

## GERÇEK ZAMANLI ENERJİ DAĞITIM SİSTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK MODELLENMESİ VE HARMONİK TAHMİNİ

Suat ÖZDEMİR<sup>1\*</sup>, Metin DEMİRTAŞ<sup>2</sup>, Serkan AYDIN<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa, TÜRKİYE  
<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, TÜRKİYE

**Özet:** Elektrik sistemlerinde önemli bir kriter olan güç kalitesi her geçen gün önemini artırmaktadır. Güç kalitesini etkileyen başlıca etkenler; harmonikler, kırpışma (flicker), geçici rejimler(transient), ani gerilim düşmeleri(Sags), ani gerilim yükselmeleri (Sweels) olarak sayılabilir. Harmonikler, rezonans, ani açma, ani gerilim değişimleri v.b. olaylar güç kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Harmoniklerin analizi ve tahmin edilmelerinde literatürde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada, Manisa ilindeki yerleşim yeri ve sanayi bölgesinden ölçülen Toplam Akım Harmonik Distorsiyonu ( $THD_I$ ) değerleri kullanılarak, ilerde sistemde oluşabilecek,  $THD_I$  değerlerini tahmin edecek bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Verilerin bir kısmı YSA modelini oluşturmada, kalan kısmı da modeli test için kullanılmıştır. YSA ile tahmin edilen değerlerin gerçek  $THD_I$  değerlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu model ilave yüklerle birlik oluşabilecek  $THD_I$  değerlerinin önceden tahmin edilmesine ve tasarlanacak filtre parametrelerinin belirlenmesinde faydalı olabilir.

**Anahtar Kelimeler :** Enerji Dağıtım sistemleri, Yapay sinir ağı, Harmonik, Güç Kalitesi

## REAL TIME POWER DISTRIBUTION SYSTEM MODELLING AND HARMONIC ESTIMATION USING NEURAL NETWORK

**Abstract:** The importance of power quality in Electrical systems increases with each passing day and has become an important criterion in energy system. The main factors affecting the quality of power are harmonics, flicker, transients, voltage sags (Sags), sudden voltage surges (Sweels). The harmonics causes resonance, sudden trips, loss and so on and this problems adversely affect the quality of power. In this study  $THD_I$  values of residential and industrial zones were examined. Different ways are used for the analysis and the estimation of the harmonics. In order to get an estimate of the value of  $THD_I$  values Artificial Neural Networks were used.  $THD_I$  values were estimated with using this ANN model. With this method, accurate estimated values obtained. This estimated  $THD_I$  values can be used to selecting the required filter system. In this way, by reducing harmonic values, a significant improvement in power quality can be achieved. With the proposed ANN model, equipment that improve the power quality can be preselected while planning energy distribution systems. This model can be used for the planning the energy systems which has the high Power Quality. This ANN model can be used to estimate  $THD_I$  values in different systems .

**Keywords :** Power Distribution System, Artificial Neural Network, Harmonic ,Power Quality

---

## 1.GİRİŞ

Güç kalitesi genel anlamda, elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar olan tüm aşamalarda (iletim ve dağıtım dahil) elektrik enerjisinin varlığının sürekliliği, frekansın ve gerilimlerin anma değerlerinde sabit olması ve gerilim/akım dalga şekillerinin saf sinüs dalga şeklinde olması olarak tarif edilebilir. Yarı iletken anahtarlama elemanlarının birçok cihazda kullanılması şebekeye bağlı lineer olmayan(Nonlineer) yüklerin artmasına sebep olmuştur. Televizyon, bilgisayar, klima gibi ev tipi cihazlar; UPS, Hız Kontrol Cihazı, Kaynak makineleri, Anahtarlama güç kaynakları gibi sanayi tipi cihazlar lineer olmayan(Nonlineer) yükler olarak verilebilir. Lineer olmayan yükler sinüzoidal olmayan veya harmonik kirliliğe sahip akım çeken yüklerdir. Harmonikler iletim hatlarında, yüklerde, elektrikli cihazlarda olumsuz etkiler oluşturarak güç kalitesini bozmaktadırlar [1]. Trafolarda oluşan ek kayıplar, koruma elemanlarında açmalar, haberleşme sisteminde bozulmalar, hatlarda oluşan ek kayıplar ve asenkron motorlarda moment dalgalanmaları harmoniklerin oluşturduğu güç kalitesi problemlerinden bazılarıdır [2], [3]. Toplam Harmonik Distorsiyon (THD) akım ve gerilimin harmonik bozulma miktarını ölçmek için tanımlanmış olan bir indistir. Harmoniklerle ilgili sınırlamalar IEEE 519 standartlarında belirtilmiştir [4], [5]. Ayrıca referans [6] ve [7]'de belirtilen IEC standartlarıyla distorsiyona bağlı olarak harmonik değerleri sınırlandırılmıştır.

Harmonik tahminlerinde ve sinyal analizlerinde YSA'lar çokça kullanılmaktadır [8], [9]. Güç sistemlerindeki geçici olayların[10], ve ara harmoniklerin tespitinde [11] YSA uygulamaları kullanılmış olup çok yüksek doğruluklarla harmonik tahminleri yapılabilmektedir [12], [13]. YSA çeşitli tahmin ve harmonik analizlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. YSA'ların doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, öğrenme ve

genelleme yapma yeteneği, farklı problemler için uyarlanabilirliği en önemli özelliklerindedir. Referans [16]'da YSA ile yük tahmini uygulamaları yapılmıştır. Referans [17]'de YSA'lar kullanılarak nonlineer yüklerin harmonik tahmini yapılmıştır. Referans [18]'de dinamik sistemlerde YSA'lar kullanılarak harmonik analizi yapılmıştır.

Referans [19] da, yapay sinir ağları harmonik distorsiyon analizinde kullanılmıştır. Yapılan literatür çalışmalarında, Nonlineer yüklerin analizi ve tahmininde YSA'lar güvenilir ve doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Referans [20]'de harmonik bileşenler içeren nonlineer yükler için akım tahmininde YSA' lı bir tahmin yöntemi öngörülmüştür. Yine harmonik tespitlerinin hızlı olarak yapılması amacı ile YSA' lar kullanılmıştır [21]. Bu çalışmada Manisa ilinde çeşitli bölgesel  $THD_1$  değerleri şebekeye bağlı cihazlar tarafından ölçülmüştür. Bu değerler YSA tarafından eğitime ve test amacıyla kullanılmıştır. Ölçülen 25 adet harmonik değerlerin 14'ü YSA modelini oluşturmada, kalan kısmı da test amaçlı kullanılarak YSA ile  $THD_1$  değerleri tahmin edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde harmoniklerle ilgili genel bilgiler, üçüncü bölümde harmonik ölçüm değerleri, dördüncü bölümde simülasyon çalışmaları ve son bölümde de sonuçlar sunulmuştur.

## 2.GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER

Nonlineer yüklerin günümüzde yaygın olarak kullanımı ile sinüzoidal olmayan (harmonik bozulmaya sahip) akımlar ve gerilimler güç sistemlerinde artış göstermiştir. Harmonikler yüksek frekanslı sinüs biçimli bileşenler olup, frekansları temel frekans (50 Hz) x harmonik derecesi ile tanımlanmaktadır. Nonlineer yük ve devre elemanlarının her geçen gün artması, gelecekte harmoniklere bağlı büyük mali kayıplara sebep olabilir. Elektrik enerji sistemlerinde manyetik devre ve elektrik devre lineersizlikleri, harmoniklerin ortaya

çıkmasında en önemli etkenlerdir. Harmonik bozulmayı azaltmaya yönelik önlemlerin alınması için öncelikle harmoniklerin analizi ve harmonik seviyelerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Güç sistemlerinde yapılan çalışmalarda genellikle sinüzoidal sürekli hal için tanımlanan modeller kullanılmaktadır. Nonlineer yüklerin bulunduğu sistemlerde elektrik parametrelerini yeniden tanımlamak gerekmektedir.

Güç sistemlerinde harmonik bileşenleri bulunan gerilim ve akım değerleri Fourier serisi ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [14].

Harmonik bileşenleri bulunan gerilim,

$$V(t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}V_n \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (1)$$

Şeklinde, harmonik bileşenleri bulunan akım,

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} i_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}I_n \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (2)$$

olarak ifade edilebilir. (1) ve (2) numaralı denklemlerde  $V_n$  ve  $i_n$  harmonikli gerilim ve akımın ani değerleri olup  $V_n$  ve  $I_n$  değerleri n. harmonik mertebesi için akım ve gerilimin efektif değerleridir. Harmonikli gerilim ve harmonikli akımların efektif değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. Harmonikli gerilimin efektif değeri olarak,

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int V^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (3)$$

harmonikli akımın efektif değeri ise

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int i^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanabilir. Harmonikli sistemlerde dalga şeklinin tam bir sinüs dalgasından sapmasını tespit amacıyla  $THD_I$  ve  $THD_V$  değerleri kullanılmaktadır (4-6).  $THD_I$  ve  $THD_V$  aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanabilir.

Toplam akım harmonik distorsiyonu,

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (5)$$

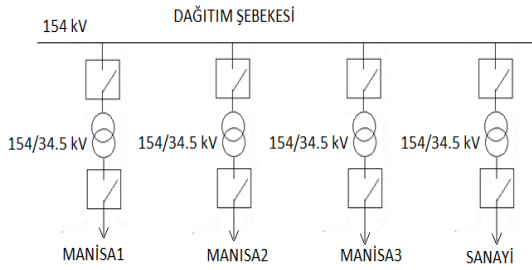
şeklinde, toplam gerilim harmonik distorsiyonu ise

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (6)$$

Olarak tanımlanabilir. Harmonik akımlar elektrik sisteminin empedansı üzerinde gerilim düşümlerine neden olurlar. Bu gerilim düşümleri temel bileşen gerilimi üzerine ilave edilerek, gerilimde bozulmalara ve efektif gerilimin artmasına neden olmaktadır. Enerji sisteminden sinüs biçimli olmayan akımlar (harmonikli akımlar) çekilmesi gerilim dalga şeklinin de bozulmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla enerji kalitesi bozulmakta, sistemde rezonans riski artmaktadır. Bu nedenle çalışma akım harmonikleri üzerine yoğunlaşmıştır. İleriki bölümlerde test sistemi tanıtılıp analiz sonuçları verilecektir

### 3.GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİK ÖLÇÜMLERİ

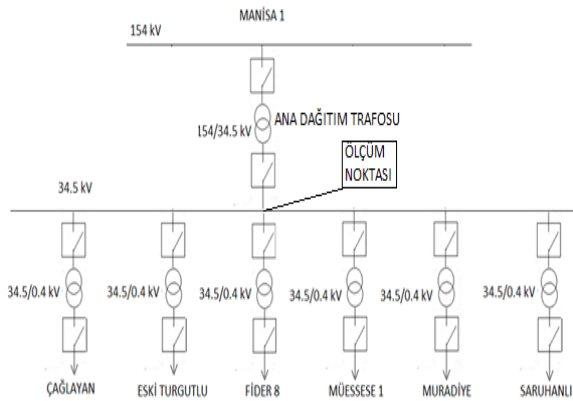
Manisa'nın enerji dağıtım şebekesi birden fazla trafo merkezinden beslenmektedir. Dağıtım şebekesi giriş gerilimi 154 kV'tur. 154/34.5 kV'luk indirici transformatörler kullanılarak gerilim 34.5 kV'a çevrilerek tali dağıtım baralarına verilmektedir.  $THD_I$  değerleri bu indirici trafoların 34.5 kV'luk kısmından ölçülmüştür. Yerleşim bölgesinden ve Sanayi bölgesinden ölçülen  $THD_I$  değerleri YSA modelinde kullanılarak harmonik tahminleri yapılmıştır. Ölçümü yapılan dağıtım şebekesinin tek hat şeması Şekil 1'de sunulmuştur. Yerleşim alanlarında yapılan  $THD_I$  ölçümleri 1. Kısımda, Sanayi bölgesinde yapılan  $THD_I$  ölçümleri 2. Kısımda verilmiştir.



Şekil 1- Dağıtım şebekesinin tek hat şeması

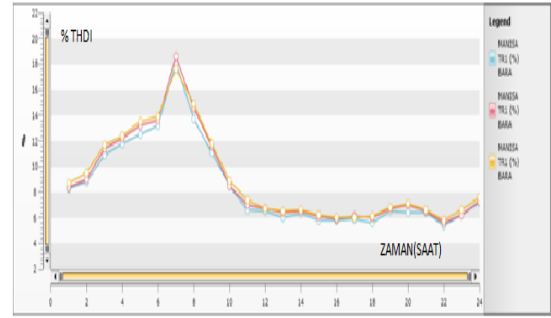
### 3.1 Yerleşim Alanlarında Harmonik Ölçümleri

Yerleşim alanları için kullanılan dağıtım şebekesinin tek hat şeması şekil 2’de gösterilmiştir. Manisa1 dağıtım hattına 6 farklı besleme hattı bağlanmıştır. Ana dağıtım trafosu gerilimi 154 kV’tan 34.5 kV’a, tali dağıtım trafosu da 34.5 kV’tan 400 V’a çevirmektedir. Harmonik ölçümleri Ana dağıtım trafosunun 34.5 kV’luk kısmında yapılmıştır. Alınan bu  $THD_I$  değerleri YSA modelinde eğitime ve test amaçlı olarak kullanılmıştır. Yapılan ölçümler 24 saatlik zaman dilimlerinde yük akımı ve  $THD_I$  olarak kaydedilmiştir.

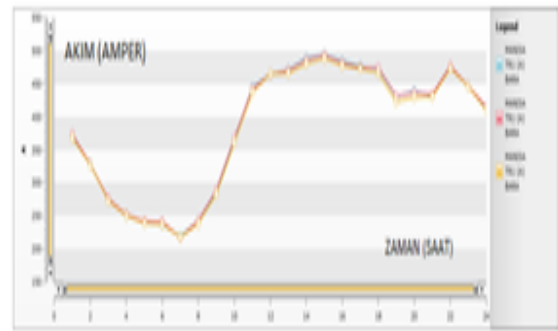


Şekil 2. Yerleşim alanı dağıtım şebekesi tek hat şeması

Yerleşim alanları için yapılan yük akımı ve  $THD_I$  ölçümleri Şekil 3 ve 4’te grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 3. %  $THD_I$  değerleri

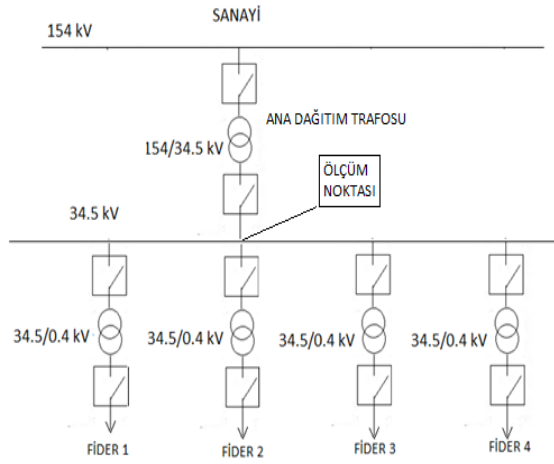
Manisa1’den ölçülen akım harmoniklerini Şekil 3’te gösterilmiştir. Akım harmonikleri %19 seviyelerine çıkmaktadır. Gün ortasında akım değerleri yükselmekte, gece yarısından sonra ise azalmaktadır.



Şekil 4. Yükün akım değerleri

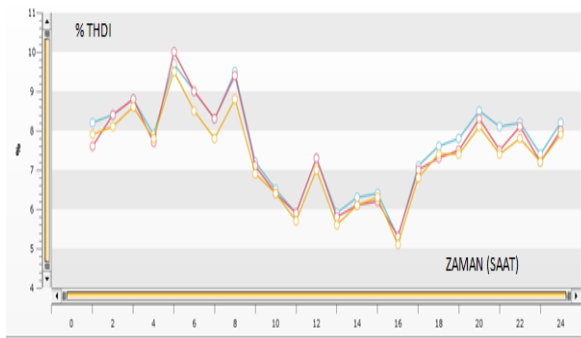
### 3.2 Orta Ölçekli Sanayi Bölgesindeki Harmonik Ölçümleri

Orta ölçekli sanayi bölgesi için kullanılan dağıtım şebekesinin tek hat şeması şekil 5’te gösterilmiştir. Sanayi dağıtım hattına 4 farklı besleme hattı bağlanmıştır. Ana dağıtım trafosu gerilimi 154 kV’tan 34.5 kV’a, tali dağıtım trafosu da 34.5 kV’tan 400 V’a çevirmektedir. Harmonik ölçümleri Ana dağıtım trafosunun 34.5 kV kısmında yapılmıştır. Alınan  $THD_I$  değerleri YSA modelinde eğitime ve test amaçlı olarak kullanılmıştır. Yapılan ölçümler 24 saatlik zaman dilimlerinde yük akımı ve  $THD_I$  olarak kaydedilmiştir.



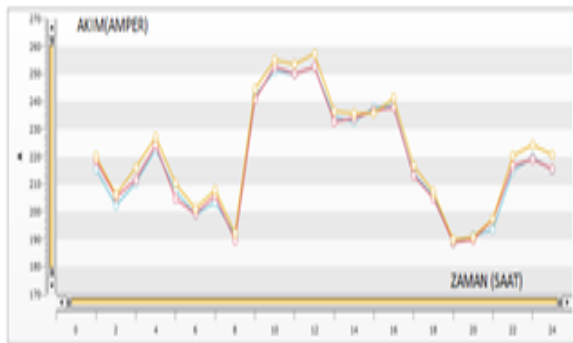
Şekil 5. Sanayi bölgesi dağıtım şebekesi tek hat şeması

Orta ölçekli sanayideki ölçülen harmonik akım değerleri ve yük akım değerleri Şekil 6 ve 7’de grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6. %  $THD_I$  değerleri

Şekil 6’den görüleceği üzere ölçülen akım harmonikleri %10 seviyelerine çıkmaktadır.



Şekil 7. Yük Akım değerleri  
Ölçülen yük akım değerleri Şekil 7’de sunulmuştur. Akım değerleri 24 saat içerisinde

190 A ile 260 A arasında değişen değerler almıştır.

Bölüm I ve II’de verilen yük akımı ve  $THD_I$  değerleri oluşturulan YSA modelini eğitmek ve test etmek amacı ile simülasyonlarda kullanılmıştır. Bölüm IV’te Simülasyon kısmında tahmin için oluşturulan YSA modelinin kısımları, özellikleri, kullanım alanları ve YSA modelinden elde edilen  $THD_I$  tahmin sonuçları gösterilmiştir.

#### 4. SİMULASYON

YSA temel olarak, girdi örneği ile birlikte ağı sunulmak üzere sistemin istenen çıktısını gerektiren denetimli öğrenme stratejisini kullanır. Öğrenme mekanizması, ağı gerçek ve istenen çıktıları arasındaki hatayı en azlayan iteratif *Gradient Descent* yöntemine dayanır. Bir katmandaki her işlem elemanı alt katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Aynı zamanda, aynı katmandaki işlem elemanları arasında da hiçbir bağlantı yoktur. Girdi katmanı dışındaki katmanlar bilgi işlemekten sorumludur [21].

YSA’larda nöronların davranışını belirleyen en önemli özellikler nöronun aktivasyon fonksiyonudur. Yapay sinir ağları üç kısımdan oluşur.

1. Giriş Katmanı (Input Layer)
2. Gizli Katman (Hidden Layer)
3. Çıkış Katmanı (Output Layer)

Tahmin edilecek olan parametreye göre giriş nöron sayısı, gizli(orta) katman sayısı ve çıkış nöron sayıları belirlenir. Girdi katmanında bulunan nöronlar sisteme girecek olan verileri alırlar ve gizli katman nöronlarına gönderirler. Tahmin amaçlı kullanılan YSA’larda en önemli performans göstergesi tahminin doğruluğudur. Makridakis ve diğerlerine göre sıklıkla kullanılan hata değerleri aşağıdaki formüllerle tespit edilmiştir. Y gerçek gözlem değerini, F de modelin ürettiği değeri göstermek üzere [22] , [15],

Tahmin Hatası

$$e=Y-F \quad (7)$$

şeklinde, ortalama hata ise

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i \quad (8)$$

Olarak ifade edilebilir. Ortalama mutlak hata

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (9)$$

şeklinde, yüzde hata ise

$$\frac{e_t}{Y_t} * 100 \quad (10)$$

olarak yazılabilir.

YSA, tahminlerde, doğrusal modellerden çok daha iyi sonuç vermektedir (Gonzales ,2000) [23]. Yapılan çalışmada YSA modeli için MATLAB programı kullanılmıştır. Programda, YSA olarak newff fonksiyonu, nöron aktivasyon elemanı olarak tansig ve purelin kullanılmıştır. Simülasyonlar ise ‘‘Sim’’ fonksiyonu ile gerçekleştirilmektedir. Yerleşim yerleri ve sanayiden alınan ölçümler ile YSA’dan alınan  $THD_I$  tahmin sonuçları bir sonraki alt bölümde çizelge halinde sunulmuştur.

#### 4.1 Yerleşim Bölgeleri

Yerleşim bölgelerinden ölçülmüş olan yük akımı ve  $THD_I$  değerleri çizelge’de gösterilmiştir. Bu değerlerden 1 ile 14 arasındaki veriler YSA’yı eğitmek için, 15 ile 25 arasındaki veriler test amacı ile kullanılmıştır. YSA modelinde  $I_L$  değerleri giriş olarak,  $THD_I$  değerleri ise çıkış olarak kullanılmıştır.  $THD_I$  değerleri bu model üzerinden tahmin edilmiştir.

Çizelge 1. Yük Akımı ( $I_L$ ) ve  $THD_I$  değerleri

ÖLÇÜM SIRA NO	YÜK AKIMI ( $I_L$ )	ÖLÇÜLEN $THD_I$
1	370	8,4
2	330	8,7
3	270	11,2
4	250	12
5	240	13
6	220	18
7	290	11,8
8	365	8,8
9	447	7
10	465	6,8
11	470	6,6
12	480	6,7
13	490	6
14	475	5,8
15	238	13,8
16	465	6,2
17	425	7
18	440	7,1
19	477	5,8
20	448	6,8
21	410	7,8
22	360	9
23	260	12,2
24	300	11,8
25	380	8,4

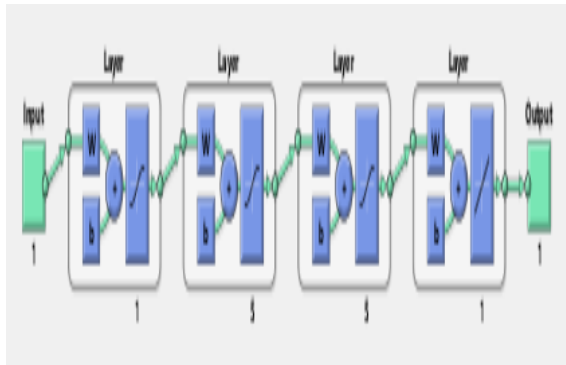
Yerleşim bölgesinin YSA modelini oluşturmak amacı ile yapılan denemeler sonucunda 2 gizli katmanlı YSA’nın,  $THD_I$  tahminleri için en uygun değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle Yerleşim bölgeleri için 1 girişli, 2 gizli katmanlı, 1 çıkışlı YSA modeli kullanılmıştır. Gizli katmanlarda 5’er adet nöron kullanılmıştır. YSA modeli 227 iterasyonda istenilen hata oranı olan 1.00 e-15 değerine ulaşmakta ve girilen değerlere göre tahmini  $THD_I$  değerlerini vermektedir. Oluşturulan

YSA modelinin parametre değerleri çizelge 2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.**  $THD_I$  tahmini için oluşturulan YSA’nın parametreleri

Parametre	Değer
Giriş katmanı nöron sayısı	1
Çıkış katmanı nöron sayısı	1
Gizli Katman sayısı	2
1. Katmandaki nöron sayısı	5
2. Katmandaki nöron sayısı	5
1. Katman aktivasyon fonksiyonu	tansig
2. Katman aktivasyon fonksiyonu	tansig
Maksimum iterasyon sayısı	3500
Hata limiti	1.00e-15

YSA modeli Şekil 8’ de görülmektedir. Şekil 8’den görüldüğü gibi, model 1 girişli, 2 gizli katmanlı, 1 çıkışlı katmanlardan oluşmuştur. YSA modelinin her bir gizli katmanındaki nöronlar kendi aralarında bir bağlantı olmadan diğer katmandaki nöronlarla bağlantı kurmaktadır. Oluşturulan bu model  $THD_I$  değerlerini tahmini olarak hesaplayabilmektedir.

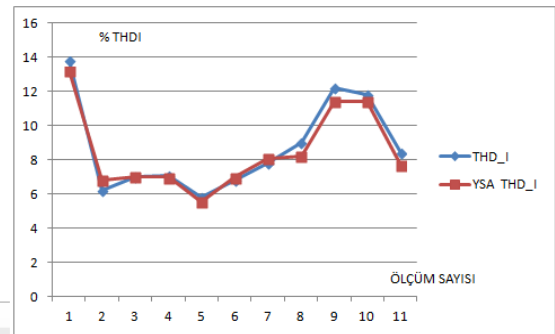


**Şekil 8.** 1 girişli, 2 gizli katmanlı, 1 çıkışlı YSA modeli

**Çizelge 3.** % hata, ölçülen  $THD_I$ , tahmin edilen  $THD_I$  değerleri

ÖLÇÜM SIRA NO	ÖLÇÜLEN $THD_I$	TAHMİN EDİLEN $THD_I$	% $THD_I$
15	13,8	13,2	4,54
16	6,2	6,8	8,82
17	7	7,01	0,14
18	7,1	6,99	1,57
19	5,8	5,53	4,88
20	6,8	6,99	2,71
21	7,8	8,08	3,46
22	9	8,2	9,75
23	12,2	11,44	6,64
24	11,8	11,42	3,32
25	8,4	7,7	9,09

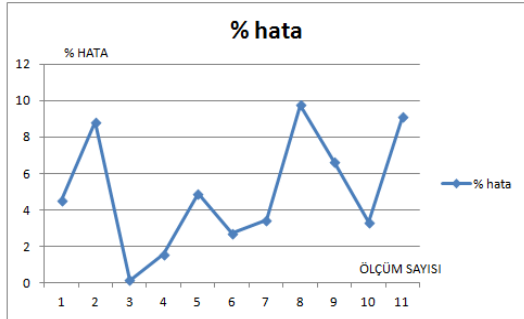
Çizelge 3’te % hata, ölçülen  $THD_I$ , YSA ile tahmin edilen  $THD_I$  değerlerini gösterilmektedir. Bu çizelgede ki  $THD_I$  değerleri YSA’yı test etmek amaçlı kullanılan değerlerdir. % hata değeri, ölçülmüş olan  $THD_I$  değeri ile YSA modeli kullanılarak tahmin edilen  $THD_I$  ( YSA  $THD_I$ ) arasındaki farkın yüzde olarak ifadesidir.



**Şekil 9.** Ölçülen  $THD_I$  ve YSA ile tahmin edilen  $THD_I$  değerleri

Şekil 9 Ölçülen  $THD_I$  ve YSA ile tahmin edilen  $THD_I$  değerlerini göstermektedir. Bu şekildeki 1-11 arası değerler, çizelge 2’deki 15-25 arası değerler olup oluşturulan YSA modelinde, test amaçlı olarak kullanılmıştır.

ysa ile tahmin edilen  $THD_I$  eğerleri ölçülen  $THD_I$  değerlerine yakın tahmin edilmiştir.



Şekil 10. Ölçülen  $THD_I$  ve YSA ile tahmin edilen  $THD_I$  değerleri için % hata grafiği

Şekil 10  $THD_I$  ve YSA  $THD_I$  değerleri için % hata grafiğini göstermektedir. 1. tahmindeki hata değeri %4.54'tür. Daha sonra hata değeri artarak %8.4 değerine ulaşmıştır. 3. tahminde hata değeri %0'a düşmüştür. 4. ve 5. tahminlerde hata değeri tekrar artarak sırasıyla %1.5 ve %4.8 değerlerine ulaşmıştır. 6. tahminde %2.7 ye düşmüştür. 7 ve 8. tahminlerde hata değerleri sırası ile %3.4 ve hatanın en yüksek olduğu %9.75 değerlerini almıştır. Daha sonra hata değeri 9. tahminde %6.6, 10. tahminde %3.3 ve 11. tahminde %9 değerlerini almıştır. Test verileri içerisinde en yüksek hata 9 numaralı tahmindeki %9.75 değeridir. Test verileri içerisinde en düşük hata 3 numaralı tahmindeki %0.14 değeridir. Ortalama hata %4,99'dur. Bu da tahminlerin % 95.01'lik doğruluk oranı ile yapıldığını göstermektedir.

#### 4.2 Sanayi Bölgesi

Sanayi bölgesinde ölçülen 3 fazlı akım ve  $THD_I$  değerleri çizelge 3'te gösterilmiştir. Bu değerler YSA'yı eğitmek amacı ile kullanılmıştır. Yük akımı  $[(I)_L]$  değerleri YSA modelinde giriş olarak,  $THD_I$  değerleri de çıkış olarak kullanılmıştır. YSA modeli  $THD_I$  değerlerini tahmin etmek için kullanılmıştır.

Çizelge 4. 3 Fazlı Sistem için Yük Akımı  $[(I)_L]$  ve  $THD_I$  değerleri

ÖLÇÜM SIRA NO	1. FAZA AİT YÜK AKIMI I_LN 1	2. FAZA AİT YÜK AKIMI I_LN 2	3. FAZA AİT YÜK AKIMI I_LN 3	ÖLÇÜLEN THD_I 1	ÖLÇÜLEN THD_I 2	ÖLÇÜLEN THD_I 3
1	215,4	218,4	220,1	8,2	7,6	7,9
2	202,2	205,4	206,2	8,4	8,4	8,1
3	210,5	211,6	216,1	8,8	8,8	8,6
4	222,6	224,2	227	7,9	7,7	7,8
5	207,4	204,7	210,3	9,7	10	9,5
6	199	199,2	201	9	9	8,5
7	203,3	205,8	207,8	8,3	8,3	7,8
8	191,6	189,5	192,2	9,5	9,4	8,8
9	241,8	240,6	244,5	7,2	7,1	6,9
10	251,1	252,6	255	6,5	6,4	6,4
11	249,8	249,9	253,4	5,9	5,9	5,7
12	252,6	252,6	257,3	7,3	7,3	7
13	234,2	232,6	236,5	5,9	5,8	5,6
14	232,7	233,9	235,7	6,3	6,1	6,1
15	237,7	236,5	235,8	6,4	6,2	6,3
16	238,5	237,8	241,1	5,3	5,3	5,1
17	213,7	213,1	216,7	7,1	7	6,8
18	205,9	205	207,2	7,6	7,3	7,4
19	191,1	189,8	190,8	8,5	8,3	8,1
20	193,5	197,2	197,4	8,1	7,5	7,4
21	214,8	216,6	220,2	8,2	8,1	7,8
22	219,7	219	224,2	7,4	7,2	7,2
23	215,1	215,4	220,6	8,2	8	7,9

Çizelge 4'teki 3 faza ait ölçülen yük akımı  $[(I)_L]$  ve  $THD_I$  ölçümlerinden 1 ile 15 arası veriler eğitime amaçlı, 16 ile 23 arası ise test amaçlı kullanılarak, YSA modeli oluşturulmuş ve test edilmiştir.

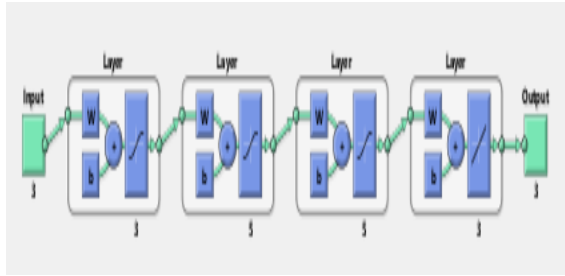
YSA modelini oluşturmak amacı ile yapılan denemeler sonucunda 2 gizli katmanlı YSA  $THD_I$  tahmin modelinin en yakın tahminleri verdiği belirlenmiştir. Bu nedenle Sanayi tipi



yüklerde, Şekil 11’de görülen, 3 girişli , 2 gizli katmanlı, 3 çıkışlı YSA kullanılmıştır. Gizli katmanlarda 5’er adet nöron kullanılmıştır. YSA modeli 730 iterasyon’da istenilen hata oranı olan 1.00 e-15 değerine ulaşmakta ve girilen değerlere göre tahmini  $THD_i$  değerlerini vermektedir. Oluşturulan YSA modelinin parametre değerleri Çizelge 5’te gösterilmektedir.

Çizelge 5.  $THD_i$  tahmini için oluşturulan YSA’nın parametreleri

Parametre	Değer
Giriş katmanı nöron sayısı	3
Çıkış katmanı nöron sayısı	3
Gizli Katman sayısı	2
1. Katmandaki nöron sayısı	5
2. Katmandaki nöron sayısı	5
1. Katman aktivasyon fonksiyonu	tansig
2. Katman aktivasyon fonksiyonu	tansig
Maksimum iterasyon sayısı	1000
Hata limiti	1.00e-15



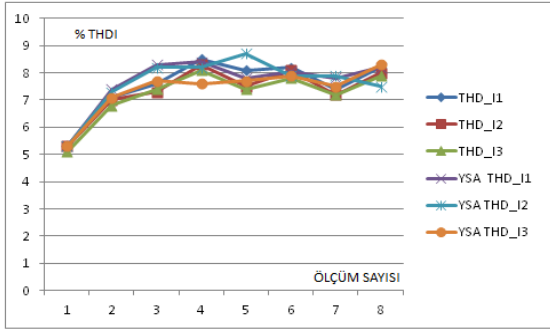
Şekil 11. 3 girişli, 2 gizli katmanlı, 3 çıkışlı YSA modeli

Şekil 11’de YSA  $THD_i$  tahmin modelinin şekli görülmektedir. Şekil’den görüldüğü gibi 2 gizli katmanlı bir YSA modeli oluşturulmuştur. YSA  $THD_i$  tahmin modelinin her bir gizli katmanlarındaki nöronlar kendi aralarında bir bağlantı olmadan diğer katmandaki nöronlarla bağlantı kurmaktadır. Oluşan bu modelden  $THD_i$  tahminleri yapılmaktadır.

Çizelge 6. % hata, ölçülen  $THD_i$ , tahmin edilen  $THD_i$  değerleri

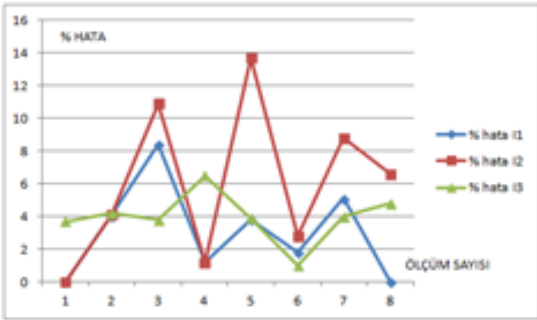
ÖLÇÜM SIRA NO	ÖLÇÜLEN $THD_{I1}$	ÖLÇÜLEN $THD_{I2}$	ÖLÇÜLEN $THD_{I3}$	TAHMİN EDİLEN $THD_{I1}$	TAHMİN EDİLEN $THD_{I2}$	TAHMİN EDİLEN $THD_{I3}$	YÜZDE HATA $THD_{I1}$	YÜZDE HATA $THD_{I2}$	YÜZDE HATA $THD_{I3}$
16	5,3	5,3	5,1	5,3	5,3	5,3	0	0	3,7
17	7,1	7	6,8	7,4	7,3	7,1	4,1	4,1	4,2
18	7,6	7,3	7,4	8,3	8,2	7,7	8,4	11	3,8
19	8,5	8,3	8,1	8,4	8,2	7,6	1,2	1,2	6,5
20	8,1	7,5	7,4	7,8	8,7	7,7	3,8	14	3,9
21	8,2	8,1	7,8	8,1	7,9	7,88	1,8	2,8	1
22	7,4	7,2	7,2	7,8	7,9	7,5	5,1	8,8	4
23	8,2	8	7,9	8,2	7,5	8,3	0	6,6	4,8

Çizelge 6’da % hata, ölçülen  $THD_i$ , YSA ile tahmin edilen  $THD_i$  değerleri gösterilmektedir. Bu çizelgedeki  $THD_{I1}$ ,  $THD_{I2}$ ,  $THD_{I3}$  değerleri YSA’yı test etmek amaçlı kullanılan değerlerdir. Çizelge 4’teki giriş akım  $[I]_L$  değerleri YSA modelinde kullanılarak, elde edilen  $THD_{I1}$ ,  $THD_{I2}$ ,  $THD_{I3}$  değerleri çizelge 6’da sunulmuştur. % hata değeri gerçek  $THD_{I1}$ ,  $THD_{I2}$ ,  $THD_{I3}$  değerleri ile YSA modeli kullanılarak bulunan  $THD_i$  (YSA  $THD_{I1}$ , YSA  $THD_{I2}$ , YSA  $THD_{I3}$ ) arasındaki farkın yüzde olarak ifadesidir.



Şekil 12. Ölçülen  $THD_1$  ve YSA ile tahmin edilen  $THD_1$  değerleri

3 fazlı sanayi tipi yükler için ölçülen  $THD_1$  ve oluşturulan YSA ile tahmin edilen  $THD_1$  değerleri Şekil 12’de gösterilmiştir. Bu şekildeki 1-8 arası değerler çizelge 6’daki 16-23 arası değerler olup oluşturulan YSA modelinde test amaçlı kullanılmıştır



Şekil 13. 3 Fazlı sistem için ölçülen  $THD_1$  ve YSA ile tahmin edilen  $THD_1$  değerleri için % hata grafiği

3 Fazlı sistem için ölçülen  $THD_1$  ve YSA ile tahmin edilen  $THD_1$  değerleri için % hata grafiği Şekil 13 ‘te gösterilmiştir.  $THD_1$  için 1. tahmindeki hata değeri 0’dır. Daha sonra hata değeri artarak 4 ve 8 değerlerine ulaşmıştır. 4. tahminde hata değeri 1’e inmiştir. Daha sonra hata değeri 3.8, 1.8 ve 5.1 değerlerini almıştır. 8. tahminde hata değeri 0 bulunmuştur.

$THD_2$  için 1. tahmindeki hata değeri 0’dır. Daha sonra hata değeri artarak 4 ve 11 değerlerine ulaşmıştır. Daha sonra hata değeri 1’e düşmüştür. Hata değeri maksimum değerine 5. tahminde ulaşmıştır ve 14 değerini almıştır. Bundan sonra tahminler için hata

değeri sırası ile 2.8, 8.8, 6.6 değerlerini almıştır.

$THD_3$  için 1. tahmindeki hata değeri 3.7’dir. Daha sonra hata değerinde çok az artma ve azalmalar meydana gelmiştir. Hata değeri maksimum olan 6.5 değerine 4. tahminde ulaşmıştır. Daha sonra hata değeri sırası ile 3.9 ve 1 değerlerine düşmüştür. Bundan sonra hata değeri artmıştır ve önce 4 daha sonrada 4.8 değerlerine 7. ve 8. Tahminlerde ulaşmıştır.

Test verileri içerisinde en yüksek hata 3 numaralı tahmindeki 8.4 değeridir. Test verileri içerisinde en düşük hata 1 ve 8 numaralı tahminlerdeki 0 değeridir.  $THD_1$  için ortalama hata 3,04’tür. Bu da  $THD_1$  tahminlerinin % 95.01’lik doğruluk oranı ile yapıldığını göstermektedir.

Test verileri içerisinde en yüksek hata 5 numaralı tahmindeki 13.7 değeridir. Test verileri içerisinde en düşük hata 1 numaralı tahmindeki 0 değeridir.  $THD_2$  için ortalama hata 6,01’dir. Bu da  $THD_2$  tahminlerinin % 94’lük doğruluk oranı ile yapıldığını göstermektedir.

Test verileri içerisinde en yüksek hata 6 numaralı tahmindeki 6.5 değeridir. Test verileri içerisinde en düşük hata 6 numaralı tahmindeki 1.01 değeridir.  $THD_3$  için ortalama hata 3,98’dir. Bu da  $THD_3$  tahminlerinin % 96’lık doğruluk oranı ile yapıldığını göstermektedir.

## 5. SONUÇ

Harmonikler güç kalitesini etkileyen faktörlerden birisidir. Özellikle dağıtım şebekelerinde harmonik analizi ve tahmini çok önemlidir. Harmonik bozulmalardan ötürü kayıplar ve çeşitli arızalar meydana gelmektedir. Bu tip etkilerinden dolayı harmonikler enerji kalitesini olumsuz etkilemektedir. Harmonik tahmini için çeşitli yöntemler literatürde önerilmiştir. Bu çalışmada gerçek bir dağıtım hattından alınan veriler kullanılarak, dağıtım hatlarında olabilecek harmonik  $THD_1$  değerleri, YSA modeli ile tespit edilmiştir. YSA’lar kullanılarak yapılan

analizlerden  $THD_1$  tahminlerinin hassasiyetinin yüksek olduğu görülmüştür. Önerilen bu yöntem ile harmonikler önceden tahmin edilerek güç kalitesi iyileştirmesi yapılabilir. Enerji dağıtım sisteminden ölçülen değerler YSA'yı eğitmek ve test etmek amacı ile kullanılmıştır. Yerleşim ve sanayi bölgelerindeki değerler kullanılarak oluşturulan YSA modellerinin  $THD_1$  tahminlerinin gerçek  $THD_1$  değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Buda önerilen yöntemin  $THD_1$  tahminleri için kullanılabilirliğini göstermektedir. Tahmin edilen bu  $THD_1$  değerlerine göre gerekli filtre parametrelerinin tespit edilmesine yardımcı olabilir. Bu sayede harmonik değerleri düşürülerek enerji kalitesinde önemli bir artış sağlanabilir. Önerilen YSA  $THD_1$  tahmin modeli ile enerji dağıtım sistemleri planlaması yapılırken güç kalitesini arttıracak ekipmanlar önceden seçilebilir. YSA  $THD_1$  tahmin modeli, başka sistemlerde de  $THD_1$  tahmini amacı ile kullanılabilir.

## Kaynaklar

- [1] V.E. Wagner et al. , "Effects of harmonics on equipment," IEEE Trans. Power Del., vol. 8, no. 2, pp. 672-680, 1993.
- [2] R. Yacamini, "Power system harmonics: Part 3. Problems caused by distorted supplies," Power Engineering Journal, vol. 9, no. 5, pp. 233-238, 1995.
- [3] J. Arrillaga and N. R. Watson, Power System Harmonics.: John Wiley & Sons, 2003.
- [4] IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters, ANSIIEEE Std. 519-1981, 1981.
- [5] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Std. 519-1992, 1992.
- [6] Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current Less than i6 A Per Phase), IEC Std. 61000-3-2, 2005.
- [7] Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-Voltage Power Supply Systems for Equipment with Rated Current Greater than i 6 A, IEC Std. 61000-3-4, 1998.

- [8] U.Arumugam ,N.M. Nor,M.F. Abdullah "A Brief on Advances of Harmonic State Estimation Techniques in Power Systems." International Journal of information and Electronics Engineering Vol.1,No.3,November 2011
- [9] Sachin K. Jain and S. N. Singh, "Harmonics Estimation in Emerging Power System: Key Issues and Challenges," Electr. Power Syst. Res., vol.1.81, pp. 1754-1766,2011.
- [10] HuaOuyang,Jialin Wang " Power System Transient Signal Analysis based on Prony Algorithm and neural network," IEEE PES ISGT ASIA 2012 1569605083
- [11] Wang Li,Wang Xiao-hua ,'' Application Of Neural Network In Power System Inter\_Harmonic Dedection '' 978-0-7695-4360-4/10 2010 IEEE
- [12]Ibrahim El-Amin, Ihab Arafah '' Artificial Neural Network for Power System \_Harmonic Estimation'' 0-7803-5105-3/98 1998 IEEE
- [13]Sachin K. Jain ,D.Saxena,S.N. Singh ''Adaptive Wavelet Neural Network Based Harmonic Estimation Single –Phase Systems'' 978-1-4673-6008-1 2012 IEEE
- [14] Yalçınöz T. , Erdem S. , Eminoğlu U. , "Yapay sinir ağları ile Niğde Bölgesinin elektrik yük tahmini"
- [15] Chen Ying,Lin Qingsheng "New Research on Harmonic Dedection Based Neural for Power System'' 978-0-7695-3589-4/09 2009 IEEE
- [16] H. C. Lin, "Intelligent neural network-based Dynamic power system harmonic detection," 0-7803-8610-8/04 2004 IEEE
- [17] Liu Qian-jin,Qin Si-shi, "A DFP- Neural Network Algorithm for Analysis of Power System Harmonics '' 978-1-4244-4813-5/10 2010 IEEE
- [18]Mario Oleskovicz,Marcelo A.A. Lima,Etienne Biassoto,Denis V. Coury '' Estimation of Harmonic Currents Injected by Nonlinear Loads for a Distorted Power Supply Scenario Using Artificial Neural Networks'' 978-1-1673-1943-0/12 2012 IEEE
- [19] Hsiung Cheng Lin, "Intelligent neural network-based fast power system harmonic detection," IEEE Trans. ind. Electron., vol. 54, no. 1, pp. 43-52, 2007.
- [20] KOCATEPE C. ''Elektrik tesislerinde harmonikler'', Brsen, 2.1-13,2003
- [21] Hamzaçebi C.,''Yapay Sinir Ağları'', Ekin, 4-104, 2011

[22] Makridakis S., Wheelwright,S.C.,Mc Gee,V.,  
''Forecasting:Methods and applications'' John  
Wiley & Sons, NY,3-476 1983.

Methods ,Working Paper 2000-07, Canada, 26-33,  
2000.

[23] Gonzales S.''Neural Netorks for Forecasting:A  
Complemantry Approach to Linear Regression

**Geliş Tarihi: 11.09.2014**

**Kabul Tarihi:23.12.2014**