

Çevrimiçi Harmonik Simülatörü Tasarımı The Design of Online Harmonic Simulator

*¹Fahri Vatansever and ¹Nedim Aktan Yalcin

*¹Faculty of Engineering, Electrical-Electronics Eng. Dept., Uludag University, Turkey

Özet

Enerji/güç sistemlerinde güç kalitesi önemli kavramlardandır. Güç kalitesini belirleyen faktörlerin başında da harmonikler gelmektedir. Bu nedenle harmoniklerin iyice öğrenilmesi ve kavranılması, harmonik analizinin de yüksek doğrulukta ve etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada elektrik-elektronik alanındaki kişilerin, özellikle de öğrencilerin faydalanabileceği harmonik simülatörü geliştirilmiştir. İnternet üzerinden erişilebilen ve konu anlatımlarını da içeren simülatör ile yüklenen veya tanımlanan işaretlerin harmonik analizleri; etkin, hızlı ve verimli şekilde yapılabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Harmonik analizi, web, simülatör.

Abstract

Power quality is one of fundamental concepts in the energy/power systems. Harmonics are the main factors which specify the power quality. For this reason, concept of harmonics should be learned and comprehended thoroughly and harmonic analysis should be carried out effectively and with high accuracy. In realized study, online harmonic simulator which can be utilized by people especially by students who belong to electrical-electronics field is developed. With the simulator which can be accessed through internet and also includes description of subjects, harmonic analysis of signals which can be loaded or defined to the simulator can be effectively, rapidly and efficiently performed.

Key words: Harmonic analysis, web, simulator.

1. Giriş

Gelişen teknolojiyle birlikte enerji/güç sistemlerindeki doğrusal olmayan yüklerin sayısı hızla artmaktadır. Bu durum da sistemdeki harmonikleri çoğaltmakta, dolayısıyla da güç kalitesini doğrudan etkilemektedir. Kaliteli, temiz ve verimli enerji (güç kalitesi) için ilgili harmoniklerin izlenmesi, kontrolü ve gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu nedenle enerji/güç sistemlerinde harmonik analizi son derece önemlidir. Dolayısıyla bu alanda çalışan veya bu alanda eğitim alan öğrencilerin ilgili konuları çok iyi öğrenmeleri ve kavramaları gerekir.

Herhangi bir akım veya gerilim işaretinin harmoniklerinin elde edilmesi için kullanılan temel yöntemler, Fourier dönüşümüne dayanmaktadır. Fourier dönüşümüyle ilgili işaret zaman domeninden frekans domenine aktarılarak, frekans bileşenleri bulunabilmektedir[1-2]. Ayrık Fourier dönüşümünün daha az işlemle, daha hızlı hesaplanması için değişik algoritmalar vardır. Bunların başında hızlı Fourier dönüşümü (FFT) olarak bilinen Cooley-Tukey algoritması[3-4] ve Goertzel algoritması[5] yer almaktadır. Harmonik analizi için Prony yöntemi[6-9], dalgacık dönüşümleri tabanlı çözümler[10-11] gibi alternatifler de kullanılmaktadır.

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Electrical-Electronics Eng. Dept., Uludag University, 16059, Bursa TURKEY. E-mail address: fahriv@uludag.edu.tr, Phone: +902242940905

Bu çalışmada, harmonik analizi gerçekleştirebilen yazılım/simülatör geliştirilmiştir. Çevrimiçi veya çevrimdışı çalışabilen, kullanıcı dostu arayüze sahip, etkileşimli eğitim ve uygulama aracı ile harmonik analizleri kolay ve etkin şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

2. Harmonik Analizi

Harmonik analizi, klasik olarak Fourier analizine dayanmaktadır. Fourier analizi, Fourier serileri ve dönüşümlerini içermektedir. Bütün periyodik fonksiyonlar; farklı genlik ve frekanslardaki temel trigonometrik (*Sin* ve *Cos*) fonksiyonların toplamı şeklinde (Fourier serisi) ifade edilebilmektedir (seriye açılabilir). Üç farklı gösterim biçimi olan Fourier serisi eşitlikleri ve katsayılar arasındaki ilişkiler Tablo 1'de özetlenmektedir[1-2].

Tablo 1. Fourier serisi gösterimleri

Gösterim biçimi	İfade	Katsayılar
Trigonometrik	$x(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \{a_k \cdot \text{Cos}(k\omega_0 t) + b_k \cdot \text{Sin}(k\omega_0 t)\}$	$a_0 = \frac{2}{T_0} \int_{T_0} x(t) dt$ $a_k = \frac{2}{T_0} \int_{T_0} x(t) \cdot \text{Cos}(k\omega_0 t) dt$ $b_k = \frac{2}{T_0} \int_{T_0} x(t) \cdot \text{Sin}(k\omega_0 t) dt$
Karmaşık(kompleks)	$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k \cdot e^{jk\omega_0 t}$	$c_k = \frac{1}{T_0} \int_{T_0} x(t) \cdot e^{-jk\omega_0 t} dt$
Harmonik	$x(t) = R_0 + \sum_{k=1}^{\infty} R_k \cdot \text{Cos}(k\omega_0 t + \theta_k) \text{ veya } x(t) = R_0 + \sum_{k=1}^{\infty} R_k \cdot \text{Sin}(k\omega_0 t + \theta_k)$	
	$\begin{cases} \frac{a_0}{2} = c_0 & , & a_k = c_k + c_{-k} & , & b_k = j(c_k - c_{-k}) \\ a_k = 2 \text{Re}[c_k] & , & b_k = -2 \text{Im}[c_k] \end{cases}$	$R_0 = \frac{a_0}{2} \quad , \quad R_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ $\theta_k = \text{Arctg}\left(-\frac{b_k}{a_k}\right)$

Herhangi bir $x(t)$ işaretinin Fourier ve ters Fourier dönüşümü

$$\left. \begin{aligned} X(\omega) &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt \\ x(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) \cdot e^{j\omega t} \cdot d\omega \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ile verilirken ayrık Fourier ve ters ayrık Fourier dönüşümü

$$\left. \begin{aligned} X[k] &= \sum_{m=0}^{N-1} x[m] \cdot e^{-jk\frac{2\pi}{N}m} \\ x[m] &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] \cdot e^{jk\frac{2\pi}{N}m} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

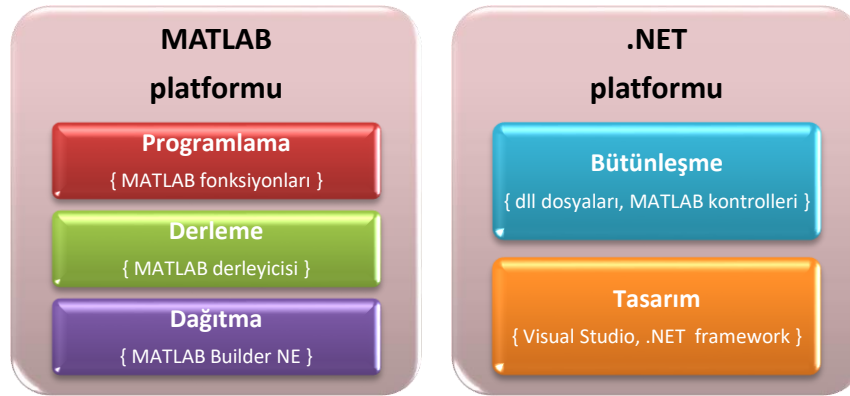
ifadeleriyle hesaplanabilmektedir. Ayrıca harmonikler için Tablo 2'deki parametreler/tanımlamalar da yapılmaktadır[1-2,12-14].

Tablo 2. İşaret/harmoniklerle ilgili bazı tanımlamalar

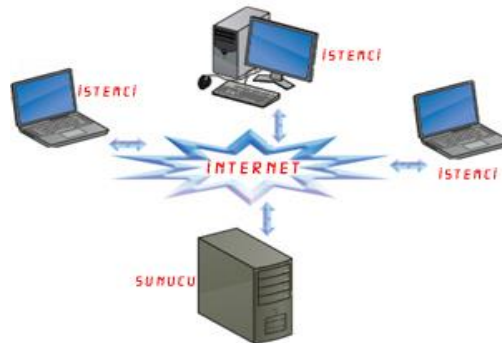
Tanımlama	İfade	Açıklama
Toplam harmonik distorsiyon (THD)	$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^N R_k^2}}{R_{1_{RMS}}}$	Temel harmonik dışındaki harmoniklerden hesaplanan RMS değerinin, temel harmoniğin RMS değerine oranıdır.
Bıçım faktörü	$BF = \frac{x_{RMS}}{R_{1_{RMS}}}$	İşaretin RMS değerinin, temel harmoniğin RMS değerine oranıdır.
Tepe faktörü	$TF = \frac{x_{max}}{x_{RMS}}$	İşaretteki maksimum ani değer (tepe değeri), işaretin RMS değerine oranıdır.

3. Geliştirilen Simülâtör ve Uygulamaları

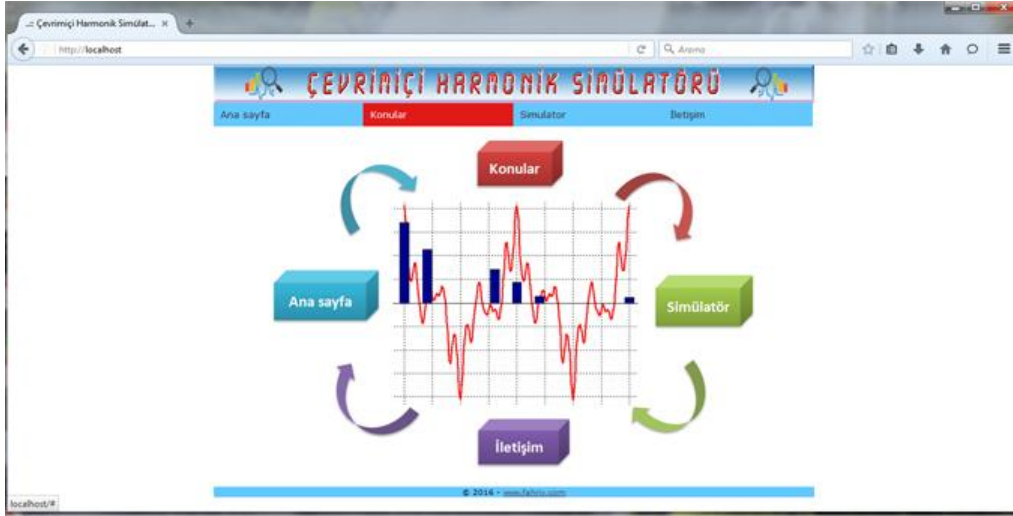
Temel olarak MATLAB®[15] kullanılarak gerçekleştirilen harmonik analizi simülâtörünün Visual Studio[16] ve ASP.NET[17] kullanılarak çevrimiçi tarafının tasarımı Şekil 1'de, yapısal mimarisi Şekil 2'de özetlenmekte ve Şekil 3-4'te sırasıyla web ana sayfası ve temel analiz ekranı verilmektedir.



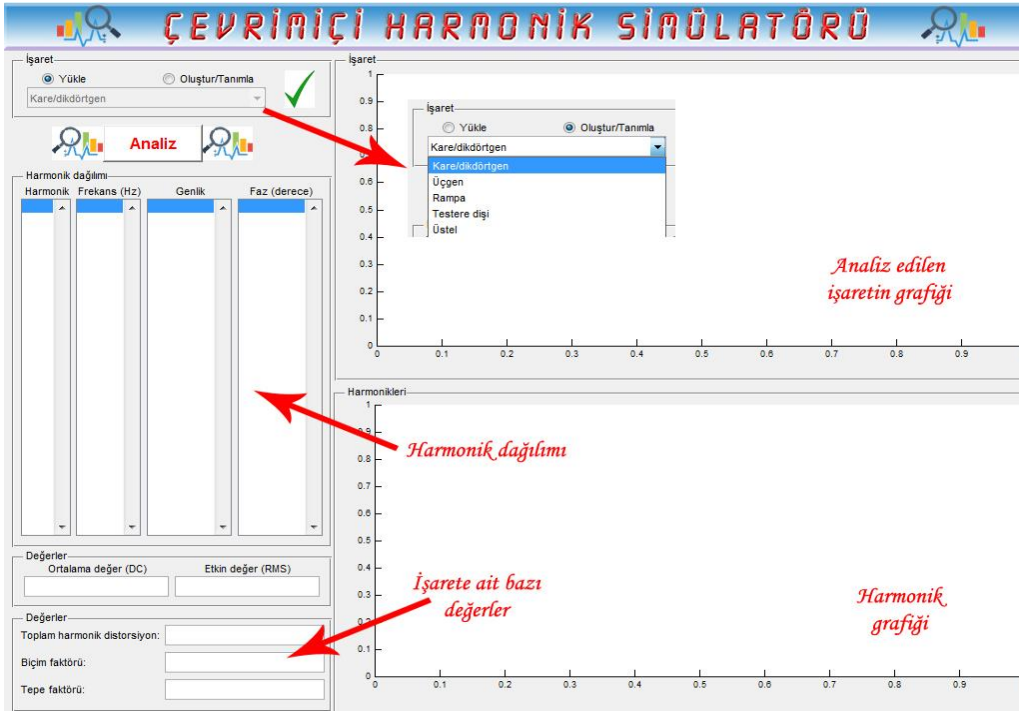
Şekil 1. Geliştirilen simülâtörün tasarım aşamaları ve kullanılan araçlar



Şekil 2. Geliştirilen simülâtörün yapısal mimarisi



Şekil 3. Geliştirilen simülasyonun web ana ekranı

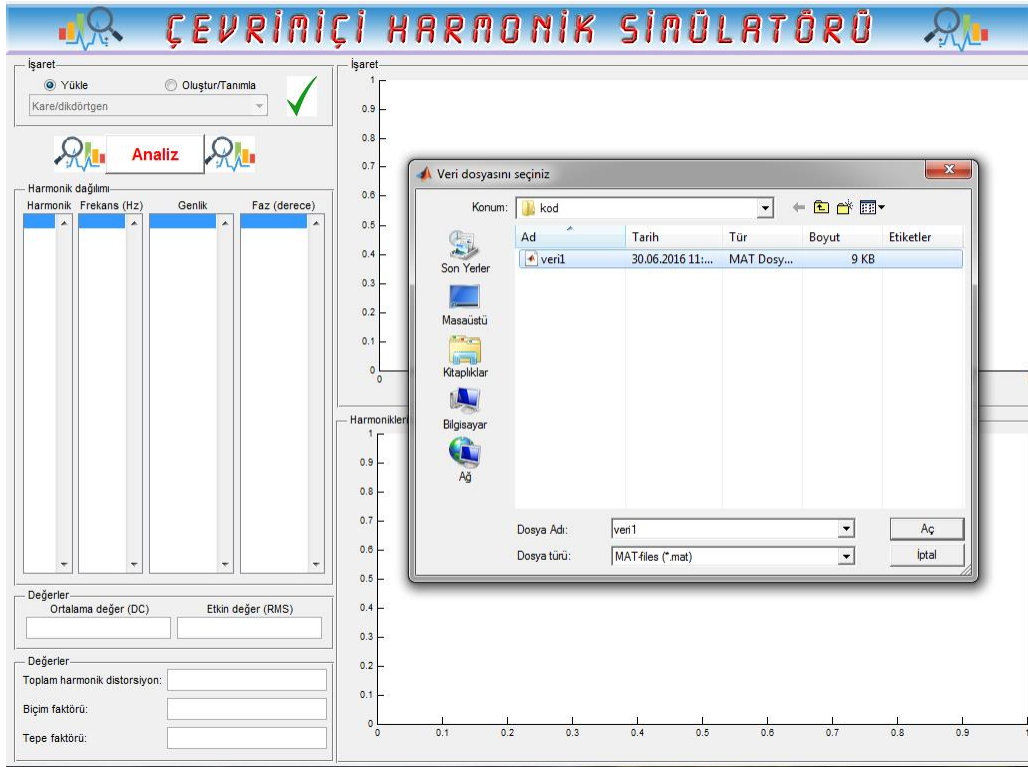


Şekil 4. Geliştirilen simülasyonun temel analiz ekranı

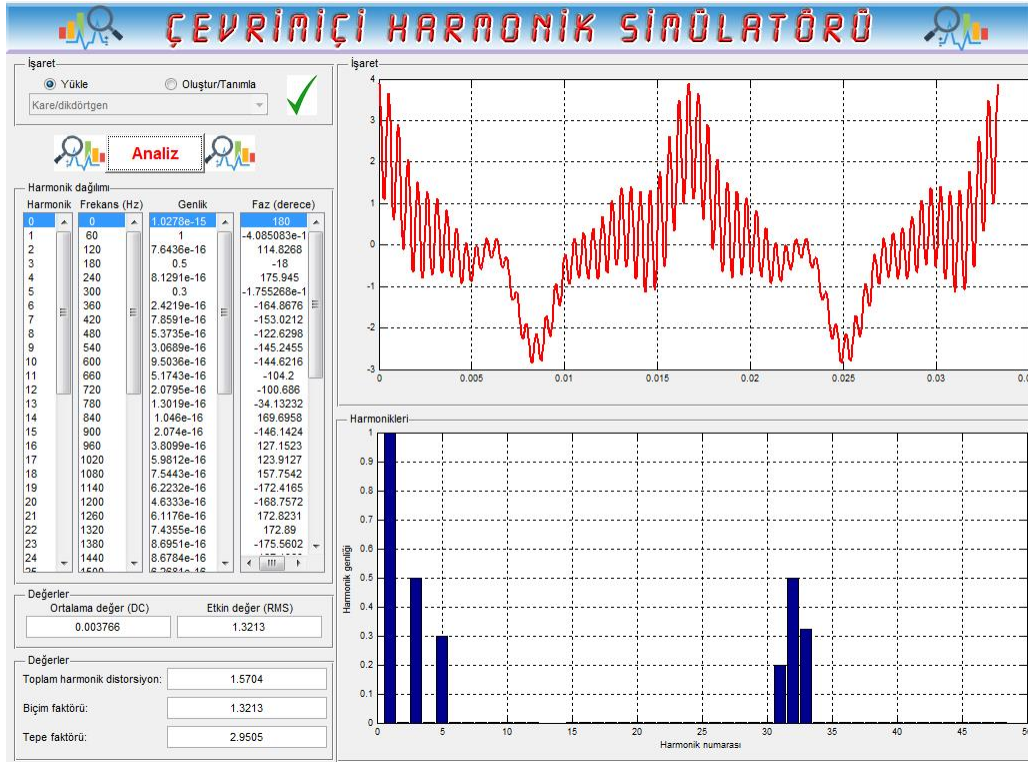
Birinci uygulama olarak

$$v(t) = \sqrt{2} \left\{ \begin{array}{l} 1.0 \cos(\omega t) + 0.5 \cos(3\omega t - 18^\circ) + 0.3 \cos(5\omega t) + \\ 0.2 \cos(31\omega t) + 0.5 \cos(32\omega t - 30^\circ) + 0.321 \cos(33\omega t) \end{array} \right\} \quad (3)$$

gerilim işaretine ait örneklenmiş değerlerin dosyadan yüklenerek analizinin sonuçları Şekil 5'te verilmektedir.



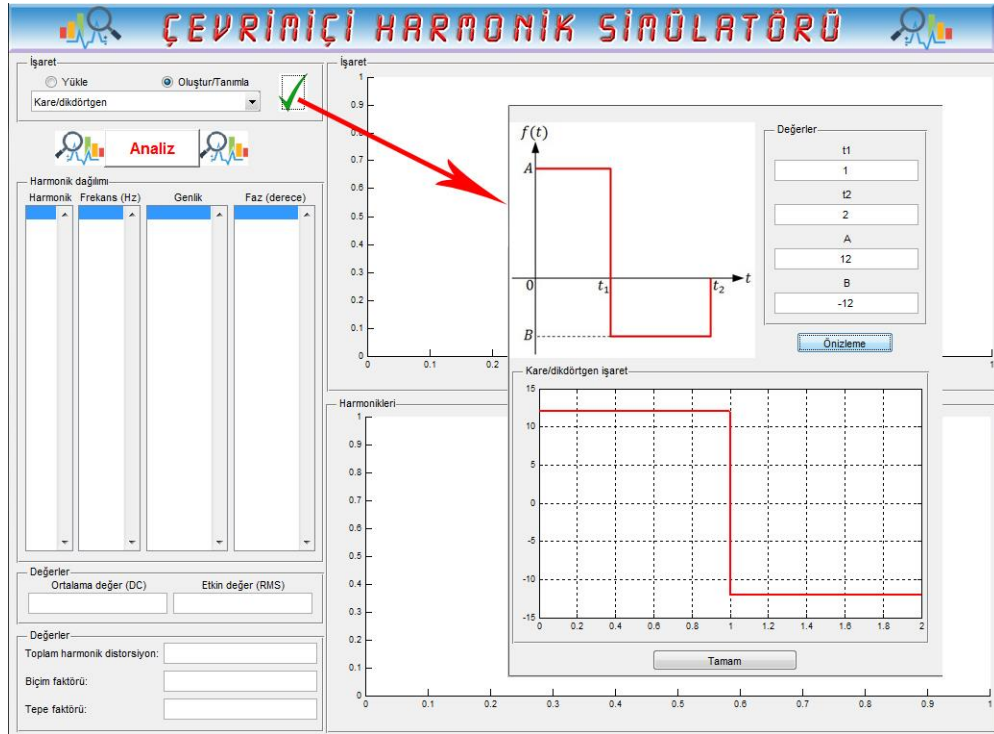
(a)



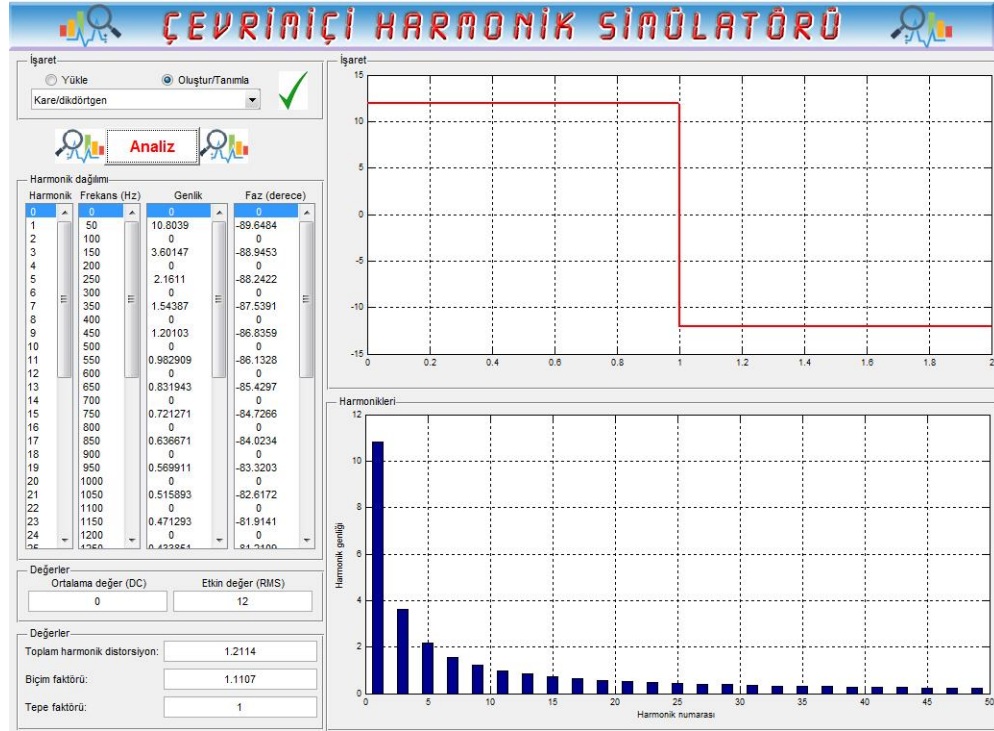
(b)

Şekil 5. Birinci uygulamaya ilişkin ekran görüntüleri

İkinci uygulama olarak bir kare dalganın analizi Şekil 6'da verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6. İkinci uygulamaya ilişkin ekran görüntüleri

4. Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada; harmonik analizi için web tabanlı çalışabilen interaktif simülatör geliştirilmiştir. Bol rneklerle destekli konu anlatımları da içeren bu simülatör ile yüklenen veya tanımlana/oluşturulan işaretlerin harmonik analizleri kolay, etkin ve hızlı bir Şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Böylece özellikle bu alanda eēitim alan kişilerin işaretleri, harmonikleri, parametre etkileri ve deēiřimlerini görsel (sayısal ve grafiksel) sonuçlarla kavramaları/ērenmeleri kolaylaşmaktadır.

Kaynaklar

- [1] A.V. Oppenheim AV, Willsky AS. Signals&Systems. 2. ed, USA: Prentice-Hall Int.Inc.; 1997.
- [2] Hsu HP. Sinyaller ve Sistemler. Ankara: Nobel Yayın Daēıtım; 2001.
- [3] Cooley JW, Tukey JW. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. Mathematics of Computation 1965; 19:297-301.
- [4] Vatansever F, Yılmaz E, Dilaveroēlu E. Fourier seri analizi için bir arayz programı", IATS'11 2011, Elazıē, Türkiye; s. 138-141.
- [5] Goertzel G. An algorithm for the evaluation of finite trigonometric series. The American Mathematical Monthly 1958; 65(1): 34-35.
- [6] Qi L, Qian L, Woodruff S, Cartes D. Prony analysis for power system transient harmonics. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2007; vol. 2007.
- [7] Lobos T, Rezmer J, Schegner P. Parameter estimation of distorted signals using Prony method. 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference 2003, Bologna, Italy.
- [8] Vatansever F, engelci B. Prony yntemiyle harmonik analizi. IATS'11 2011, Elazıē, Türkiye; s. 134-137.
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Prony%27s_method (Eriřim tarihi: Haziran 2016)
- [10] Pham VL, Wong KP. Wavelet-based transform algorithm for harmonic analysis of power system waveforms. IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. 1999; 146 (3): 249-254.
- [11] Vatansever F, Uyaroēlu Y, zdemir A. Dalgacık paket tabanlı harmonik analizi. IATS'09 2009, Karabk, Türkiye; s. 432-437.
- [12] Tolbert LM, Hollis HD, Hale PS. Survey of harmonics measurements in electrical distribution systems. IEEE IAS Annual Meeting 1996 , San Diego, CA; pp. 2333-2339.
- [13] Sankaran C. Power Quality. CRC Press LLC; 2002.
- [14] Halpin SM. Power Quality, The electric power engineering handbook. (Ed. L.L. Grigsby), CRC Press LLC; 2001.
- [15] MATLAB (2007) The MathWorks Inc.
- [16] Microsoft Visual Studio MSDN (2014) The Microsoft Co.
- [17] ASP.NET MSDN (2014) The Microsoft Co.