

GÜÇ SİSTEMİ HARMONİKLERİNİN ADAPTİF KESTİRİMİ: EĞİM DÜŞÜM TABANLI ADAPTİF ALGORİTMALARIN BAŞARIM ANALİZİ

Engin Cemal MENGÜÇ¹ (ORCID: 0000-0002-0619-549X)*

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 51245, Niğde

Geliş / Received: 25.10.2018
Kabul / Accepted: 17.12.2018

ÖZ

Bu çalışmada, güç sistemi harmoniklerinin adaptif kestirimi üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışmada adaptif kestirim algoritmaları olarak, basit hesap yükü ve gerçek zamanlı sistemlere kolaylıkla uygulanabilirliği nedeniyle literatürde yaygın kullanılan eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar kullanılmıştır. Bu algoritmalar sırasıyla en küçük ortalama kare (LMS), normalize edilmiş LMS (NLMS), İşaret-Veri LMS ve İşaret-Hata LMS algoritmalarıdır. Çalışma kapsamında, öncelikle güç sistemlerinde mevcut olan akım veya gerilim ifadelerinin bilinmeyen genlik ve faz harmonikleri bir kestirim problemi olarak ifade edilmiştir. Daha sonra ise ele alınan güç sistemi sinyalinin temel ve harmonik bileşenlerin genlik ve faz bilgileri eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar ile kestirilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen benzetimler, NLMS algoritmasının diğer üç almaya kıyasla üstün bir başarımla sergilediğini göstermiştir. Fakat yüksek hızlı veri akışının mevcut olduğu gerçek zamanlı güç sistemi uygulamalarında LMS ve NLMS algoritmalarının yerine, daha az hesap yükü içeren İşaret-Veri LMS algoritmasının kullanımının daha uygun olabileceği sonucuna ayrıca varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Eğim düşüm algoritmaları, Adaptif kestirim, Güç sistemi harmonikleri

ADAPTIVE ESTIMATION OF POWER SYSTEM HARMONICS: PERFORMANCE ANALYSIS OF GRADIENT DESCENT-BASED ADAPTIVE ALGORITHMS

ABSTRACT

In this study, adaptive estimation of power system harmonics is investigated. As adaptive estimation algorithms in the study, gradient descent based adaptive algorithms widely used in the literature are used due to its simple computational complexity and the easily applicable for real-time systems. These algorithms are least mean square LMS, normalized LMS (NLMS), Sign-Data LMS, and Sign-Error LMS algorithms, respectively. Within the scope of the study, the unknown amplitude and phase harmonics of the current or voltage expressions available in power systems are first expressed as an estimation problem. Then, the handled amplitude and phase information of the fundamental and harmonic components of the power system signal are estimated by the gradient descent based adaptive algorithms. The simulations performed in the study indicate that the NLMS algorithm shows superior performance compared to the other three algorithms. However, in real-time power system applications where the high-speed data stream is available, it is also concluded that the use of the Sign-Data LMS algorithm containing lower computational complexity will be more appropriate instead of the LMS and NLMS algorithms.

Keywords: Gradient descent algorithms, Adaptive estimation, Power system harmonics

*Corresponding author / Sorumlu Yazar. Tel. 0 388 225 40 13; e-mail / e-posta: ecmenguc@ohu.edu.tr

1. GİRİŞ

Güç sistemi alanında harmonik kestirimi önemli bir yere sahiptir. Uygulamalarda güç elektroniği elemanlarının kullanımının artması, güç sistemi sinyallerinde harmonik bozulmalara neden olmaktadır. Güç sistemlerinde harmoniklerin ana kaynağı, güç elektroniği cihazları, lineer motor sürücülerinde yaygın olarak kullanılan ark yükleri vb. durumlardır [1]. Ayrıca günümüzde, yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemlerine entegre edilmesi, dönüştürücü tabanlı bir çok güç elektroniği elemanın kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu tip durumlar, güç sistemlerinde yüksek miktarda harmonik gürültülerin oluşmasına neden olmaktadır [2, 3].

Günümüzde harmonik probleminin üstesinden gelenebilmesi için birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerin [4-8] temel görevi güç sistemlerindeki harmonikleri kestirmektir. Hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier transform (FFT)), harmonik probleminde kullanılan en temel metottur. Fakat FFT'nin uygulamalarda ki problemi, sistem frekansının sabit olmaması durumunda harmonikleri doğru kestirememesidir [8, 9]. Bu problemin çözülebilmesi için literatürde bazı metotlar geliştirilmiştir [11-13]. Örneğin [13]'de yer alan çalışmada, Kalman filtresi (Kalman filter (KF)) tabanlı harmonik kestirim yöntemi ortaya konulmuştur. Fakat KF, doğrusal olmayan ölçümleri Taylor serisi yardımıyla ölçümlerin doğrusal formunu kullandığından dolayı doğal olarak hatalı kestirim sonuçları sunmaktadır. Öte yandan en küçük kare (Least square (LS)) yöntemi [6] parametre kestiriminde yaygın kullanılan bir yöntem olduğundan güç sistemlerinin kestiriminde doğrudan kullanılmıştır. Fakat LS yöntemi, verileri grup olarak işleyebildiğinden dolayı gerçek zamanlı sistemlerde kullanılması mümkün değildir.

Güç sistemi harmoniklerinin kestiriminde kullanılan diğer yöntemler [14-17] ise yapay sinir ağları, bulanık mantık ve sezgisel algoritmalar. Bu algoritmaların en temel problemi ise hem hesap yüklerinin çok fazla olması hem de yakınsama başarımlarının başlangıç parametrelerine aşırı bağımlı olmasıdır. Öte yandan adaptif filtre algoritmaları [18-22] harmoniklerin gerçek zamanlı olarak kestiriminde kullanılan yöntemlerden biridir. Bilindiği üzere bu yöntemler, algoritma yapısı anlamında temel de en küçük kare (Least mean square (LMS)) ve öz yinelenmeli en küçük kare (Recursive least mean square (RLS)) algoritmaları olmak üzere ikiye ayrılırlar [18-22]. RLS algoritması uygulamalarda hızlı bir yakınsama oranı gösterir fakat temel problemi algoritma yapısında matris tersi işlemini barındırmasıdır ve bu yüzden hesap yükü oldukça fazla olan bir algoritmadır [21]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde [18-20], LMS tabanlı algoritmalar, eğim düşüm yöntemini kullandığından güncelleme kuralları daha basittir ve gerçek zamanlı sistemlerde kolaylıkla kullanılabilirler.

Bu çalışmanın temel amacı, eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmaların güç sistemi harmoniklerinin kestirimi üzerindeki başarımlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Yapılan çalışmada, kullanılan eğim düşüm tabanlı algoritmalar sırasıyla LMS, NLMS, İşaret-Veri LMS ve İşaret-Hata LMS algoritmalarıdır. Yapılan bu çalışma sayesinde, eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmaların güç sistemlerinde harmonik kestirim başarımını nasıl etkilediği ve ne tip durumlarda hangi eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmanın kullanılacağı ortaya konulmuştur. Çalışmada öncelikle güç sistemlerinde karşımıza çıkan harmonik problemi bir adaptif kestirim problemi olarak ele alınmış ve ardından eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar vasıtasıyla sinyalin temel ve harmonik bileşenlerinin genlik ve faz bilgileri kestirilmiştir. Bu kapsamda yapılan benzetim çalışmaları, NLMS algoritmasının diğer algoritmalarından daha üstün bir başarımla sergilediğini gösterirken, yüksek hız gerektiren gerçek zamanlı uygulamalarda LMS ve NLMS algoritmaları yerine daha az hesap yükü içeren olan İşaret-Veri LMS algoritmasının kullanılabilirliğini ayrıca göstermiştir.

Makalenin geri kalan bölümleri şu şekildedir. Öncelikle Bölüm 2'de güç sistemlerinde harmonik problemi detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Bölüm 3'de eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar kısaca incelenmiş ve gerekli olan güncelleme denklemleri harmonik kestirim probleminde uygun olacak şekilde sunulmuştur. Bölüm 4'de ise sistem parametrelerinin kestirimine ait detaylar verilmiştir. Yapılan çalışmaya ait benzetim sonuçlarına ve tartışmalara, Bölüm 5'de yer verilmiştir. Son olarak, Bölüm 6'da sonuç kısmına yer verilmiştir.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİK PROBLEMİ

Bu bölümde güç sinyallerinde karşımıza çıkan akım veya gerilim harmonikleri, eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmaların işleyebileceği matematiksel formda ifade edilmiştir. Öncelikle güç sistemlerinde mevcut olan akım veya gerilim ifadelerinin bilinmeyen genlik ve faz harmoniklerinin genel formu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$d(t) = \sum_{n=1}^N A_n \sin(\omega_n t + \phi_n) + A_{dc} e^{-\alpha_{dc} t} + n(t) \quad (1)$$

burada $d(t)$ güç sistemlerindeki akım veya gerilimi, $n(t)$ sistemin ölçüm gürültüsünü, A_n n 'inci harmoniği, ϕ_n n 'inci harmoniğe ait faz açısını ve $A_{dc} e^{-\alpha_{dc} t}$ olası dc bozulmayı temsil etmektedir. Ayrıca N harmonik sayısını,

GÜÇ SİSTEMİ HARMONİKLERİNİN ADAPTİF KESTİRİMİ: EĞİM DÜŞÜM TABANLI ADAPTİF ALGORİTMALARIN BAŞARIM ANALİZİ

w_n harmoniğin açısal frekansını temsil etmektedir. Denklem (1)'de verilen genel dalga formu, T örnekleme periyodu kullanılarak ayrık zamanda aşağıdaki gibi elde edilir:

$$d(k) = \sum_{n=1}^N A_n \sin(w_n kT + \phi_n) + A_{dc} e^{-\alpha_{dc} kT} + n(k) \quad (2)$$

burada $A_{dc} e^{-\alpha_{dc} kT}$ terimi Taylor serisine açılacak olursa, Denklem (2) aşağıdaki gibi yeniden elde edilir.

$$d(k) = \sum_{n=1}^N A_n \sin(w_n kT + \phi_n) + A_{dc} - A_{dc} \alpha_{dc} kT + n(k) \quad (3)$$

Genlik ve faz bilgisini kestirmek için Denklem (4) yeniden düzenlenecek olur ise:

$$d(k) = \sum_{n=1}^N [A_n \sin(w_n kT) \cos \phi_n + A_n \cos(w_n kT) \sin \phi_n] + A_{dc} - A_{dc} \alpha_{dc} kT + n(k). \quad (4)$$

Böylece eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar dikkate alınarak, Denklem (4), parametrik formda aşağıdaki gibi yazılır.

$$d(k) = \mathbf{x}(k) \mathbf{w}_{opt} + n(k) \quad (5)$$

burada $\mathbf{x}(k)$ sistemin giriş vektörünü, \mathbf{w}_{opt} ise sistemin bilinmeyen parametrelerini temsil etmektedir.

$$\mathbf{x}(k) = [\sin(w_1 kT) \cos(w_1 kT) \dots \sin(w_N kT) \cos(w_N kT) 1 - kT] \quad (6)$$

$$\mathbf{w}_{opt} = [A_1 \cos(\phi_1) \ A_1 \sin(\phi_1) \dots A_N \cos(\phi_N) \ A_N \sin(\phi_N) \ A_{dc} \ A_{dc} \ \alpha_{dc}]^T \quad (7)$$

Bir sonraki bölündeki amacımız sistemin bilinmeyen parametre vektörü olan \mathbf{w}_{opt} ifadesini eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar vasıtasıyla bulmaktır.

3. EĞİM DÜŞÜM TABANLI ADAPTİF ALGORİTMALAR

Bu bölümde güç sinyallerinde harmonik kestiriminde kullanılan eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalarından kısaca bahsedilmiştir.

3.1. LMS Algoritması

LMS algoritması, hesap yükünün az olması nedeniyle birçok pratik uygulamada en çok kullanılan eğim düşüm algoritmalarındandır [21, 22]. Bu algoritma maliyet fonksiyonu olarak, Denklem (8)'de verilen anlık hata sinyali $e(k)$ 'nin karesini kullanır.

$$J(k) = \frac{1}{2} e^2(k) \quad (8)$$

Denklem (8)'de yer alan anlık hata sinyali $e(k)$ aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$e(k) = d(k) - \mathbf{x}^T(k) \mathbf{w}(k) \quad (9)$$

burada $d(k)$ beklenen sinyaldir.

Sonuç olarak; Denklem (8)'de yer alan maliyet fonksiyonu $J(k)$, ağırlık vektörü $\mathbf{w}(k)$ 'ya göre minimize edilirse LMS algoritmasının ağırlık vektörü güncelleme denklemi aşağıdaki gibi elde edilmiş olur.

$$\mathbf{w}(k + 1) = \mathbf{w}(k) + \mu e(k) \mathbf{x}(k) \quad (10)$$

burada μ parametresi LMS algoritmanın adım büyüklüğü olup, algoritmanın yakınsama dinamiğini doğrudan etkiler. Ayrıca bu parametrenin $0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{max}}$ aralığında seçilmesi gerekir. LMS algoritması ile daha detaylı bilgiye [24, 25]'de yer alan çalışmalardan ulaşılabilir.

E. C. MENGÜÇ

3.2. İşaret-Hata LMS Algoritması

LMS algoritması hesap yükü açısından oldukça verimli bir algoritmadır fakat yüksek veri akışının mevcut olduğu uygulamalarda, algoritma yapısında bazı basitleştirmeler yapılarak hesap yükü daha az olan algoritmalar üretmek mümkündür [25]. Bu duruma en önemli örnek ise İşaret-Hata LMS algoritmasıdır. İşaret-Hata LMS aynı zamanda en küçük ortalama mutlak değer (Least mean absolute value (LMAV)) algoritması olarak da literatürde anılır. İşaret-Hata LMS algoritması güncelleme denkleminde anlık hata sinyali $e(k)$ 'nin işaret fonksiyonu kullanır ve bu sayede hesap yükünü önemli ölçüde azaltmış olur. İşaret-Hata LMS algoritmasının ağırlık vektörü güncelleme denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{w}(k + 1) = \mathbf{w}(k) + \mu \text{sgn}(e(k))\mathbf{x}(k) \quad (11)$$

burada $\mu \text{sgn}(e(k))$ ifadesi hata sinyalinin işaret fonksiyonudur.

3.3. İşaret-Veri LMS Algoritması

İşaret-Veri LMS algoritması, LMS algoritmasının hesap yükünü azaltmak için önerilmiş bir algoritmadır. Temelde bu algoritma, giriş verisi $\mathbf{x}(k)$ 'ya kuantalama işleminin uygulanması ile gerçekleştirilir. Bu yüzden İşaret-Veri LMS algoritması güncelleme denkleminde, giriş verisinin işaret fonksiyonu kullanır ve bu sayede klasik LMS algoritmasının yapısını daha basite indirger [25]. İşaret-Veri LMS algoritmasının ağırlık vektörü güncelleme denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\mathbf{w}(k + 1) = \mathbf{w}(k) + \mu e(k) \text{sgn}(\mathbf{x}(k)) \quad (12)$$

burada $\text{sgn}(\mathbf{x}(k))$ ifadesi giriş vektörünün işaret fonksiyonudur. Ayrıca belirtmek gerekir ki, giriş verisinin işaret fonksiyonu sayesinde İşaret-Veri LMS algoritmanın yakınsama hızı, İşaret-Hata LMS algoritmasına kıyasla artar. Çünkü İşaret-Hata LMS algoritması, hata fonksiyonun işaret fonksiyonunu güncelleme denkleminde kullandığından ekstra bir hata ile ağırlık vektörü güncellemesi yapar ve buda parametre kestiriminde ekstra bir hataya yol açar.

3.4. NLMS Algoritması

Pratik uygulamalarda, LMS algoritmasının güncelleme denkleminde yer alan adım büyüklü parametresinin en iyi şekilde seçilmesi algoritma başarımını önemli ölçüde artırmaktadır. Buda LMS algoritmasının bilinen en önemli problemleri arasında yer almaktadır. Çünkü LMS algoritmanın adım büyüklüğü giriş verisine ait oto-korelasyon matrisinin maksimum öz değerine oldukça bağlıdır [24, 25]. Literatürde, bu bahsedilen problemi aşmak için NLMS algoritması önerilmiştir. NLMS algoritmasının güncelleme denkleminin türetilmesi için Denklem (13)'de yer alan kısıtlı eniyileme probleminin çözülmesi gerekmektedir.

$$\min_{\mathbf{w}} = \|\mathbf{w}(k + 1) - \mathbf{w}(k)\|^2 \quad s. t. \quad \mathbf{w}^T(k + 1)\mathbf{x}(k) = d(k) \quad (13)$$

Denklem (13)'de tanımlanan bu eniyileme problemi, Lagrange çarpanlar metodu kullanılarak filtre ağırlık vektörü $\mathbf{w}(k)$ 'ya göre minimize edildiğinde NLMS algoritmasına ait ağırlık vektörü güncelleme denklemi aşağıdaki gibi elde edilir [24, 25].

$$\mathbf{w}(k + 1) = \mathbf{w}(k) + \mu \frac{e(k)\mathbf{x}(k)}{\epsilon + \|\mathbf{x}(k)\|^2} \quad (14)$$

burada adım büyüklüğü parametresi μ , LMS algoritmasının aksine oto-korelasyon matrisinin maksimum öz değerinden bağımsız olarak $0 < \mu < 2$ aralığında seçilir [24, 25]. Ayrıca belirtmek gerekir ki, Denklem (14)'de yer alan ϵ parametresi algoritmayı tekillikten kurtaran sıfıra çok yakın her zaman pozitif seçilen bir katsayıdır [24, 25].

GÜÇ SİSTEMİ HARMONİKLERİNİN ADAPTİF KESTİRİMİ: EĞİM DÜŞÜM TABANLI ADAPTİF ALGORİTMALARIN BAŞARIM ANALİZİ

4. SİSTEM PARAMETRELERİNİN KESTİRİMİ

Bu bölümde eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalara ait anlık ağırlık vektörü $\mathbf{w}(k+1)$ 'in harmonik kestiriminde nasıl değerlendirildiğinden bahsedilmiştir. Bu kapsamda, eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar kullanılarak Denklem (7)'de yer alan \mathbf{w}_{opt} parametre vektörünün anlık olarak kestirilmesi durumunda, $\mathbf{w}(k+1)$ 'in içerisinde yer alan temel frekansın genliği, fazı ve n 'inci harmoniği anlık olarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$\mathbf{w}(k+1) = [w_1(k+1) \dots w_{2n-1}(k+1) \dots w_{2n-2}(k+1)]^T \quad (15)$$

$$A_n = \sqrt{w_{2n}^2(k+1) + w_{2n-1}^2(k)} \quad (16)$$

$$\phi_n = \tan^{-1} \left(\frac{w_{2n}(k+1)}{w_{2n-1}(k)} \right) \quad (17)$$

5. BENZETİM SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, LMS, İşaret-Veri LMS, İşaret-Hata LMS ve NLMS eğim düşüm algoritmalarının başarımları güç sistemlerinde harmonik bileşenlerin kestirimi problemi üzerinde test edilmiştir. Bu çalışmada, literatürde yaygın kullanılan 3., 5., 7. ve 11. harmonik bileşenlere sahip olan ve Denklem (18)'de verilen bir sinyal [9, 23] algoritmaların başarımlarını test etmede kullanılmıştır.

$$y(t) = 1.5\sin(\omega t + 80^\circ) + 0.5\sin(3\omega t + 60^\circ) + 0.2\sin(5\omega t + 45^\circ) + 0.15\sin(7\omega t + 36^\circ) + 0.1\sin(11\omega t + 30^\circ) + n(t) \quad (18)$$

burada $n(t)$, sıfır ortalamalı gaussiyen ölçüm gürültüsünü temsil etmektedir. Uygulamalarda, $n(t)$ işaretinin varyansı 0.0025 seçilmiştir.

Şekil 1'de beklenen gerçek çıkış sinyali ile eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar tarafından kestirilen çıkış sinyalleri yer almaktadır. Şekil 1'den görüldüğü üzere, beklenen çıkış sinyalini en hızlı ve doğru şekilde kestiren algoritma, NLMS algoritmasıdır. Ayrıca burada, en yavaş kestirim sonucu sunan algoritma ise İşaret-Hata LMS algoritmasıdır. Bu algoritmanın yavaş yakınsamasının temel sebebi ise algoritma yapısının da hata sinyalinin işaret fonksiyonunu barındırmasıdır. Buda İşaret-Hata LMS algoritmasının, doğal olarak kestirim sonucunda hata üremesine ve yavaş yakınsamasına sebep olmaktadır. Öte yandan, her ne kadar İşaret-Veri LMS algoritmasında, giriş verisinin işaret fonksiyonu alınsa da LMS algoritmasına göre daha iyi bir beklenen sinyal kestirimi sunmaktadır. Şekil 2, 3, 4, 5 ve 6'da, sırasıyla LMS tabanlı eğim düşüm algoritmalarının sinyalin temel bileşenin ve 3'üncü, 5'inci, 7'inci ve 11'inci harmonik bileşenlerinin genliklerine ait kestirim sonuçları yer almaktadır. Şekil 2-6'dan görüleceği üzere harmonik bileşenin derecesi arttıkça algoritmaların başarımlarında düşüşler gözlemlenmektedir. En hızlı ve doğru kestirim başarımlarını sırasıyla NLMS, İşaret-Veri LMS ve LMS algoritmaları göstermektedir. Buna ek olarak, İşaret-Hata LMS algoritması derecenin artmasıyla diğer algoritmalara kıyasla daha kötü sonuçlar vermektedir. Ayrıca belirtmek gerekir ki, İşaret-Veri LMS algoritmasında giriş verilerinin işaret fonksiyonunun alınması genlik kestiriminde kayba sebep olmamış ve hatta LMS algoritmasına göre başarımlarını artırmıştır.

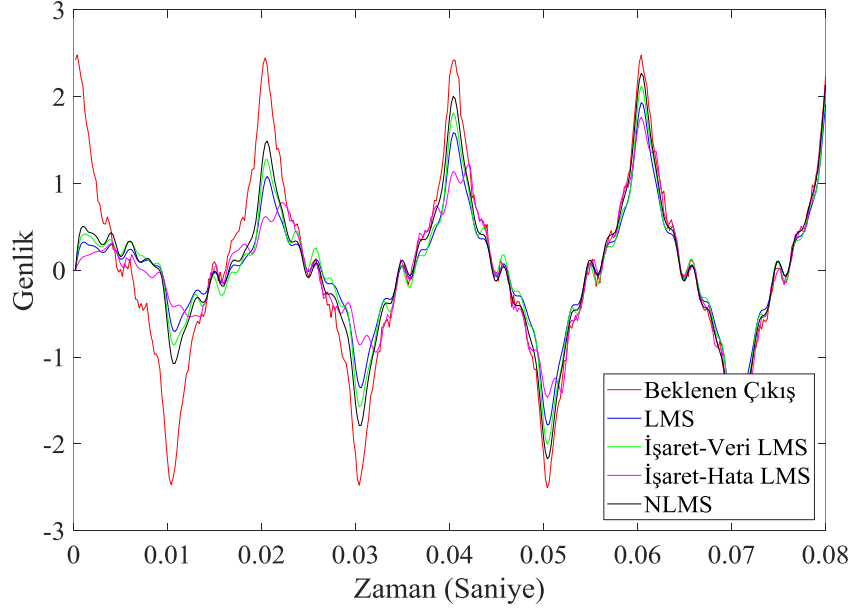
Şekil 7, 8, 9, 10 ve 11'de, sırasıyla LMS tabanlı eğim düşüm algoritmalarının sinyalin temel bileşenin ve 3'üncü, 5'inci, 7'inci ve 11'inci harmonik bileşenlerinin fazlarına ait kestirim sonuçları verilmiştir. Genlik kestiriminde olduğu gibi Şekil 7-11'de harmonik bileşenin derecesi arttıkça algoritmaların başarımları düşmektedir. Genlik kestirimin aksine faz kestiriminde en hızlı ve doğru kestirim başarımlarını sırasıyla NLMS, LMS ve İşaret-Veri LMS algoritmaları göstermektedir. Ayrıca belirtmek gerekir ki, İşaret-Veri LMS algoritmasında giriş verilerinin işaret fonksiyonunun alınması, LMS algoritmasına kıyasla faz kestiriminde çok azda olsa başarımların kaybına sebep olmuştur.

Bu sonuçlara ek olarak, Tablo 1 ve 2'de sırasıyla algoritmalar tarafından kestirilen harmonik bileşenlerin genlik ve faz değerlerine ait son değer sonuçları yer almaktadır. Tablo 1 ve 2'den gözlemlendiği üzere; NLMS, İşaret-Veri LMS ve LMS algoritmaları, sistemin gerçek genlik ve faz değerlerini küçük hatalarla kestirirken, İşaret-Hata LMS algoritması genlik ve faz kestiriminde, diğer algoritmalara kıyasla daha düşük bir başarımlar göstermiştir.

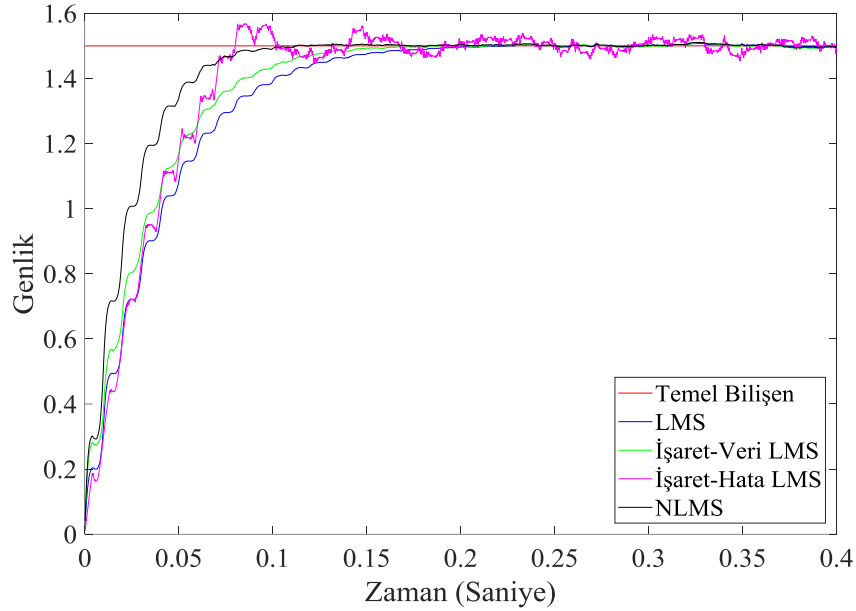
Sonuç olarak hem faz hem de genlik kestiriminde NLMS algoritması diğer algoritmalarından daha üstün bir başarımlar göstermiştir. Aynı zamanda, LMS ve İşaret-Veri LMS algoritmaları ise yaklaşık olarak benzer başarımlar sergilemiştir. Fakat NLMS algoritması diğer algoritmalara kıyasla hesap yükü fazla olduğundan, güç

E. C. MENGÜÇ

sistemi sinyallerinin genlik ve harmonik bileşenlerinin gerçek zamanlı kestirimlerinde, LMS veya İşaret-Veri LMS algoritmalarının kullanılması daha uygun görülmektedir. Hatta bu tip sistemlerin yüksek hız gerektiren gerçek zamanlı uygulamalarında daha basit bir yapıya sahip olan İşaret-Veri LMS algoritmasının kullanılması daha uygun olacaktır.

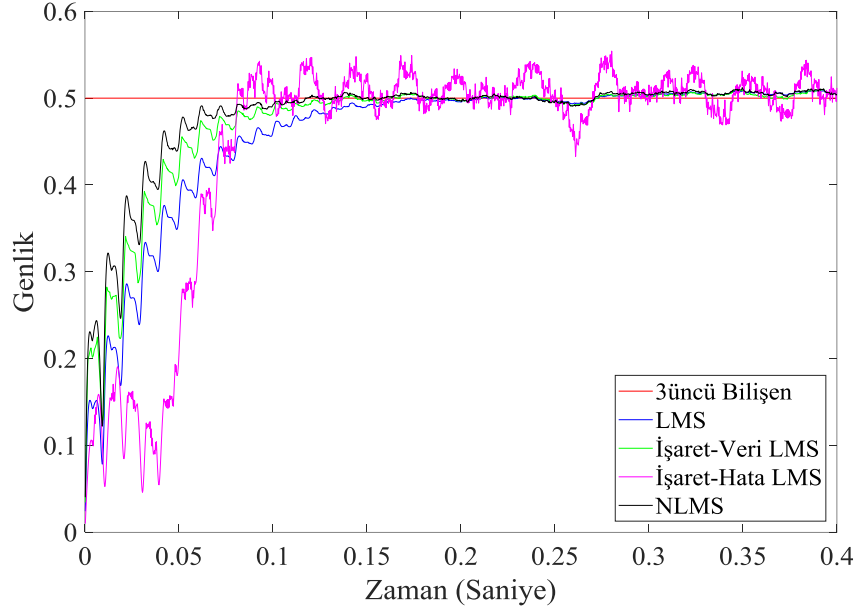


Şekil 1. Beklenen gerçek çıkış sinyali ve LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları tarafından kestirilen çıkış sinyalleri

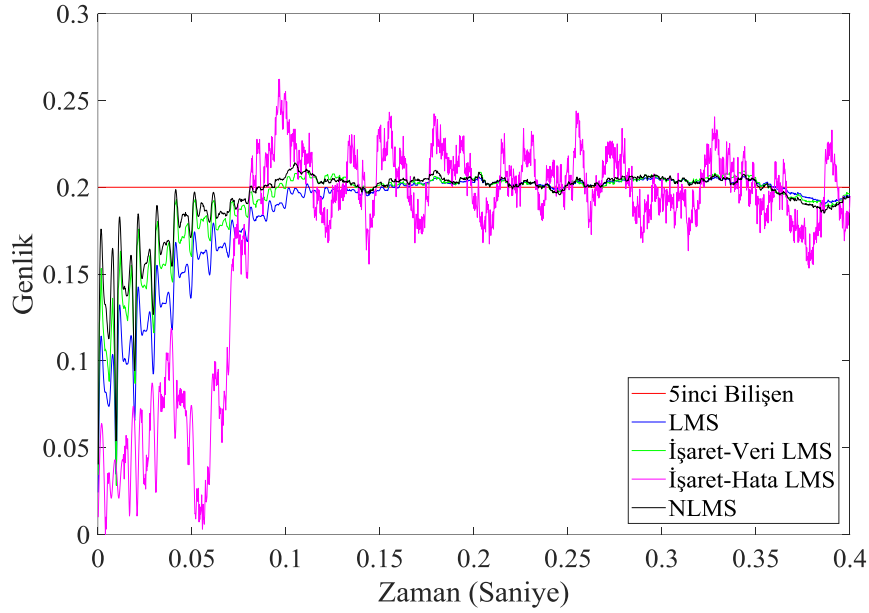


Şekil 2. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin temel bileşen genliğinin kestirimi

GÜÇ SİSTEMİ HARMONİKLERİNİN ADAPTİF KESTİRİMİ: EĞİM DÜŞÜM TABANLI ADAPTİF ALGORİTMALARIN BAŞARIM ANALİZİ

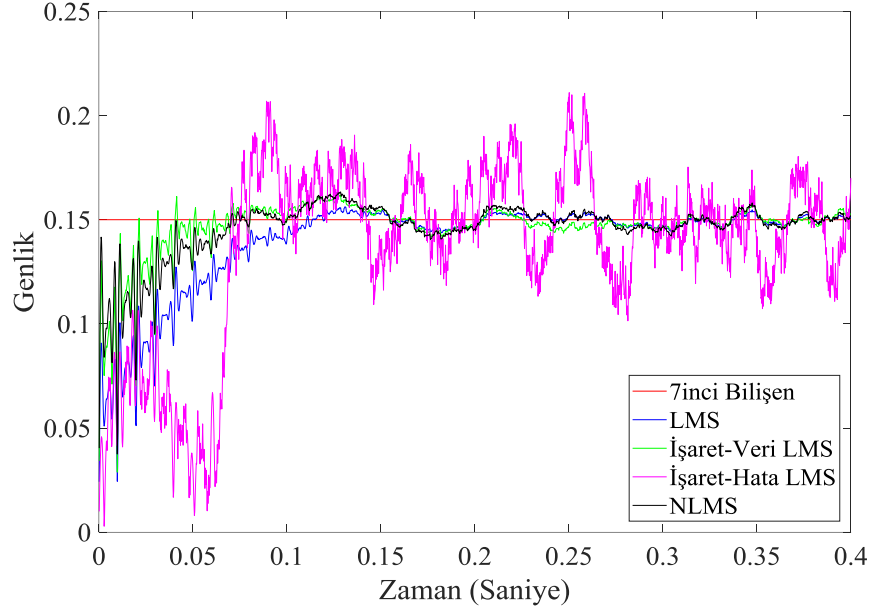


Şekil 3. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin 3'üncü harmonik bileşen genliğinin kestirimi

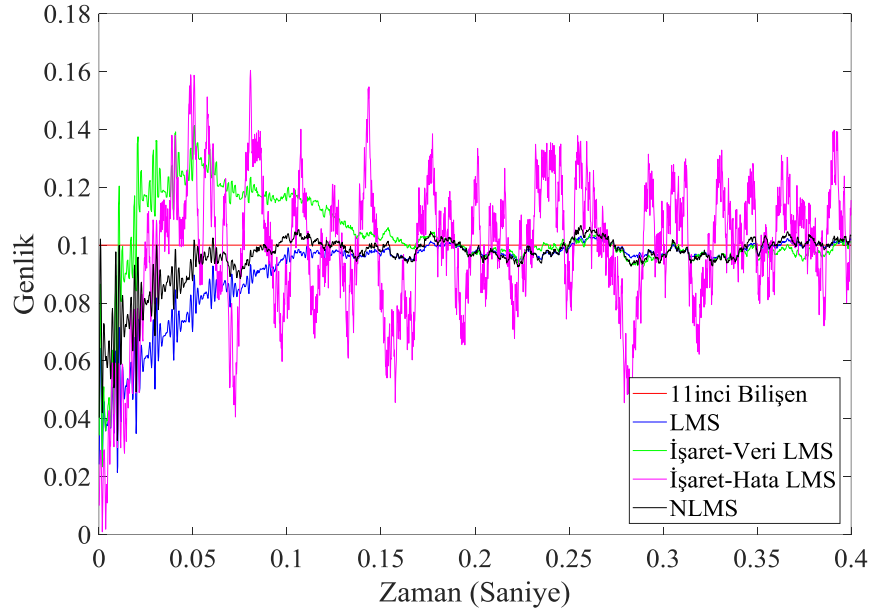


Şekil 4. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin 5'inci harmonik bileşen genliğinin kestirimi

E. C. MENGÜÇ

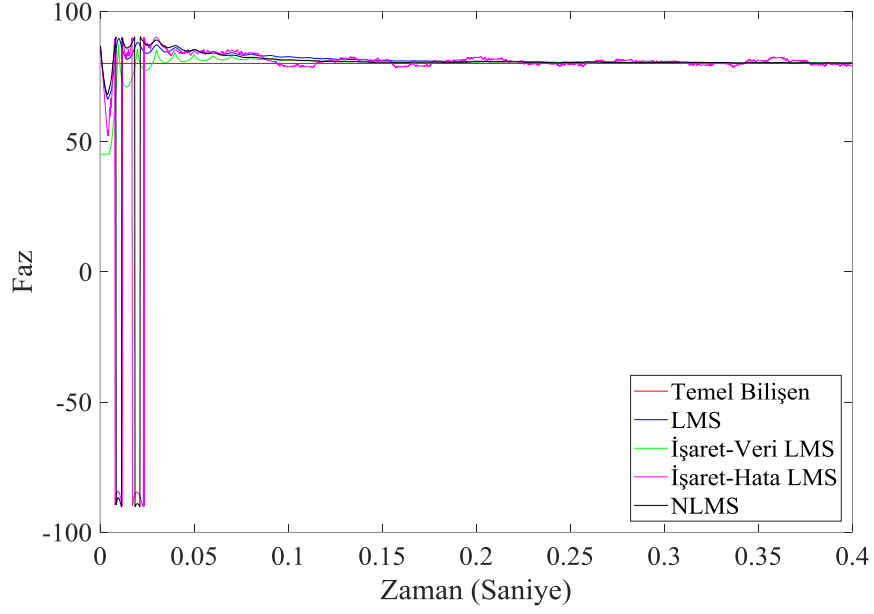


Şekil 5. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin 7'inci harmonik bileşen genliğinin kestirimi

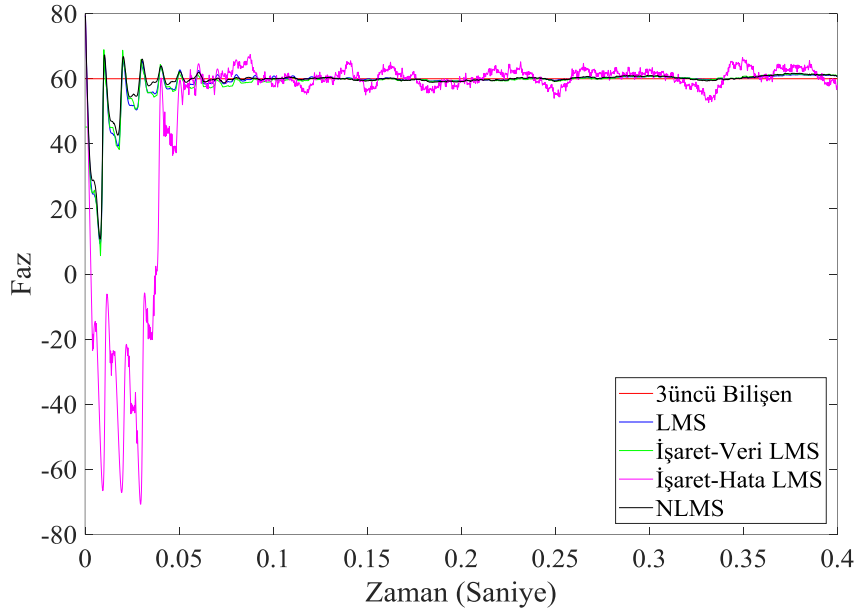


Şekil 6. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin 11'inci harmonik bileşen genliğinin kestirimi

GÜÇ SİSTEMİ HARMONİKLERİNİN ADAPTİF KESTİRİMİ: EĞİM DÜŞÜM TABANLI ADAPTİF ALGORİTMALARIN BAŞARIM ANALİZİ

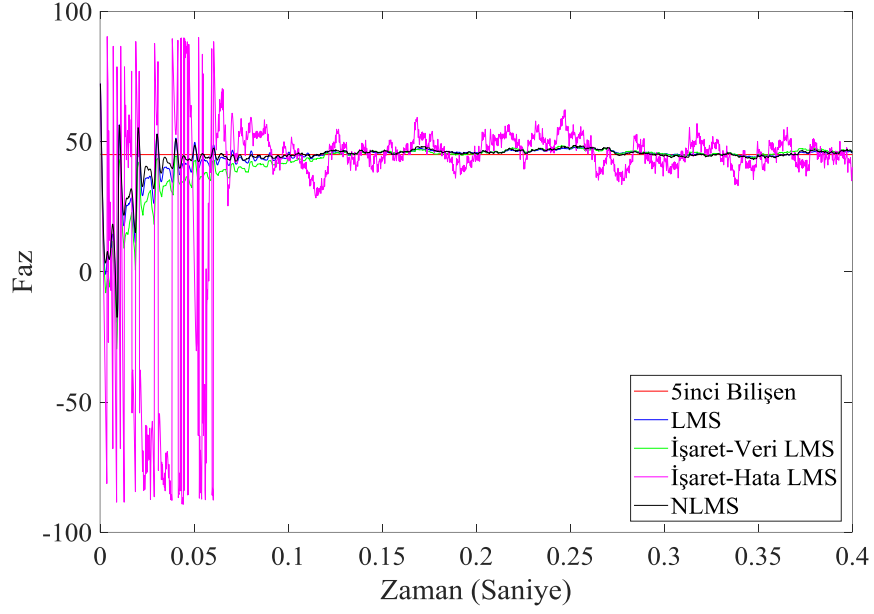


Şekil 7. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin temel bileşen fazının kestirimi

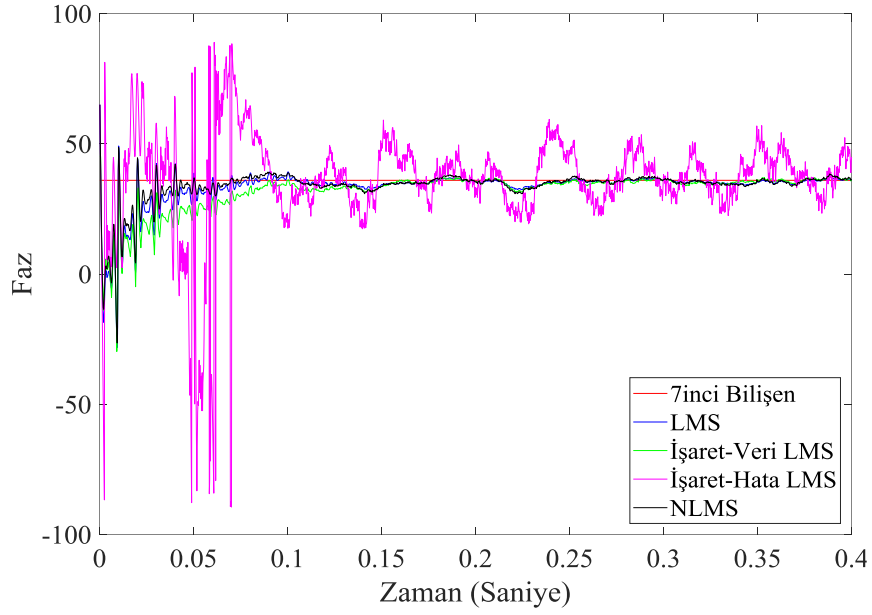


Şekil 8. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin 3'üncü harmonik bileşen fazının kestirimi

E. C. MENGÜÇ

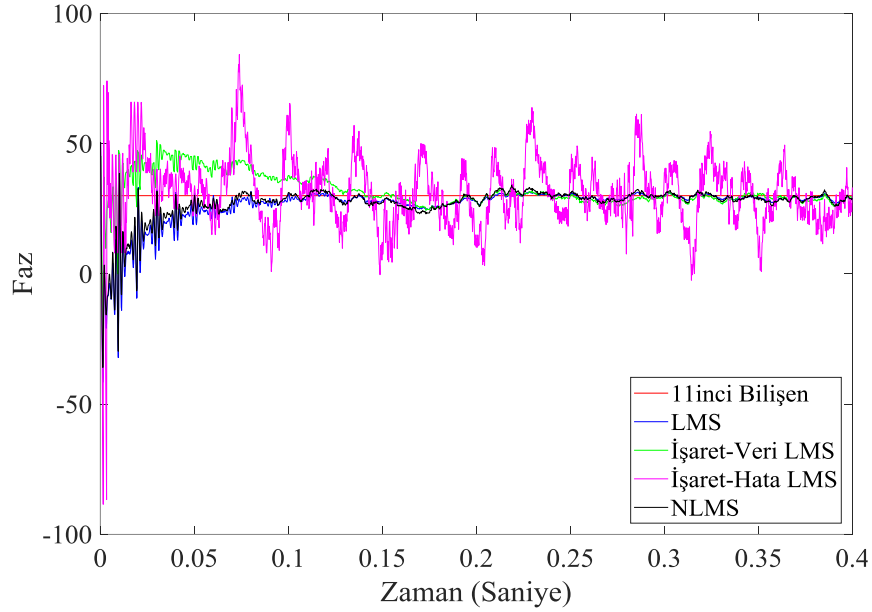


Şekil 9. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin 5'inci harmonik bileşen fazının kestirimi



Şekil 10. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin 7'inci harmonik bileşen fazının kestirimi

GÜÇ SİSTEMİ HARMONİKLERİNİN ADAPTİF KESTİRİMİ: EĞİM DÜŞÜM TABANLI ADAPTİF ALGORİTMALARIN BAŞARIM ANALİZİ



Şekil 11. LMS tabanlı eğim düşüm algoritmaları ile sinyalin 11’inci harmonik bileşen fazının kestirimi

Tablo 1. Algoritmalar tarafından kestirilen harmonik bileşenlerin genlik değerleri

Adaptif Algoritmalar	Temel Bileşen (1.5)	2’inci Harmonik (0.5)	3’üncü Harmonik (0.2)	4’üncü Harmonik (0.15)	5’inci Harmonik (0.1)
LMS	1.497	0.5051	0.1952	0.1512	0.1022
İşaret-Veri LMS	1.496	0.5067	0.1964	0.1548	0.1012
İşaret-Hata LMS	1.495	0.5118	0.1950	0.1699	0.1156
NLMS	1.496	0.5044	0.1947	0.1518	0.1034

Tablo 2. Algoritmalar tarafından kestirilen harmonik bileşenlerin faz değerleri

Adaptif Algoritmalar	Temel Bileşen (80°)	2’inci Harmonik (60°)	3’üncü Harmonik (45°)	4’üncü Harmonik (36°)	5’inci Harmonik (30°)
LMS	80.17	60.86	45.84	36.17	28.90
İşaret-Veri LMS	80.13	60.95	46.16	36.04	29.40
İşaret-Hata LMS	79.11	58.04	40.20	44.92	33.16
NLMS	80.12	60.83	46.19	36.42	29.01

6. SONUÇ

Bu çalışmada, güç sistemi harmoniklerinin adaptif kestirimi üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışmada adaptif kestirim algoritmaları olarak, basit hesap yükü ve gerçek zamanlı sistemlere kolaylıkla uygulanabilirliği nedeniyle literatürde yaygın kullanılan eğim düşüm tabanlı adaptif LMS, NLMS, İşaret-Veri LMS ve İşaret-Hata LMS kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle güç sistemlerinde mevcut olan akım veya gerilim ifadelerinin bilinmeyen genlik ve faz harmonikleri, bir kestirim problemi olarak ele alınmıştır. Daha sonra ise eğim düşüm tabanlı adaptif algoritmalar vasıtasıyla ele alınan güç sistemi sinyalinin temel ve harmonik bileşenlerinin genlik ve faz bilgileri kestirilmiştir. Çalışmada sunulan benzetimlerde, NLMS algoritmasının daha üstün bir başarımla sergilediğini göstermiş olsa da yüksek hızlı veri akışının mevcut olduğu gerçek zamanlı güç sistemi uygulamalarında, daha az hesap yükü içeren İşaret-Veri LMS algoritmasının kullanımının daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] YILMAZ, A., AHMET, S., ALKAN, A., ASYALI, M.H., “Application of parametric spectral estimation methods on detection of power system harmonics,” *Electric Power Syst. Res.*, 78, 683–693, 2008.
- [2] BARROS, J., PÉREZ, E. “Automatic detection and analysis of voltage events in power systems,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 55 No: 5, 1487–1493, 2006.
- [3] REDDY, J.B.V., DASH, P.K., SAMANTARAY, R., MOHARANA, A.K., “Fast tracking of power quality disturbance signals using an optimized unscented filter,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1–10, 2008.
- [4] MOJIRI, M., GHARTEMANI, M.K., BAKHSHAI, A., “Processing of harmonics and interharmonics using an adaptive notch filter,” *IEEE Trans. Power. Delivery.*, 25, 2, 534–542, 2010.
- [5] TAO, C., SHANXU, D., TING, R., FANGRULI, L., “A robust parametric method for power harmonics estimation based on M-estimators,” *Measurement*, 43, 1, 67–77, 2010.
- [6] JOORABIAN, M., MORTAZAVI, S.S., KHAYYAMI, A.A., “Harmonics estimation in a power system using a novel-hybrid least square – Adaline algorithm,” *Electric. Power Syst. Res.*, 79, 1, 107–116, 2009.
- [7] TOMIC, J.J., KUSLJEVIC, M.D., VUJICIC, V.V., “A new Power system digital harmonic analyzer,” *IEEE Trans. Power Delivery*, 22, 2, 772–780, 2007.
- [8] GHODRATOLLAH, S.S., RAZZAZ, M., MOGHADDASIAN, M., MONADI, M., “Harmonics estimation in power system using adaptive perceptrons based on a genetic algorithm,” *WSEAS Trans. Power Syst.*, 2, 11, 2007.
- [9] RAY, P.K., SUBUDHI, B., “Ensemble Kalman filter based power system harmonics estimation,” *IEEE Trans Instrum. Meas.*, 61, 12, 3216–3224, 2012.
- [10] TSAO, T.P., WU, R.C., NING, C.C., “The optimization of spectral analysis for signal harmonics,” *IEEE Trans. Power Del.*, 16, 149–153, 2001.
- [11] ZHANG, F., GENG, Z., YUAN, W., “The algorithm of interpolating windowed FFT for harmonic analysis of electric power system,” *IEEE Trans. Power Del.*, 16, 2, 160–164, 2001.
- [12] LIN, H.C. LEE, C.S., “Enhanced FFT-based parametric algorithm for simultaneous multiple harmonics analysis,” *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen. Transm. Distrib.*, 148, 209–214, 2001.
- [13] BARROS, J., DIEGO, R.I., APRÁIZ, M., “Applications of wavelet transform for analysis of harmonic distortion in power systems: a review,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 61, 10, 2604–2611, 2012.
- [14] DASH, P.K., SWAIN, D.P., ROUSTRAY, A. LIEW, A.C., “Harmonic estimation in a power system using adaptive perceptrons,” *IEE Proc. Generations, Transm. Distribution*, 143, 6, 565–74, 1996.
- [15] MISHRA, S., “A hybrid least square-fuzzy bacterial foraging strategy for harmonic estimation,” *IEEE Trans. Evolutionary Comput.*, 9, 1, 61–73, 2005.
- [16] KIM, D.H., ABRAHAM, A., CHO, J.H., “A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for global optimization,” *Inf. Sci.*, 177, 3918–3937, 2007.
- [17] KABALCI, Y., KOCKANAT, S., KABALCI, E., “A modified ABC algorithm approach for power system harmonic estimation problems,” *Electr. Power Sys. Res.* 154, 160–173, 2018.
- [18] BETTAYEB, M., QIDWAI, U., “Recursive estimation of power system harmonics,” *Electric Power Syst. Res.*, 47, 2, 143–152, 1998.
- [19] SINGH, S.K., SINGHA, N., GOSWAMI, A.K., SINGHA, N., “Power system harmonic estimation using biogeography hybridized recursive least square algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 83, 219–228, 2016.
- [20] SINGH, S.K., KUMARI, D., SINGHA, N., GOSWAMI, A.K. SINGHA, N. “Gravity Search Algorithm hybridized Recursive Least Square method for power system harmonic estimation,” *Eng. Sci. Technol.* 20, 3, 874–884, 2017.
- [21] PRADHAN, A.K., ROUSTRAY, A., BASAK ABIR, A., “Power system frequency estimation using least mean square technique,” *IEEE Trans. Power Del.*, 20, 3, 1812–1816, 2005.
- [22] SUBUDHI, B., RAY, P.K., GHOSH, S., “Variable leaky least mean-square algorithm-based power system frequency estimation,” *IET Sci. Meas. Technol.*, 6, 4, 288–297, 2012.
- [23] RAY, P.K., PUHAN, P.S., PANDA, G., “Real time harmonics estimation of distorted power system signal,” *Electric Power Syst. Res.*, 75, 91–98, 2016.
- [24] HAYKIN, S., *Adaptive Filter Theory*, 4th ed. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 2002.
- [25] HAYES, M., *Statistical Digital Signal Processing and Modelling*, Wiley, New York, 1999.