

## **YERALTI ENERJİ KABLOLARINDA MEYDANA GELEN ARIZALARDA ARIZA MESAFESİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ**

\* VEDAT GÜN, \*\* SEYDİ VAKKAS ÜSTÜN

\*Celal Bayar Üniv. Kırkağaç MYO, \*\*Adıyaman Üniv. Meslek Yüksek  
Okulu

### **ÖZET**

Bu çalışmada, yer altı kablo iletim sistemi için YSA temelli olarak arıza mesafesinin belirlenmesi çalışması sunulmuştur. Geliştirilmiş Fourier dönüşüm tekniğine dayanan bilgisayar simülasyonu, arıza mesafesinin bulunması için, eğitimde gerekli geçici dataların elde edilmesinde kullanılmıştır. Yer altı kablo sistemlerinde 3 faz arızasında değişik arıza mesafeleri için datalar üretildi ve hatanın geriye yayılması algoritmali yapay sinir ağı eğitmesinde kullanıldı. Giriş datasının normalizasyonu, sinir ağlarında güvenilir bir eğitime için uyarlandı. Sinir ağlarının uygun bir boyutu deneme yanılma metoduyla bulunmuştur. Bu sistem değişik arıza mesafeleriyle test edildi ve onun güvenilirliği ispatlandı.

**Anahtar kelimeler:** Yeraltı kabloları, YSA, geçici rejim analizi, güç sistemleri, fourier dönüşüm tekniği.

## **INVESTIGATION OF FAULT DISTANCE ON DUE TO SHORT CIRCUIT FAULT CONDITION IN UNDERGROUND ENERGY CABLES USING NEURAL NETWORKS**

### **ABSTRACT**

This paper presents estimation of fault distance based on Artificial Neural Networks (ANNs) for underground cable transmission systems(UCTS). The computer simulation based on modified Fourier transform technique was used for necessary transient data in training for estimation of fault distance. Data for various fault distances in the underground cable system were generated and were used in training artificial neural networks with back-

propagation of error algorithm. Normalization of input data is adopted for reliable learning in neural networks. A proper size of the neural network was found via trial and error method. This system was tested with various fault distances and proved its reliability.

**Keywords :** Underground cables, ANN, transient analysis, power systems, fourier transform technique

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi iletim sistemlerine olan ihtiyaç gittikçe artmakta, bu durum endüstriyelleşmiş toplumlarda enerjinin kaliteli ve güvenilir bir şekilde sunulması ihtiyacı gibi birçok problemi beraberinde getirmektedir. Enerji sağlayıcılar ve tüketiciler her ikisi de değişik sebeplerden kaynaklanan artan zorlukların farkındadırlar. Havai hatların meydana getirdiği görüntü kirliliği ve yangın kazalarının mümkün olmasından dolayı, Enerji üreticileri yeni iletim hatlarının yapımında o bölgede yaşayan insanlardan zorlaştırıcı bir tepki görmektedirler. Güzergah seçimindeki zorluklar, havai hat yapımında, fazladan maliyet meydana getiren gereksiz dolanmaları netice vermektedir. İlk tesis maliyetinin daha pahalı olmasına rağmen iletim hatlarının tesisinde yöneliş havai hatlardan yer altı kablolarına doğru kaymaktadır [1]. Ancak, sürekli ve güvenilir bir servis için yer altı sistemlerinde daha hızlı bir durum tespiti ve hat boyunca arıza yerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, yeraltı enerji kablolarında hat boyunca meydana gelen kısa devre arızalarında, arıza anında meydana gelen akım değişimi, eğitim verileriyle sistemi öğrenebilen YSA ile işlenerek, arıza yerinin tesbiti yapılmıştır. Geçici duruma ait akım değerlerini elde etmek için geliştirilmiş Fourier dönüşüm tekniği kullanılarak modelleme yapılmıştır. YSA sistemi kullanılarak eğitim girişleri ile hedeflenen çıkışlar arasındaki yakınsama sağlanana kadar iterasyona devam edilmiş, daha sonra önerilen sistem eğitim setinde olmayan verilerle test edilmiştir.

## 2. BİR YER ALTI KABLO SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Kablo empedans ve admitans matrisleri 2' No' lu kaynakta belirtildiği şekilde elde edilmiştir [2].

Bir hattın dağılmış hat parametreleri gözönüne alındığında n iletkenli bir sistemde x mesafesi için için frekans bölgesinde;

$$d^2 \tilde{V} / dx^2 = Z.Y. \tilde{V} = P. \tilde{V} \quad (2.1)$$

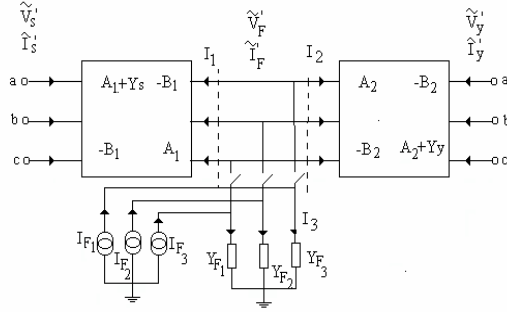
$$d^2 \tilde{\mathbf{I}} / dx^2 = \mathbf{Y.Z.} \quad \tilde{\mathbf{I}} = \mathbf{P}^T \cdot \tilde{\mathbf{I}} \quad (2.2)$$

denklemleri yazılır. Bu denklemler gerekli düzenlemeler yapılarak kablo başı ve kablo sonu değerleri cinsinden matris biçimde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}_s \\ \tilde{\mathbf{I}}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_0 \cdot \coth(\psi l) & -Y_0 \cdot \operatorname{cosech}(\psi l) \\ -Y_0 \cdot \operatorname{cosech}(\psi l) & Y_0 \cdot \coth(\psi l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{V}}_s \\ \tilde{\mathbf{V}}_r \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Denklem (2.3) homojen bir sistemin admitans matrisini gösterir ve iki kapılı düğüm denklemi olarak da ifade edilebilir. Kablo başı ve kablo sonu gerilimleri bu matris denkleminde elde edilebilir.

Bundan sonra, kablo sistemine ait simülasyon yapılır ve gerekli bağıntılar elde edilir [3]. Daha sonra Şekil 2.1' den arıza durumuna ait denklemler elde edilir.



Şekil 2.1 Toprak arızası olan bir kablonun indirgenmiş diyagramı.

Arıza noktasının sağ ve sol taraflarındaki uçlarına ait gerilim ve akımlarını ifade eden matris denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}'_s \\ \tilde{\mathbf{I}}'_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 + Y_s & -B_1 \\ -B_1 & A_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{V}}'_s \\ \tilde{\mathbf{V}}'_F \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{I}}'_2 \\ \tilde{\mathbf{I}}'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & -B_2 \\ -B_2 & A_2 + Y_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{V}}'_F \\ \tilde{\mathbf{V}}'_y \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Burada  $A_1$  ve  $B_1$  sol tarafa ait alt matrisleri ve  $A_2$  ve  $B_2$  ise sağ tarafa ait alt matrislerdir. Yani;

$$A_1 = Y_0 \cdot \coth(\psi x), B_1 = Y_0 \cdot \operatorname{cosech}(\psi x),$$

$$A_2 = Y_0 \cdot \coth(\psi(l-x)), B_2 = Y_0 \cdot \operatorname{cosech}(\psi(l-x))$$

$\psi$  = kablunun propagasyon katsayısı

$l$  = toplam kablo uzunluğu

$x$  = arıza noktasının 1.inci baraya olan uzaklığı

$Y_s$  kaynağa ait admitans matrisi ve  $Y_y$ , yüke ait admitans matrisleridir. Arıza noktasına Kirchoff' un akım kanunu uygulandığında Şekil 2.1'den;

$$\tilde{I}_1 + \tilde{I}_2 + \tilde{I}_3 - \tilde{I}'_F = 0 \quad (2.6)$$

yazılır.Burada;

$$\tilde{I}_3 = Y_F \cdot \tilde{V}'_F; \tilde{I}'_F = -Y_F \cdot \tilde{V}_F \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $Y_F$ , arıza admitans matrisi,  $\tilde{V}_F$ , arıza noktasında arıza öncesi işletme gerilimlerinin gerilim vektörü ve  $\tilde{V}'_F$ , arıza noktasına uygulanan temsili kaynağa ait gerilim vektörüdür.

Denklem (2.4), (2.5) ve (2.6) birleştirildiğinde komple sistemin ifadesi elde edilir;

$$\begin{bmatrix} \tilde{I}'_s \\ \tilde{I}'_F \\ \tilde{I}'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 + Y_s & -B_1 & 0 \\ -B_1 & (A_1 + A_2 + Y_F) & -B_2 \\ 0 & -B_2 & A_2 + Y_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{V}'_s \\ \tilde{V}'_F \\ \tilde{V}'_y \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Sınır şartları dikkate alınarak (2.8) denklemini çözümlerse;

$$\tilde{V}'_F = \begin{bmatrix} -B_1(A_1 + Y_s)^{-1}B_1 + (A_1 + A_2 + Y_F) \\ -B_2(A_2 + Y_y)^{-1}B_2 \end{bmatrix}^{-1} \tilde{I}'_F \quad (2.9)$$

ifadesi elde edilir. Burada  $\tilde{I}'_F$ , denk (2.7) de yazıldığından;

$$\tilde{V}'_s = (A_1 + Y_s)^{-1}B_1 \cdot \tilde{V}'_F \quad (2.10)$$

$$\tilde{V}'_y = (A_2 + Y_y)^{-1}B_2 \cdot \tilde{V}'_F \quad (2.11)$$

olur. Burada  $V'_F$  denklem (2.9)'da verilmiştir. Temsili kaynaktan dolayı oluşan akımlar;

$$\begin{aligned}\tilde{I}'_s &= -Y_{S1} \tilde{V}'_s \\ \tilde{I}'_y &= -Y_{S2} \tilde{V}'_y\end{aligned}\quad (2.12)$$

dir. Şekil 2.1'den görüldüğü gibi;

$\tilde{V}_s = \tilde{V}'_s$  ve  $\tilde{V}_y = \tilde{V}'_y$  dir. Böylece  $\tilde{I}_s$  ve  $\tilde{I}_y$ , denklem (2.12)'de  $\tilde{V}_s$  ve  $\tilde{V}_y$  yerine  $\tilde{V}'_s$  ve  $\tilde{V}'_y$  konularak ifade edilir.  $\tilde{V}'_s$  ve  $\tilde{V}'_y$ , denklem (2.10) ve denklem (2.11)'de ifade edilmiştir.

Sonuçta elde edilen cevap akımları, temsili kaynağın uygulanmasıyla elde edilen akımın ve arıza öncesi sistemden akan yük akımının toplamıdır. Sonuç gerilimleri ise arıza öncesindeki sürekli hal gerilimleri ve arıza anında sisteme uygulanan hayali kaynağın etkisiyle meydana gelen gerilimlerin toplamıdır;

$$\tilde{V}_s = (\tilde{V}_s)_{ss} + \tilde{V}'_s \quad (2.13)$$

$$\tilde{V}_y = (\tilde{V}_y)_{ss} + \tilde{V}'_y \quad (2.14)$$

Aynı şekilde arızalı noktaya ait gerilimler de aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\tilde{V}_F = (\tilde{V}_F)_{ss} + \tilde{V}'_F \quad (2.15)$$

$\tilde{V}'_F$ , arızalı noktanın sonuç gerilim vektörüdür.  $(\tilde{V}_F)_{ss}$ , sürekli hal gerilimidir.

Frekans bölgesinde elde edilen bu değerler, ters Fourier Dönüşüm Yöntemiyle zaman bölgesinde elde edilir [4].

### 3. YAPAY SİNİR AĞLARI

YSA'lar verilerden hareketle, bilinmeyen ilişkileri akıllıca hemen ortaya çıkarabilmektedir. Bu özellikleri, uygulama açısından son derece önemlidir. YSA'lar çözüm olarak genelleştirilebilir. Bir örnekten hareketle, diğer örneklerdeki benzerlikleri doğru olarak anlayabilirler. Genelleştirme

yapılabilmesi bu bakımdan çok iyi bir özelliğidir, çünkü gerçek dünya verilerinde sürekli olarak gürültü ve bozucu etkiler mevcuttur [5].

YSA'lar lineer olmayan yapıdadır. Bu özellikleri nedeni ile daha karmaşık problemleri lineer tekniklerden daha doğru çözerler. Lineer olmayan davranışlar hissedilir, algılanır, bilinebilir, ancak bu davranışları ya da problemleri matematiksel olarak çözmek zordur [6].

Bu çalışmada kullanılan çok katmanlı perceptron, giriş ve çıkış katmanları arasında birden fazla katmanın kullanıldığı YSA sistemleridir. YSA giriş ve çıkışlar arasındaki ilişkiyi öğrenir, bu şekildeki eğitmeye 'öğreticili eğitime' denir. Bu sistemlerde çıkışların, eğitme veri setinde karşılık gelen değer olması istenir. Eğitme işlemi boyunca, ağırlık değerleri istenen çıkışları verecek şekilde ayarlanır. Yapılan çalışmada eğitme algoritması olarak, "delta kurallı hatanın geriye yayılması algoritması" [7] [8] kullanılmıştır. Bu algoritma ile ağırlık ve eşik değerleri, gerçek ve istenen çıkışlar arasındaki hatayı azaltacak şekilde, aşağıdaki denklemlerde verildiği şekilde ayarlanmaktadır.

$$\Delta_p w_{ji}(t+1) = \varepsilon \delta_{pj} o_{pi} + \alpha \Delta_p w_{ji}(t)$$

$$\Delta_p \theta_j(t+1) = \varepsilon \delta_{pj} + \alpha \Delta_p \theta_j(t)$$

Bu denklemde  $w_{ji}$  ; 'j' inci düğüm noktası ile 'i' inci düğüm noktasını birbirine bağlayan ağırlık değeri,  $\theta_j$ ; 'j' inci düğümün eşik değeri,  $\varepsilon$ ; momentum oranı,  $\alpha$ ; öğrenme oranı,  $\delta_{pj}$  ; p örüntü için hata,  $o_{pi}$  ; YSA'ya uygulanan p örüntü setinin ürettiği çıkıştır.

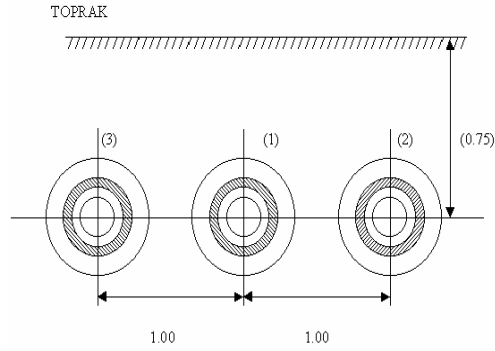
#### 4. UYGULAMA ÇALIŞMASI MATERYAL VE YÖNTEM

Uygulamada 2XS(FL)2YX1X1000 RMF 89/154 Kv tipi tek çekirdekli bir kablo kullanılmış olup kabloya ait değerler Tablo 4.1' de verilmiştir. Sistem 154 kV' luk olup kablo uzunluğu 30 km' dir. Kabloların toprak altında yerleşimi Şekil 4.1' de gösterilmiş olup ölçüler metre cinsindedir.

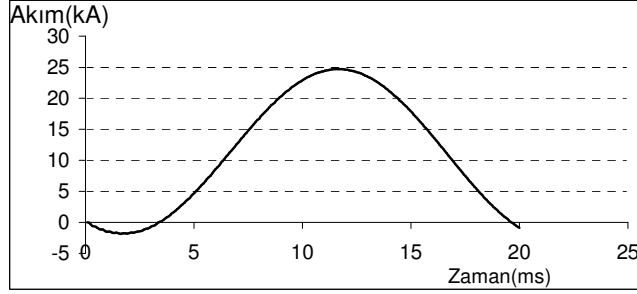
Aşağıda karakteristik değerleri ve konumu verilen yer altı kablo sisteminde meydana gelen üç fazlı bir arızada, hat başı arıza akımına ait geçici durum değerleri, geliştirilmiş Fourier tekniği kullanılarak hazırlanmış bir simülasyon programı yardımıyla elde edildi.

**Tablo 4.1.** Kullanılan Kablonun Karakteristik Değerleri.

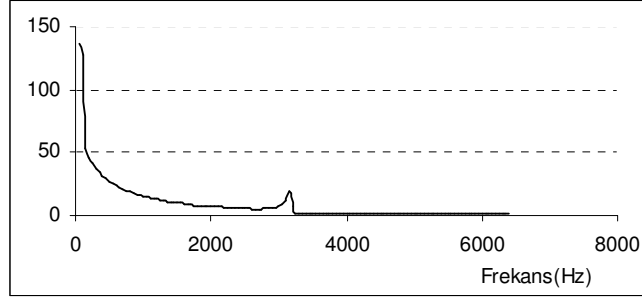
Çekirdek Yarıçapı	1.55 cm
Kılıfın İç Yarıçapı	4.1 cm
Kılıfın Dış Yarıçapı	4.55 cm
Kablo Dış Yarıçapı	5.00 cm
Çekirdeğin Özdirenci	$1.71 \cdot 10^{-8}$ ohm-m
Kılıfın Özdirenci	$3.58 \cdot 10^{-8}$ ohm-m
Ana İzolasyonun Bağıl Dielektrik Sabiti	4.2
Çekirdek İzolasyonunun Bağıl Dielektrik Sabiti	2.4
Çekirdeğin Geçirgenlik Katsayısı	1.0
Kılıfın Geçirgenlik Katsayısı	1.0

**Şekil 4.1.** Kablo sisteminin konumu.

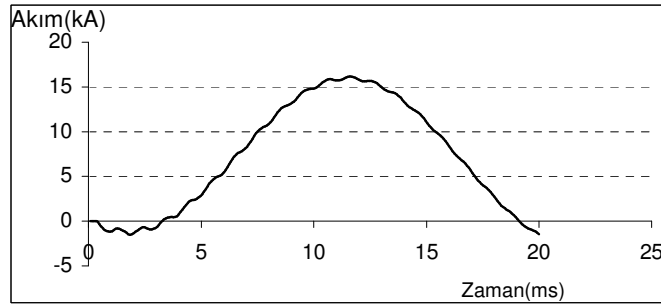
Aşağıda bu sistemde, 6. ve 22. km' de (hat başından itibaren) meydana gelen, belirtilen arıza tipi için hat başı a fazı akımına ait geçici durum verilerinin zaman ve frekans bölgesindeki değerleri görülmektedir.



Şekil 4.2 7. km' de meydana gelen üç faz arızası için zamana göre A fazı geçici durum akım değişimi.

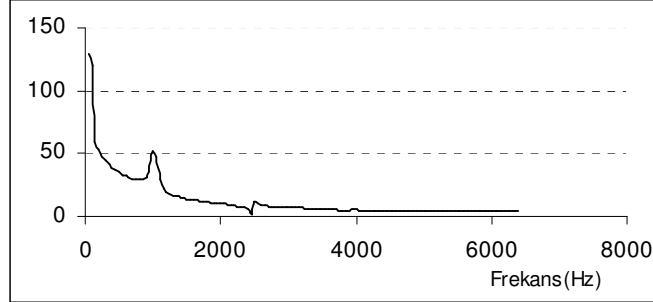


Şekil 4.3. 7. km' de meydana gelen üç faz arızası için A fazı geçici durum akımının frekans bileşenleri.



Şekil 4.4. 22. km' de meydana gelen üç faz arızası için zamana göre A fazı geçici durum akım değişimi.



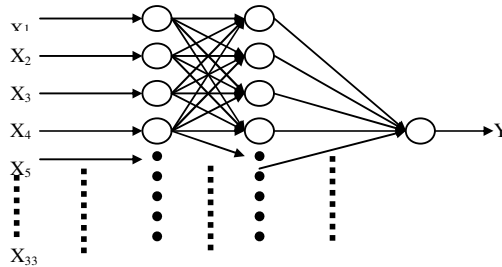


**Şekil 4.5.** 22. km’ de meydana gelen üç faz arızası için A fazı geçici durum akımının frekans bileşenleri.

Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5’ de görüldüğü gibi arıza mesafesinin artmasıyla hat başı akımının genliği azalmakta ve sistemdeki harmoniklerin oranı artmaktadır. Bu ilişki göz önüne alınarak, arıza mesafesini YSA ile bulmak için bu iki değer kullanılmıştır. Hat başı akımının 20 ms’ lik 250 verisi fourier dönüşümünden geçirilerek, anlamlı 125 veri ortalama alınarak 32 veriye düşürüldü. Akım verisinin karesel toplamı alınıp giriş vektörüne 33. parametre olarak eklenmiştir. Böylelikle 32 tanesi fourier dönüşümünden bir tanesi de genliği ifade etmek üzere her arızayı ifade eden 33 parametre elde edildi. Bu 33 parametreye karşılık çıkış olarak “arıza mesafesi” YSA eğitime setine konulmuştur. 2, 4, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 20, 22, 27. km’ lerde arıza durumuna göre akım değerleri alınarak, bu 13 veriden 7, 14, 20. km’ lerdeki arıza verisi test için ayrılmış diğerleri eğitime setine konulmuştur.

Eğitime setine konan veriler YSA nın yapısı gereği çıkışlar 0-1 aralığına, programın çalışmasında kayan nokta probleminde sakınmak için ise girişler 0-10 aralığına normalize edilmiştir.

Çalışmada kullanılan YSA mimarisi şekil 4.6 de verilmiştir.



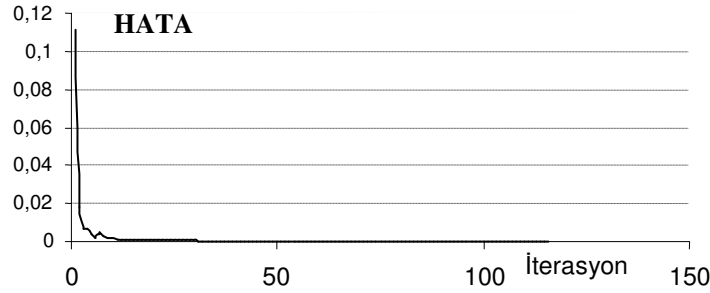
**Şekil 4.6** Mesafe kestiriminde kullanılan YSA mimarisinin görünümü.

Tablo 4.2 de mesafe kestiriminde kullanılan YSA nın özellikleri verilmiştir. Öğrenme ve momentum katsayısı olarak daha önceki benzer uygulamalarda ve bu çalışmada deneme yöntemiyle iyi sonuçlar verdiği görülen tablo 4.2'deki değerler alınmıştır.

**Tablo 4.2.** YSA yapısının özellikleri

Giriş katmanındaki hücre sayısı	33
Çıkış katmanındaki hücre sayısı	1
Katman sayısı	1
Gizli katmandaki hücre sayısı	30
Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid
Hata sınırı	0,000001
Öğrenme katsayısı	0,7
Momentum katsayısı	0,9

Yukarıda mimarisi ve özellikleri verilen YSA ile eğitime işlemi yapılmış ve sistem, giriş verileri ile çıkış arasında ilişkiyi kısa sürede bulmuştur. Şekil 4.7 de görüldüğü gibi hata 0,0007 ler seviyesine 100. iterasyonda gelmesine rağmen işleme devam edilerek 2000. iterasyonda 0,000001 seviyesine geldiğinde iterasyon durdurulmuştur.



**Şekil 4.7.** YSA'nın eğitilmesi aşamasında hatanın değişimi

Eğitilmiş ağırlık ve eşik değerleri ile oluşturulan YSA sistemi test için ayrılmış verilerle test edilmiştir. Tablo 4.3' de bu üç test verisi için gerçek değer ile YSA'nın bulduğu değerler karşılaştırılmıştır. Tablo 4.3' de görüldüğü gibi YSA arıza mesafesini az bir hata ile kestirmiştir.

**Tablo 4.3.** Test sonuçları.

	Gerçek Değer	YSA ile bulunan değer	% Hata
1. test verileri	7 Km	7,39518 Km	5,6
2. test verileri	14 Km	13,76787 Km	1,6
3. test verileri	20 Km	20,09205 Km	0,46

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sonuç olarak, bu yapılan çalışma ile, yer altı enerji kablolarında meydana gelen, üç faz kısa devre arızalarında, arıza mesafesinin bulunması hedeflenmiştir. Bulunan sonuçlar YSA'nın, hat başı akımının geçici durum verilerinin genliği ve Fourier dönüşümünden elde edilen parametreler ile, arıza mesafesini belirlemede iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bundan sonraki çalışmalarda, bu çalışma ile Chul-Hwan Kim ve arkadaşlarının [1] yapmış oldukları arıza tipinin belirlendiği çalışma, birlikte ele alınıp, arıza tipi ve yerinin belirlendiği yeni bir çalışma yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Kim, C-H and etc., A Study on the Fault Identification of Underground Cable Using Neural Networks, International Conference on Energy Management and Power Delivery, pp. 571-576, IEEE Singapore Sec., Nov. 1995.
2. Wedepohl and Wilcox, D.J. "Transient Analysis of Underground Power Transmission Systems. System Model and Wave Propagation Characteristic", Proc.IEE, Vol. 120, pp.243-257, 1973.
3. Unver, U., Yeraltı Enerji Kablolarının Kısa Devre Geçici Rejim Analizi, Doktora Tezi, Sakarya Üni. Fen Bil. Enst., Nisan, 1999.
4. Unver, U., Enerji Nakil Hatlarının Kısa Devre Analizi: Çift Taraftan Beslenen Hatlar., Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, pp. 180-196, 1995.

5. Üstün, S.V., Asenkron Motorun DSP Temelli Kontrolunda Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritmalar Kullanılarak PI Katsayılarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bil. Enst., İstanbul, 2001.
6. Gülez, K., Asenkron Motorun DSP (Sayısal İşaret İşleyici) Tabanlı Bir Kontrol Sistemi Kullanılarak YSA (Yapay Sinir Ağları) İle Performansının Arttırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bil. Enst., 1999.
7. Zurada, M.J., Introduction to Artificial Neural Systems, West Publishing Co., St. Paul, 1992.
8. S. Haykin, Neural Networks-A Comprehensive Foundation, Macmillan College Publishing Co., US, 1994.