP Data Kablosunun Yüksek Frekans Parametrelerinin YSA ile Tahmin Modeli¹

Pelin ÖZTÜRK¹, Hafız ALİSOY², Reşat MUTLU³

¹Reçber Kablo, Çorlu, TEKİRDAĞ, pepin.ozturk@reçber.com.tr

ORCID ID:0000-0002-9976-6617

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çorlu, TEKİRDAĞ, halisoy@nku.edu.tr

ORCID ID:0000-0002-2758-3635

³Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çorlu, TEKİRDAĞ, rmutlu@nku.edu.tr

ORCID ID: 0000-0003-0030-7136

Öz

Data kablolarının modellenmesi frekans bağımlı parametrelerinden dolayı zordur. İstenilen kablo parametrelerini elde etmek için üretimde yaygınca deneme ve yanılma yöntemleri kullanılır ve her bir deneme için buna karşılık gelen bir maliyet ve üretim zamanı gerekmektedir. Kablo parametreleri fiziksel boyutların ve üretim parametrelerinin nonlinear fonksiyonudur. Bu problemin üstesinden gelmek için tahmin yeteneklerinden dolayı Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılabilir. Bu çalışmada, YSA'ların, CAT 6A U/FTP data kablolarının karakteristik empedans, yakın-uç çapraz-atlama gürültüsü (NEXT), Uzak-uç çapraz-atlama gürültüsü (FEXT) ve Dönüş Kaybı (RL) gibi parametrelerini iyi bir şekilde tahmin edebildikleri MATLAB'in NNTool paket programı kullanılarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: YSA, Parametre Tahmini, Data Kabloları, Kablo Modelleme

ANN Estimation Model of CAT 6A U / FTP Data Cable with High Frequency Parameters

Abstract

Data cables are hard to model due to their frequency dependent parameters. In order to obtain the desired cable parameters, commonly trial and error methods in production are used and for every trail there is an associated cost and production time required. Cable parameters are nonlinear functions of the physical dimensions and the manufacturing parameters. To overcome this problem, Artificial Neural Networks (ANNs) can be used due to their prediction ability. In this study, it is shown that ANNs are able to predict parameters of CAT 6A U/FTP data such as Characteristic impedance, Near-end cross-talk (NEXT) and Return loss (RL) cable well using MATLAB's NNTool.

Keywords: ANN, Parameter Prediction, Data Cables, Cable Modeling

1. Giriş

Yapay Sinir Ağları (YSA), perseptron adı verilen gerçek sinirlerden ilham alınan yapay sinirlerden (nöronlardan) yapılırlar [1-2]. Birden fazla katmana sahip olabilirler. YSA'lar bilgiyi paralel işleyebilir ve bu onlara büyük bir tahmin yeteneği sunar. YSA'lar örüntüleri tanıyabilir, sistemleri modelleyebilir, zaman serileri bulabilir, sınıflandırma, tahmin, eğri uydurma, kestirim ve optimizasyon yapabilir. Doğada ve mühendislikte karşılaşılan pek çok problem nonlineerdir ve YSA'lar bunların üstesinden gelebilmektedir. YSA'lar kullanılarak, üretim proseslerinin ürün kalitesi üzerine etkisi incelenebilir[3-5].

CAT 6A U/FTP Data kabloları veri iletişimde yaygınca kullanılır. Bu ve benzeri kabloların modellenmesi, analitik, sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemler kullanılarak yapılabilir [6-23]. Ama böyle programlar kullanım açısından zaman alıcı ve pahalıdır. Bu yüzden literatürde deneysel sonuçlar yaygınca kullanılır [15-16, 24-25]. Deneysel sonuçlara bu kabloların kesirli mertebeden modellenmesi için eğri uydurulduğu çalışmalar da mevcuttur [26-28].

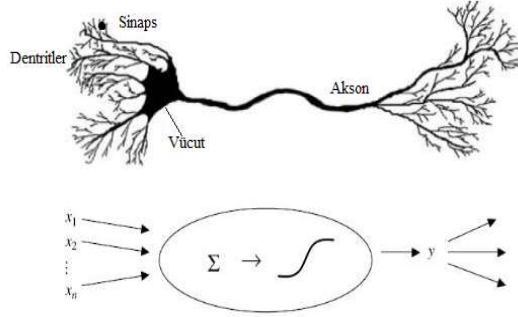
Kablo sektöründe, üretilecek bir kablonun parametrelerinin tahmini, deneme ve yanılma yöntemleri ile kablo üretiminden kaynaklanan üretim sürecinin maliyetinin azaltılması önemli bir konu haline gelmiştir. Üretilen haberleşme kablo parametrelerinin tahmini, frekansa ve üretim süreçlerine bağlı olduğu için zordur. Data kablosu üretiminde, yayılma hızı, karakteristik empedans, yakın uç çapraz konuşma (NEXT) ve geri dönüş kaybı (RL) gibi kablo (katalog) parametreleri, kablonun fiziksel boyutlarına ve birim uzunluğun endüktansına, kapasitansına, elektriksel direncine, kablonun kaçak iletkenliğine bağlıdır [29-30]. 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. Bu nedenlerden dolayı kablo parametrelerinin modellenmesi ve tahmini zordur.

YSA'ları tekstil ve makine mühendisliği gibi üretim uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [3-5,31-32]. YSA'lar, mikrodalga devrelerinin optimizasyonu ve modellenmesinde başarıyla kullanılmaktadır [33-36]. Bu zorluğun üstesinden gelmek için, tahmin yeteneklerinden dolayı Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılabilir. Data kablolarının yüksek frekans parametrelerinin YSA ile tahmini üzerine literatürde çalışma bulunamamıştır. Bu çalışmada, 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 edilecektir. Her bir çıkış parametresinin tahmini için ayrı bir yapay sinir ağı modeli önerilmiştir. YSA eğitimi için MATLAB programı kullanılmıştır.

Bu makale şu takip eden şekilde düzenlenmiştir; İkinci bölümde, Yapay Sinir Ağları üzerine genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde CAT 6A U/FTP Data kablosu elektriksel özellikleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, data kablosu üretim prosesine, kullanılan makinalara ve bazı üretim/makine değişkenleri üzerine bilgi verilmiştir. Beşinci kısımda, YSA için giriş ve çıkış değişkenlerinin seçimi ve veri toplanması işlemlerine yer verilmiştir. Altıncı bölümde ise, YSA seçimi, eğitimi ve sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Makale sonuç kısmı ile bitirilmiştir.

2. Yapay Sinir Ağları Üzerine Genel Bilgi

Yapay Sinir Ağları, insan beyninin çalışma prensibinden yola çıkılarak geliştirilmiş bilgi işleme modelidir. YSA'lar öğrenme, sınıflandırma, tahmin ve bilgiyi paralel işleme becerilerine sahiptir. En önemli özelliği ise, karmaşık sistemlerin önceki bilgilerinden hareketle, örnek üzerinde öğrenme metodu geliştirilerek, probleme çözüm getirebiliyor olmasıdır.



Şekil 1. Bir sinir hücresi ve onun yapay modeli [2].

İnsan beyninin yapısı ve çalışması hakkındaki çalışmalar binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. . Bir sinir hücresi ve onun yapay modeli Şekil 1'de görülebilir. İlk olarak yapay nöron, 1943 yılında Warren McCulloch isimli bir sinir hekimi ile bir matematikçi olan Walter Pitts tarafından gerçekleştirilmiştir. 1957 yılında ise Frank Rosentblatt'ın çalışmaları sonucunda gerçekleşen Perseptron (Perceptron) ile yapay sinir ağları alanındaki çalışmalar hız kazanmıştır. Burada konusu geçen Perseptron, tek katmanlı eğitilebilen, beyin işlevlerini modelleyebilmek amacıyla keşfedilen, tek bir çıkışa sahip yapay sinir ağıdır. Şekil 2'de Yapay sinir ağı Perseptron bileşenleri gösterilmiştir.

Bir perseptronda X girişler ve W ağırlıklardır;

$$X = [X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_n] \quad (1)$$

$$W = [X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}, \dots, X_{ij}, \dots, X_{nj}] \quad (2)$$

Toplama işlevi şu formülle hesaplanır;

$$V_i = w_{1j} x_1 + w_{2j} x_2 + \dots + w_{ij} x_i + \dots + w_{nj} x_n + \theta_j \quad (3)$$

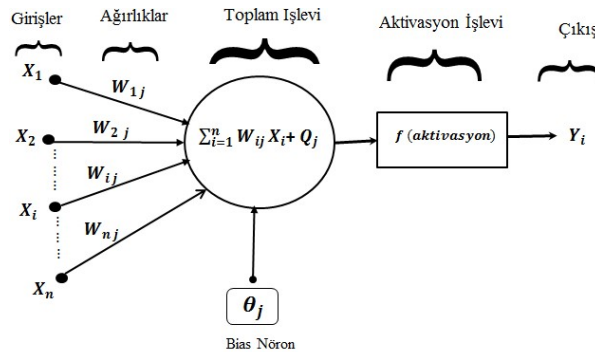
Aktivasyon işlevi;

$$f(u) = f(\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i + \theta_j) \quad (4)$$

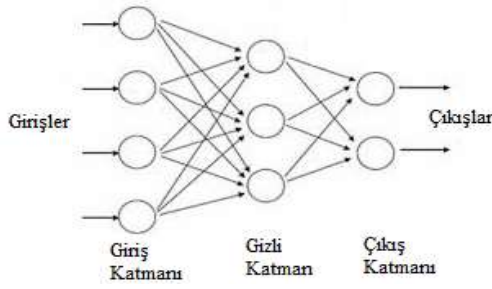
Aktivasyon işlevi sonrası fonksiyon çıkışı;

$$y_i = f(W \cdot X + \theta_j) \quad (5)$$

formülü ile hesaplanır. Şekil 3'te çok katmanlı bir yapay sinir ağı gösterilmiştir.



Şekil 2. Yapay sinir ağı (Perseptron) bileşenleri.



Şekil 3. Çok katmanlı yapay sinir ağı.

3. CAT 6A U/FTP Data Kablo Elektriksel Özellikleri

3.1 Genel Bilgi

Cat 6A Data Kablosu, 1 Gbps ve üstü veri taşıma ve iletim kapasitesine sahiptir. Cat 6 Data Kablosu bant genişliğinin, iki katını destekler niteliktedir. Bant genişliği 500 MHz'e kadar çıkmaktadır. Cat 6A U/FTP kablunun fotoğrafı ve kesiti sırasıyla Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Cat 6A U/FTP kablo yapısı [30].

Data kablo izolesinde en yaygın kullanılan malzeme katı PE (Polietilen)'dir. Cat 6A kablo tipi üretiminde "fiziksel köpürtme" teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknoloji, izolasyon prosesinde ekstruder içerisinde bulunan PE'nin belirli bir ısıda eriyik hale getirilip, içerisine gaz enjekte edilerek köpürtülen izolasyondur. Fiziksel köpürme ile hedef, yüksek ve homojen köpürmenin sağlanmasıdır. Fiziksel Köpüklü izolasyon ile; kablunun elektriksel özelliklerini uzun süre koruyabilmesi, neme karşı dayanıklılık ve su geçirmezlik, potansiyel olarak daha az yer kaplayan ince tasarımlı mekanik sağlamlık elde edilmektedir. Cat 6A U/FTP Data Kablo elektriksel özelliklerinin belirtildiği Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 5. Cat 6A U/FTP dairesel kesit [30].

Tablo 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)
Yayımlama Hızı		79%
Yayımlama Gecikmesi	nom.	420 ns/100 m
Sinyal Gecikmesi	nom.	7 ns/100 m
Test Gerilimi		1000 V
Çalışma Gerilimi	max.	125 V

3.2 Data Kabloları Elektriksel Parametreleri

3.2.1. Düşük Frekans (LF) Testi Parametreleri

Data kablolarının, 500 Hz ile 2.000 Hz aralığındaki düşük frekans ölçümleri Şekil 6'da görülen RCKE isimli test cihazı ile yapılmaktadır. Bu test cihazı kullanılarak, data kablolarının direnç, direnç dengesi, kapasite ve kapasite dengesi gibi düşük frekans test parametreleri ölçülmektedir.



Şekil 6. RCKE test cihazı.

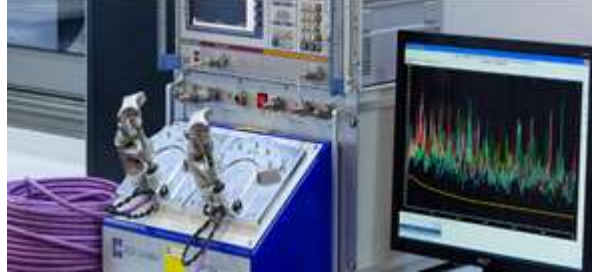
3.2.2. Yüksek Frekans (HF) Testi Parametreleri

Data kablolarının yüksek frekans ölçümleri Şekil 7'de gösterilen Network Analyzer isimli test cihazı ile yapılmaktadır. Data kablolarında, bu test cihazında ölçülen yüksek frekans test parametreleri NEXT (Near-end crosstalk), PS-NEXT (Power-sum next), Empedans, RL (Return Loss), IL (Insertion Loss) parametreleridir. Bu makalede, kullanılan YSA modellerinde, çıkış olarak tahmin edilecek yüksek frekans test parametreleri olarak, NEXT, Empedans ve Return Loss seçilmiştir.

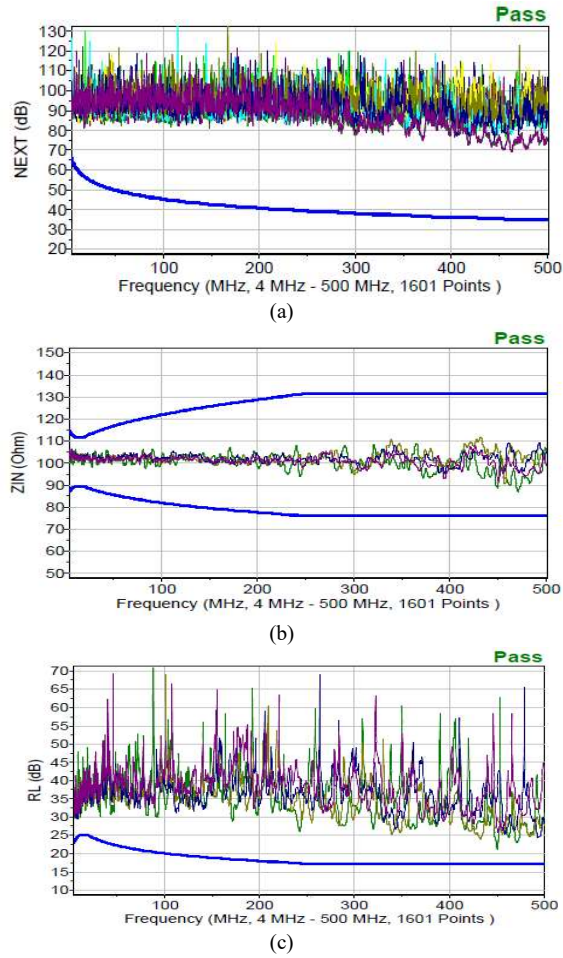
NEXT (Near-end crosstalk); LAN kablolarında bir çiftten gönderilen işaretin, diğer bükülü tele etki eden sinyal bozucu etkisidir.

Empedans: Kablo üzerinden geçen akıma karşı koyan indüktans, kapasitans ve rezistans değerlerinin eşdeğeridir. Bu değer 100 Ω olması istenirken, 85 ile 115 Ω aralığında değişkenlik göstermektedir.

RL (Return Loss): İletilen bir verinin, iletim hattı boyunca bir kısmının geri yansiyarak, sinyalin kayıplara uğramasının bir ölçüsüdür. Değeri dB cinsinden ölçülür. Reçber Kablo kataloğundan alınıp, Reçber Kablo'nun izni ile kullanılan NEXT, Empedans ve RL; HF ölçümleri Şekil 8'de verilmiştir [30].



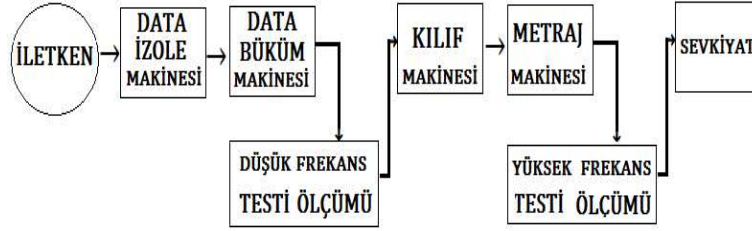
Şekil 7. Network Analyzer test cihazı [30].



Şekil 8. (a) Cat 6A U/FTP data kablo NEXT ölçümü, (b) Cat 6A U/FTP data kablo giriş empedansı ölçümü, (c) Cat 6A U/FTP data kablo RL ölçümü [30].

4. Data Kablosu Üretim Prosesi

Data kablosu üretim süreci, Şekil 9'da ve üretimde kullanılan makinalar Şekil 10'da gösterilmiştir. Data kablosu üretim süreci beş ayrı proses adımından meydana gelmektedir. Bunlardan ilki bakırın girdi olarak kullanıldığı İzolasyon prosesidir. Ardında büküm prosesi gelmektedir. Bükülü yarı mamul S/FTP ürün tipi için örgü prosesine girerken, teze konu olan Cat 6A U/FTP ürünü ise kılıf operasyonu ile devam etmektedir. Kılıfı tamamlanan ürünler müşterinin istediği metraja (20 m, 100 m vb.) uygun olarak kesimleri gerçekleştirilmektedir. Ardından sevke hazır makaralar sipariş miktarına göre ambalajlanmaktadır.



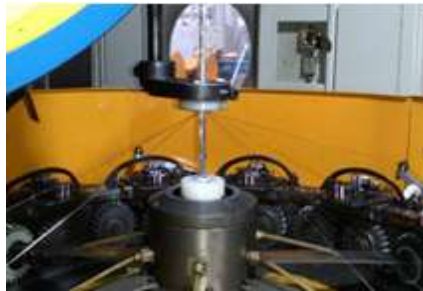
Şekil 9. Data kablosu üretim ve kalite kontrol prosesi.



(a)



(b)



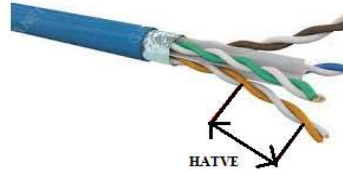
(c)



(d)

Şekil 10. (a) Data kablosu izolasyon makinesi, (b) Data kablosu büküm makinesi, (c) Örgü makinesi, (d) Kılıf makinesi.

Konuya yabancı olan okuyucular için bu kısımda bazı üretim/makine değişkenleri üzerine bilgi verilmiştir. Hatve: Büküm adım aralığıdır. Büküm, her bir perin (çift izole) hatve değerine göre sağlanmaktadır. Hatvenin fiziksel karşılığı Şekil 11’te gösterilmiştir. Mor yay kullanılarak bükümlü kablunun gerginliği ayarlanır. Bu değer yüzde olarak belirtilir. Per mührü, perlenen (çiftlenen) izolelere yönlendirici görevi görürken, grup mührü ise grup haline gelen perleri bir noktada tutmak için kullanılır.



Şekil 11. Data kablo hatvesi.

5. YSA için Giriş ve Çıkış Değişkenlerinin Seçimi ve Veri Toplanması

Kurulan modelde, tahmin edilmesi hedeflenen yüksek frekans parametreleri yani çıkış parametreleri ve giriş olarak kullanılan düşük frekans testi parametreleri ve bazı makine değişkenleri Tablo 2’de verilmiştir. Fabrikadaki üretilen kabloların ölçüm sonuçlarına ait veriler düzenli olarak toplanmıştır.

Cat 6A U/FTP ürünüde veri toplama işlemi, izolasyon sürecinden başlayarak, nihai mamul haline gelinceye kadar olan aşamalarını kapsamaktadır. Bu süreç kapsamında test ölçüm sonuçları kayıt altına alınmıştır. Bu makalede firmada Data Büküm Hattı-4 (DBH-4) diye isimlendirilen ve Şekil 12’de verilen büküm makinesinden toplanılan veriler incelenmiştir. DBH-4’ten 99 veri toplanmıştır. Makale sayfa sınırlamasından dolayı tüm veriler gösterilememiştir. Datayı sağlayan firmanın isteği üzerine hatve giriş değişkeni değerleri, ağ eğitilirken kullanılmış ama çalışmada gizli tutulmuştur.

Tablo 2. Ağın giriş ve çıkış parametreleri.

GİRİŞLER		ÇIKIŞLAR	
1	Frekans	NEXT	
2	İletken Çapı	1	Mavi Turuncu
3	İzole Çapı	2	Mavi Yeşil
Girilen Hatve Değerleri		3	Mavi Kahve
4	Yeşil- Yeşil Beyaz	4	Turuncu Mavi
5	Kahve- Kahve Beyaz	5	Turuncu Yeşil
6	Turuncu- Turuncu Beyaz	6	Turuncu Kahve

7	Mavi- Mavi Beyaz	7	Yeşil Mavi
8	Grup Hatve	8	Yeşil Turuncu
9	Mor yay	9	Yeşil Kahve
10	Grup Mühre	10	Kahve Mavi
11	Per Mühre	11	Kahve Turuncu
DİRENÇ		12	Kahve Yeşil
12	Mavi	EMPEDANS	
13	Mavi Beyaz	13	Mavi
14	Turuncu	14	Turuncu
15	Turuncu Beyaz	15	Yeşil
16	Yeşil	16	Kahve
		RETURN LOSS (RL)	
17	Yeşil Beyaz		
18	Kahve	17	Mavi
19	Kahve Beyaz	18	Turuncu
ORTAK KAPASİTANS (Per Kapasitansı)			
20	Mavi- Mavi Beyaz	20	Kahve
21	Turuncu- Turuncu Beyaz		
22	Yeşil- Yeşil Beyaz		
23	Kahve- Kahve Beyaz		
24	Ortam Sıcaklığı		



Şekil 12. İkili büküm (Double Twist) DBH-4 makinesi.

6. YSA Seçimi, Eğitimi ve Sonuçların Değerlendirilmesi

6.1. YSA Seçimi

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. YSA tahmin modeli uygulamasında kolay ve yaygın kullanımı nedeniyle MATLAB™ yazılımına ait NNTool isimli alet kutusu (paket programı) kullanılmıştır. YSA modelinde, giriş parametreleri olarak, her bir renk iletkenin direnci yani 8 farklı direnç değeri kullanılırken, kapasite için ise her bir per (çift) olarak alınan 4 farklı kapasite değeri kullanılmıştır. NNTool uygulaması içerisinde, ağırlıkların hesaplanması için Levenberg-Marquardt (LM) algoritması seçilmiştir. Diğer algoritmalarla göre eğitimin hızlı ve kararlı bir şekilde gerçekleşiyor olması, bu algoritmanın seçiminde tercih sebebi

olmuştur. Daha sonra Input (giriş), Target (gerçekleşen çıktı), verilerin alım şekli (matrix) gibi bilgiler seçilmiş ve toplanılan verilerin yüzde kaçının Training (eğitim), Validation (sınama) ve Testing (test) için kullanılacağı belirlenmiştir. Çalışma esnasında, bu oranlar değiştirilerek daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tüm çıkış değişkenleri için Levenberg-Marquardt algoritması kullanan bir adet gizli katmana sahip ayrı bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. Her bir ağ 24 giriş ve 1 çıkış değerine sahiptir. Tüm kullanılan Yapay Sinir Ağlarında Transfer fonksiyonu olarak, gizli katmanda Sigmoid, çıkış katmanında ise doğrusal fonksiyon kullanılmıştır.

Tablo 3. DBH-4 makinesinden elde edilen verinin eğitim sonuçları.

MODEL ÇIKIŞ PARAMETRELERİ	Ağın Eğitiminde Kullanılan Bilgiler				Data Büküm Hattı-4 (DBH-4) Yüksek Frekans Parametreleri Eğitim Sonuçları									
	Training Örnek Dağılımı (%)	Validation Örnek Dağılımı (%)	Testing Örnek Dağılımı (%)	Gizli 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 Yüzdesi (%)	
EMPEDANS														
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%	
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%	
Yeşil Per Empedans	50%	30%	20%	25	0,80	0,57	0,53	0,66	-4,75	4,76%	5,83	5,62%	1,70%	
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%	
RETURN LOSS														
Mavi Per RL	80%	10%	10%	30	0,81	0,83	0,80	0,82	-8,78	26,93%	12,55	23,60%	7,35%	
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%	
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%	
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%	
NEXT														
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%	
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%	
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%	
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%	
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%	
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%	
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%	
Yeşil- Turuncu NEXT	65%	20%	15%	22	0,83	0,60	0,49	0,73	-9,03	10,12%	12,79	12,08%	3,07%	
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%	
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%	
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%	
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%	

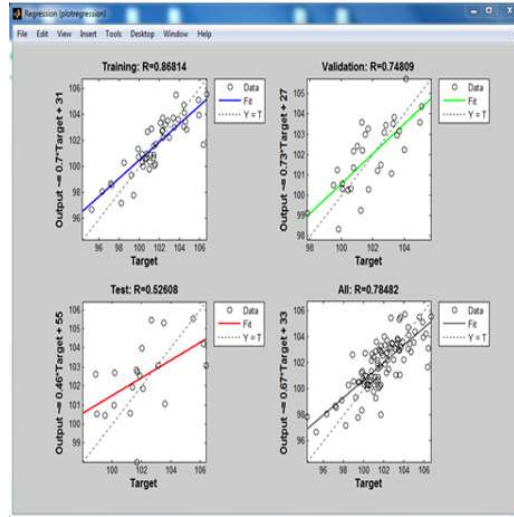
Gizli katmandaki nöron sayısı hatayı azaltacak şekilde seçilmiştir. Çıkış değişkenlerinden biri için kullanılan ağ mimarisi ve gizli katman sinir hücresi sayısı seçimi gerçekleştirilmiştir. Veriler eğitim, test ve doğrulama kümelerine ayrıldıktan sonra, seçilen her bir YSA, eğitim veri kümesiyle eğitilmiş, ardından performansı test ve sınav veri kümeleriyle incelenmiştir. Giriş olarak 24 farklı parametre kullanılmış olup, tahmini gerçekleşen, 20 adet çıkış parametresinin her biri için eğitim ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

6.2 YSA Sonuçları

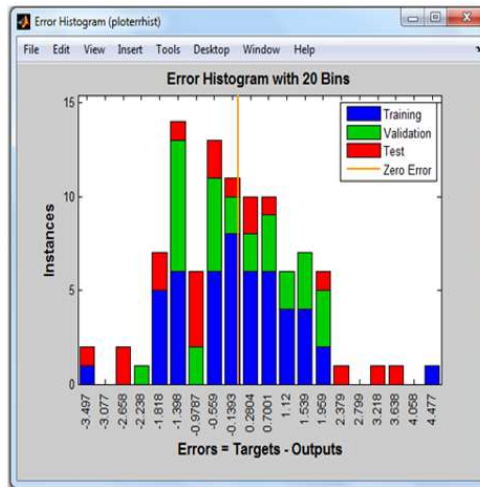
DBH-4 makinesinden elde edilen verinin eğitim Sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. YSA seçimi; eğitimi ve eğitim sonrası ağın performansı Şekil 13 ve 14'de verilmiştir.

Regresyon grafikleri; eğitim, sınav ve test için ayrı ayrı sonuç vermektedir. Bu şekilde eğitim, tüm çıkışlar için ayrı ayrı yapılmıştır. 12 adet NEXT değeri, 4 adet Empedans ve 4 adet RL değeri eğitilmiştir.

Data Büküm Hattı-4 makinesi verilerinin kullanıldığı modeller arasında, empedans parametresinin en iyi tahmin değerini yakalayan kahve-beyaz per (çift) olmuştur.



Şekil 13. DBH-4 makinesi kahve-beyaz per empedans değeri için regresyon grafikleri.



Şekil 14. DBH-4 makinesi kahve-beyaz per empedans değeri için hata histogramı.

6.3 YSA Eğitim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elde edilen tahmin sonuçlarının doğruluğunun ölçümünde, bazı tekniklerden yararlanılmıştır. Değerlendirmek için kullanılan değişkenlerin açıklamaları ve formülleri aşağıda sırasıyla verilmiştir; MAPE (Ortalama Mutlak Yüzde Hata):

$$MAPE = 100 \frac{\sum_i^n \frac{|Target_i - Output_i|}{Target_i}}{n} \quad (6)$$

RMSE (Hataların Karesinin Ortalamasının Karekökü):

$$MAPE = 100 \frac{\sum_i^n \frac{|Target_i - Output_i|}{Target_i}}{n} \quad (7)$$

R^2 (İlinti, Korelasyon): Modelin doğruluğunu ölçmede kullanılan uyum katsayısıdır. Korelasyon/ilinti katsayısı R 'nin karesine eşittir;

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{error}}{SS_{total}} \quad (8)$$

$$SS_{error} = \sum (Target_i - Output_i)^2 \quad (9)$$

$$SS_{total} = \sum (Target_i - Target_{ort})^2 \quad (10)$$

Lewis, MAPE değeri, %10'un altında olan modelleri 'çok iyi', %10 ile %20 arasında olan modelleri 'iyi', %20 ile %50 arasında olan modelleri 'kabul edilebilir' ve %50'nin üzerinde olan modelleri ise 'yanlış ve hatalı' olarak sınıflandırmıştır [37]. Elde edilen düşük MAPE değerleri, gerçek ile tahmin arasındaki, sapmanın küçük olduğunu göstermektedir. DBH-4 makinesinden elde edilen verilerin tahmin sonuçlarının doğrulukları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. DBH-4 makinesinden elde edilen verilerin tahmin sonuçlarının doğrulukları

MODEL ÇIKIŞ PARAMETRELERİ	Data Büküm Hattı-4 (DBH-4) Sonuçların Performansı		
	MAPE	RMSE	R^2
EMPEDANS			
Mavi Per Empedans	1,45%	1,978	0,503
Turuncu Per Empedans	1,24%	1,689	0,558
Yeşil Per Empedans	1,70%	2,226	0,319
Kahve Per Empedans	1,13%	1,459	0,609
RETURN LOSS			
Mavi Per RL	7,35%	3,637	0,668
Turuncu Per RL	8,17%	3,875	0,527
Yeşil Per RL	6,62%	3,965	0,530
Kahve Per RL	8,25%	4,353	0,546
NEXT			
Mavi-Turuncu NEXT	3,23%	4,052	0,646
Mavi- Yeşil NEXT	3,55%	4,196	0,360
Mavi-Kahve NEXT	3,50%	4,715	0,344
Turuncu- Mavi NEXT	4,51%	5,931	0,292
Turuncu-Yeşil NEXT	3,73%	4,570	0,218
Turuncu-Kahve NEXT	4,58%	5,662	0,288
Yeşil-Mavi NEXT	3,37%	4,683	0,497
Yeşil- Turuncu NEXT	3,07%	3,672	0,528
Yeşil-Kahve NEXT	3,84%	4,877	0,621
Kahve-Mavi NEXT	3,41%	4,371	0,486
Kahve-Turuncu NEXT	3,59%	4,581	0,330
Kahve-Yeşil NEXT	4,72%	5,538	0,346

7. Sonuç

Bu çalışmada YSA kullanarak Cat 6A U/FTP kablosunun yüksek frekans parametreleri tahmini yapılmıştır. YSA modellerinde genel olarak en iyi tahmin başarısı Empedans değerinde elde edilirken, en düşük tahmin başarısı RL çıkış parametresi için elde edilmiştir. Karakteristik empedans için en yüksek hata, % 5,62 olarak bulunmuştur. RL için en yüksek hata % 38,65 olarak bulunmuştur. Cat 6A U/FTP Kablosu parametreleri tahmin performansı, ortalama mutlak yüzde hatasının (MAPE) en kötü değeri, empedans parametresi için % 1,70 iken, RL çıkış parametresi için % 8,25 ve NEXT çıkış parametresi için bu değer % 4,72 olarak bulunmuştur. Gelecekte yapılabilecek çalışmalarda, modelde kullanılan giriş parametrelerinin kombinasyonları, bu çalışmada ihmal edilen izolasyon, kılıf gibi proses etkilerini içeren farklı YSA yapısında yüksek frekans test parametrelerinin tahmini yapılabilir. Sonuç olarak, eğitilen YSA kullanılarak, CAT 6A haberleşme kablolarını verimli bir şekilde üretmek için parametre tahmininde kullanılabileceği bulunmuştur. İlk ürünün üretme esnasında kullanılabilecek bu tahminlerin maliyeti düşürmesi olasıdır.

Teşekkür

Bu makaledeki tüm fotoğraflar Reçber Kablo'nun izni ile kullanılmıştır ve tüm veriler Reçber Kablo'nun desteği ile toplanmıştır. Reçber Kablo'ya ve çalışanlarına destekleri için teşekkür ederiz. YSA kullanımında öğretmenlikleri için Prof. Dr. Pelin Gürkan Ünal'a, Dr. Öğr. Üye. İsmail Devocioğlu ve Ar. Gör. Dr. Özkan Arslan'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Haykin, S, Network, N, "Neural networks-*A Comprehensive Foundation*", 2004.
- [2] Bose, N. K., Liang, P, "Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms, and Applications, *McGraw-Hill Series in Electrical Computer Engineering*",1996.
- [3] Cho H.S., Leu M.C., "Artificial Neural Networks in Manufacturing Processes Monitoring and Control, *IFAC Proceedings Volumes*", 1998.
- [4] Monostori L., Prohaszka J, "A step towards intelligent manufacturing: Modelling and monitoring of manufacturing processes through artificial neural networks, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*", 42(1), 485-488, 1993.
- [5] Rajagopalan R., Rajagopalan P., "Applications of Neural Network in Manufacturing, in Proceedings of the 29th Annual Hawaii *International Conference on System Sciences*", 1999.
- [6] Nevsad M., Lafata P, "Modelling of Propagation Constant of Twisted Pairs and Its Temperature Dependence at G. fast Frequencies. *Elektronika ir Elektrotehnika*", 22(2), 107-113, 2016.
- [7] Lafata, P., "Simple Attenuation Models of Metallic Cables Suitable for G. fast Frequencies. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*", 13(2), 147-155, 2015.
- [8] Cecchi, V., Leger, A. S., Miu, K., Nwankpa, C. O., "Incorporating temperature variations into transmission-line models. *IEEE Transactions on Power Delivery*", 26(4), 2189-2196, 2011.
- [9] Hoshmeh, A., Schmidt, U., "A full frequency-dependent cable model for the calculation of fast transients. *Energies*", 10(8), 1158, 2017.
- [10] Kirawanich, P., Islam, N. E., Yakura, S. J., "An electromagnetic topology approach: Crosstalk characterizations of the unshielded twisted-pair cable. *Progress In Electromagnetics Research*", 58, 285-299, 2006.

- [11] Nevosad, M., Lafata, P., Jares, P., “Modeling of telecommunication cables for gigabit DSL application. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*”, 11(5), 336-341, 2013.
- [12] Celozzi, S., Feliziani, M., EMP-coupling to twisted-wire cables, in *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*” pp. 85-89, 1990.
- [13] Komisarek, K. S., Chamberberlin, K. A., Sivaprasad, K., “A method of moment analysis of a twisted-pair transmission line, in *Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*”, pp. 64-67, 1993.
- [14] Joffe, E. B., Axelrod, A., “On the benefits (if any) of pair twisting in reducing radiated emissions from two-wire cables, in *Proceedings of IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility*”, pp. 474-478, 1994.
- [15] Im, G. H., Werner, J., “Bandwidth-efficient digital transmission up to 155 Mb/s over unshielded twisted pair wiring, in *Proceedings of ICC'93-IEEE International Conference on Communications*”, vol. 3, pp. 1797-1803, 1993.
- [16] Diakun, P. C., Derewiany, C. F. “Magnetic field shielding effectiveness of a high-permeability shield on twisted pair and coaxial cables, in *1993 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*”, pp. 170-175,1993.
- [17] Piper, G. R., Prata, A., “Magnetic flux density produced by finite-length twisted-wire pairs, *IEEE transactions on electromagnetic compatibility*”, 38(1), 84-92, 1996.
- [18] Roden, J. A., Gedney, S. D., Paul, C. R., “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*”, pp. 254-258, IEEE, 1996.
- [19] Poltz, J., Gleich, D., Josefsson, M., Lindstrom, M., “Electromagnetic modeling of twisted pair cables, In *Proceedings of the 49th International Wire and Cable symposium*”, 2000.
- [20] Shao, J., Nitta, S., Mutoh, A., “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), pp. 730-733, 1999.
- [21] Umek, A., “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, 2000.
- [22] Liu, X, “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*”, pp. 611-614, 2006.
- [23] De Araujo, D. N., Pitner, G., Commens, M., Mutnury, B., Diepenbrock, J., Full-wave, “TwinAx, differential cable modeling, in *2008 58th Electronic Components and Technology Conference*”, pp. 1684-1689, 2008.
- [24] Belkhefha, S., Lefouili, M., Drissi, K. E. K, “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, 2015.
- [25] Tatematsu, A., Rachidi, F., Rubinstein, M., “A technique for calculating voltages induced on twisted-wire pairs using the FDTD method, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*”, 59(1), 301-304, 2017.
- [26] Shang, Y., Fei, W., Yu, H., “A fractional-order RLGC model for terahertz transmission line. in *2013 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (MTT)*”, pp. 1-3, IEEE, 2013.

- [27] Limei Y., Yusong Z., Jianjun X., Weijian R., Qiong W., Zhigang S., “Transmission lines modeling method based on fractional order calculus theory, *Transactions of China Electrotechnical Society*”, 29, 260-268, 2014.
- [28] 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*”, 8(1), 239-250, 2015.
- [29] Pozar, D. “M., Mikrodalga mühendisliği”, *Palme Yayıncılık*, 2014.
- [30] <https://www.receber.com.tr/pdf/urun-katalog.pdf>, 25.05.2020.
- [31] Chauhan, N., Yadav, N., Arya, N., “Applications of Artificial Neural Network in Textiles, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*”, 7(4), 3134-3143, 2018.
- [32] Kumar, A., Chauhan, V., Bist, A. S., “Role of artificial neural network in welding technology: a survey network”, 67(1), 2013.
- [33] Smail M.K., Le Bihan Y., Pichon L., “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, pp. 435-441, 2012.
- [34] Devabhaktuni, V. K., Chattaraj, B., Yagoub, M. C.E., Zhang, Q., “Advanced microwave modeling framework exploiting automatic model generation, knowledge neural networks, and space mapping, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*”, 51(7), 1822-1833, 2003.
- [35] Xu, J., Yagoub, M.C.E., Ding, R., Zhang, Q., “Neural-based dynamic modeling of nonlinear microwave circuits, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*”, 50(12), 2769-2780, 2002.
- [36] Rayas-Sánchez, J. E., “EM-based optimization of microwave circuits using artificial neural networks: The state-of-the-art, *IEEE transactions on microwave theory and techniques*”, 52(1), 420-435, 2004.
- [37] Lewis, C. D., “Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting, *Butterworth-Heinemann*”, 1982.