



## Sistem Tanılama Model Uydurma Algoritmaları Kullanılarak Sistemin Optimal Kontrolü

Mehmet Latif LEVENT<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Hakkari Üniversitesi, Türkiye*

<sup>\*</sup>*([mehmetlatiflevent@hakkari.edu.tr](mailto:mehmetlatiflevent@hakkari.edu.tr)) Başlıca yazarın mail adresi*

**Özet** – Bu çalışmada; sistem tanılama model uydurma algoritmaları kullanılarak sistemin optimal kontrolü gerçekleştirilmiştir. Model uydurma algoritmaları için rastgele bir referans giriş seçilmiş ve açık çevrim sisteme uygulanmıştır. Elde edilen giriş-çıkış veri paketleri Matlab sistem tanımlama araç çubuğu ara yüzüne uygun formatta kaydedilmiştir. Daha sonra sistemin birinci ikinci ve üçüncü dereceden optimal transfer fonksiyonları elde edilmiştir. En çok tercih edilen Levenberg-Marquardt, İç Nokta (Interior Point) ve Gauss-Newton algoritmaları simülasyon çalışmasında kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları analiz edildiğinde; birinci dereceden transfer fonksiyonu için Gauss-Newton metodunun; ikinci dereceden transfer fonksiyonu için Gauss-Newton ve Levenberg-Marquardt metodlarının ve son olarak üçüncü dereceden transfer fonksiyonu için ise Levenberg-Marquardt metodunun çok yüksek performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

*Anahtar Kelimeler – Sistem Tanılama, Model Uydurma Algoritmaları, Gauss-Newton, Levenberg Marquardt, İç Nokta.*

### I. GİRİŞ

Sistem tanımlama için kullanılan birçok metod bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanları; Model Tip Konvertör, Kalman Filtresi, Genişletilmiş Kalman Filtresi, Parçacık Filtresi, Kokusuz Kalman Filtresi, RLS Tahmincisi ve Yinelemeli Polinom Model Tahmincisidir. Bununla birlikte; Hammerstein-Wiener modeli, Doğrusal Tanımlı Model (Linear Identified Model), Doğrusal Olmayan Gri-Kutu Modeli (Nonlinear Grey-Box Model), Doğrusal Olmayan ARX Modeli (Nonlinear ARX Model) gibi yöntemler de sistemin giriş/çıkış verilerini referans olarak optimal modelleme gerçekleştirilmektedir. Hibrit adaptif pozisyon denetleyici tasarımında Bozucu Gözleyici (Disturbance Observer), RLS tahminci ve Lyapunov yöntemleri birlikte kullanılmıştır [1]. Başka bir çalışmada ayrık zamanlı kayan kip denetleyici tabanlı RLS tahminci yöntemi DC motorun hız kontrolünde denenmiştir [2]. Sistem model parametre tahmininde ise RLS metodundan

yararlanmıştır [3]. En küçük kareler yöntemine benzer olarak geliştirilen farklı adaptif tasarımlar da bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada; Tek tekerlekli bir robotun parametre değerleri RLS metodu ile tahmin edilmekte ve sistemin kararlı çalışmasının sağlanmaktadır [4]. Kalman Filtresi kullanılarak robotik manipülâtörün açılma hızının ve doğrusal ivmelemesinin tahmin edildiği farklı bir çalışmada ise RLS metodu ile yükün parametreleri tanımlanmaktadır [5]. Bilindiği üzere son yıllarda elektrikli araçlar üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır. Araştırmacıların elektrikli araçlar ile ilgili yaptığı çalışmalarda RLS tabanlı adaptif yöntemler sıkça kullanılmaktadır. Özellikle elektrikli araçların çok önemli bir parçası olan lithium-ion bataryalarının yüksek performansda çalışması için; adaptif unutma faktörlü yinelemeli en küçük kare yöntemi [6], RLS–adaptif genişletilmiş kalman filtre algoritması [7] ve adaptif sezgisel kritik (heuristic critic) tabanlı RLS

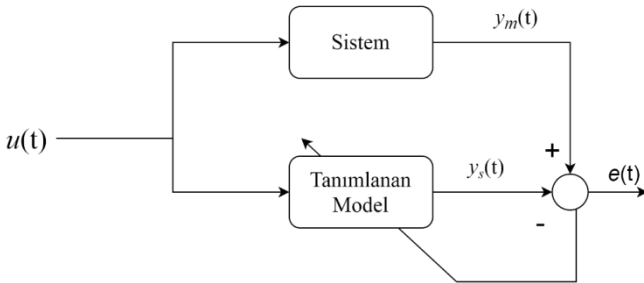
algoritması [8] gibi yaklaşımlar sistem tanılama denetleyici tasarımlarında tercih edilmektedir.

Bu çalışmada Sistem Tanılama Model Uydurma Algoritmaları kullanılarak sistem kontrolü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öncelikle Sistem Tanılama ile ilgili bilgiler Bölüm II'de verilmektedir. Bölüm III ise model uydurma algoritmaları ile elde edilen simülasyon sonuçları verilmiştir.

## II. SİSTEM TANILAMA

Sistem tanılamada öncelikle; kontrol edilen sistemin giriş ve çıkış verileri kaydedilir. Daha sonra elde edilen bu veriler ile sistem için optimal matematiksel modeller elde edilmektedir.

Bu mekanizmada kullanılan temel parametreler ile modellenmesi çok zor olan sistemlerin kolayca dinamik modellenmesi sağlanmaktadır. Şekil 1'de; Sistem tanılamının çalışma prensibine uygun olarak hazırlanmış blok diyagram verilmektedir. Sistem tanımlama için giriş çıkış verileri önem arz etmektedir. Elde edilen bu veriler ile ayrık zamanda elde edilen transfer ifadeleri, proses modeller ve durum uzay ifadeleri rahat bir şekilde bulunmaktadır [9].



Şekil 1. Sistem Tanılama Blok Diyagramı

Sistem tanımlama içerisinde özel algoritmalar bulunmaktadır ve bu algoritmalar ile online parametre tahmini yapılmaktadır. Aşağıda verilen özel algoritmalar en çok kullanılan yöntemlerdir;

- Alt Uzay Sistemi Tanılama (Subspace System Identification)
- Tahmin Hata Minimizasyonu (Prediction-Error Minimization (PEM))
- Maksimum Olasılık (Maximum Likelihood)

Ayrıca sistem tanımlama metodu olarak kullanılan gri kutu sistem ile kullanıcının tanımladığı modellere ait parametre değerleri belirlenmektedir.

Her biri farklı maliyet fonksiyonlarına sahip olan ve en küçük kareler yöntemine benzer çalışma prensibine sahip Bazı algoritmalar bulunmaktadır. Bu algoritmalar, en küçük kareler model uydurma algoritmaları olarak adlandırılmaktadır. En çok kullanılan bu algoritmalar aşağıda sıralanmaktadır;

- Levenberg-Marquardt,
- İç Nokta (Interior Point)
- Gauss-Newton

### A. Model Uydurma Algoritmaları

Model uydurma algoritmaları sistem tanımlama için kullanılmaktadır. Bu algoritmalar aslında en küçük kareler yönteminde kullanılan denklemlere benzer bir yapıya sahiptirler. Dolayısıyla bu yöntemlerde kullanılan matematiksel ifadelerdeki karelerin toplamı şeklinde belirtilen fonksiyonlardaki optimal bir yerel  $x$  vektörü elde edilmeye çalışılmaktadır. (Mathworks, 2012). Bu ifadede kareler toplamı  $\|F(x)\|_2^2$  fonksiyonu kullanılarak ifade edilmektedir.

$$\min_x \|F(x)\|_2^2 = \min_x \sum_i F_i^2(x) \quad (1)$$

İç Nokta metodu aşağıda verilen fonksiyonu minimize etmek için kullanılmaktadır ve bu metot ikinci dereceden programlama algoritmaları (Quadratic Programming Algorithms, QPA) ile çalışmaktadır.

$$\min_x \frac{1}{2} x^T H x + c^T x \quad (2)$$

Burada;  $H$  ve  $x$  sırasıyla Hessian ve durum matrisleri olarak tanımlanmaktadır.  $2C^T C$  hesabı yapılarak  $H$  değeri bulunmaktadır.  $-2C^T d$  ifadesi ise  $c$  vektör hesabı için kullanılmaktadır. İç nokta algoritması Bu algoritmanın kullandığı minimizasyon denklemi aşağıda verilmektedir. Bu denklemde yer alan  $d$  ifadesi besleme matris değeri olarak bilinmektedir ve durum uzay denklemlerinde bu değer kullanılmaktadır. Birçok doğrusal olmayan parametre tahminlerinde ve pratik uygulamalarda kullanılan Levenberg-Marquardt yöntemine ait minimizasyon denklemi aşağıda verilmektedir.

$$\frac{1}{2}x^T(2C^TC)x + (-2C^Td)^T x + d^T d \quad (3)$$

$y(x,t)$  çıkış ifadesi ve  $\varphi(t)$  referans değeri arasındaki hata değeri minimize işlemi bu yöntem ile gerçekleşmektedir. Bu denklemde  $t$  skaler ve  $x$  vektör değerlerdir.

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \int_{t_1}^{t_2} (y(x,t) - \varphi(t))^2 dt \quad (4)$$

Denklem (4)'deki ifade ayrıklaştırılırsa;

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f(x) = \sum_{i=1}^m (y(x,t_i) - \varphi(t_i))^2 \quad (5)$$

elde edilir. Bu durumda  $F(x)$  vektörü;

$$F(x) = \begin{bmatrix} y(x,t_1 - \varphi(t_1)) \\ y(x,t_2 - \varphi(t_2)) \\ \dots \\ y(x,t_m - \varphi(t_m)) \end{bmatrix} \quad (6)$$

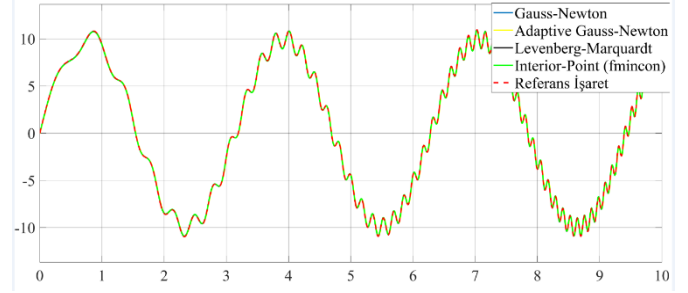
olarak bulunur. Gauss-Newton olarak bilinen model uydurma algoritması için minimizasyon denklemi ise Denklem (7)'de verilmektedir.

$$\min_{d_k \in \mathbb{R}^n} \|J(x_k)d_k + F(x_k)\|_2^2 \quad (7)$$

Bu denklemde  $d_k$  olarak tanımlanan amaç arama yönü (search direction) değerini bulmak çok önemlidir. Bu metod ile iterasyonlar ilerledikçe  $f(x)$  fonksiyonunun azalması amaçlanmaktadır.

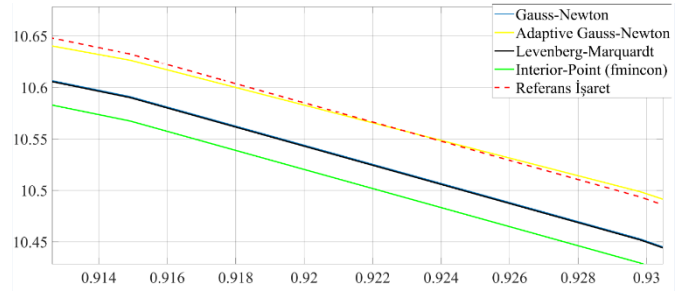
### III. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, yükü sabit olan sistemin optimal kontrolü Matlab ortamındaki sistem tanımlama araç çubuğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem tanımlama araç çubuğu kullanımı için denetlenen sistemin giriş ve çıkış işaretlerinin belli zaman aralıklarla elde edilmiş veri paketleri gerekmektedir. Rastgele seçilen referans işareti sisteme uygulanmış ve giriş-çıkış işaretleri Matlab Workspace'de uygun formatta kaydedilmiştir. Elde edilen bu veri paketleri model uydurma algoritmalarında kullanılmıştır.



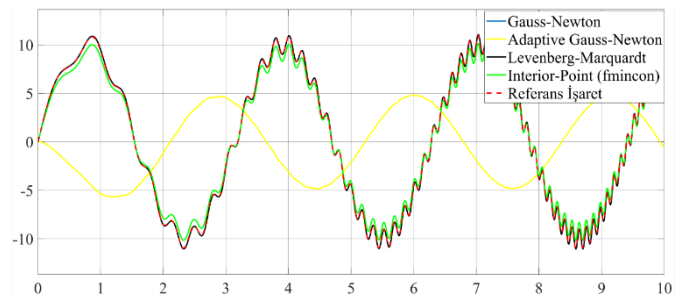
Şekil 2. Sistem Tanılama Model Uydurma Algoritmaları Simülasyon Sonuçları (Birinci Dereceden)

Model uydurma algoritmaları ile sistemin birinci, ikinci ve üçüncü dereceden transfer fonksiyonları ve bu transfer fonksiyonları kullanılarak çıkış eğrileri elde etmiştir. Buna göre ilk olarak, birinci dereceden transfer fonksiyonları kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmektedir. Sonuçlar analiz edildiğinde performans yüzdelerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. En yüksek başarımla ise %89.3 başarımla ile Adaptif Gauss-Newton algoritması ile gerçekleşmiştir.



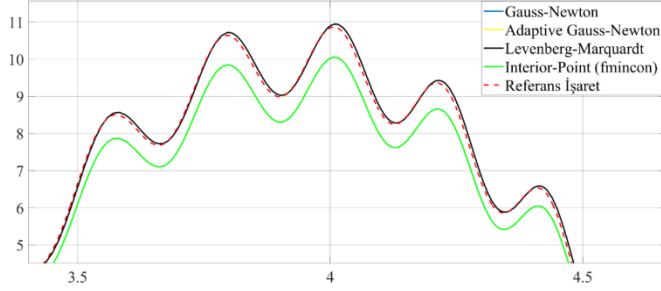
Şekil 3. Şekil 2 için Genişletilmiş Cevap Eğrisi

Simülasyon çalışmasının ikinci aşamasında ise ikinci dereceden sistem için transfer fonksiyonları tahmin edilmiş ve Gauss-Newton ve Levenberg-Marquardt algoritmaları ile en yüksek performans yüzdesi (%91.4) elde edilmiştir.



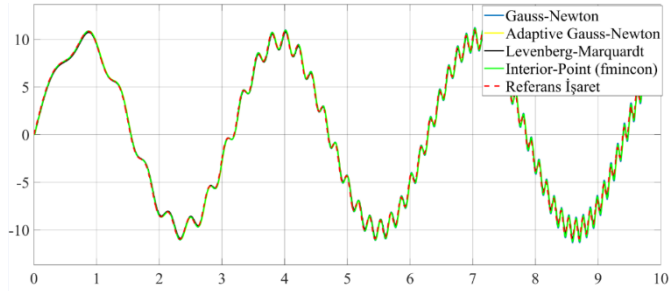
Şekil 4. Sistem Tanılama Model Uydurma Algoritmaları Simülasyon Sonuçları (İkinci Dereceden)

Model uydurma algoritmaları ile elde edilen simülasyon sonuçları aşağıda verilmektedir. Yüksek performans sağlayan bu iki algoritma ile en düşük hata değerinin elde edildiği görülmektedir. Gauss-Newton metodu ile elde edilen sonucun ise performans yüzdesinin çok düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

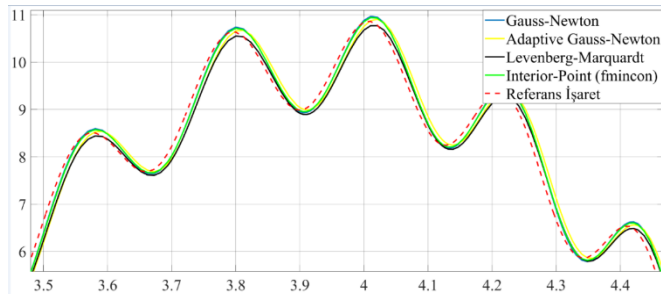


Şekil 5. Şekil 18 için Genişletilmiş Cevap Eğrisi

Aşağıda verilen sonuçlar ise üçüncü dereceden transfer fonksiyonları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde ise en yüksek performansı %85.4 başarımla Levenberg-Marquardt algoritması sağlamıştır.



Şekil 6. Sistem Tanılama Model Uydurma Algoritmaları Simülasyon Sonuçları (Üçüncü Dereceden)



Şekil 7. Şekil 20 için Genişletilmiş Cevap Eğrisi

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada sistemin optimal kontrolü için sistem tanılama model uydurma algoritmaları kullanılmıştır. Sistem çıkış eğrisinin istenilen referans girişine yakın bir cevap üretmesi önem arz

etmektedir. Sistemin optimal bir cevap üretmesi için uygun kontrol girişlerini üretmek gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek amacıyla Levenberg-Marquardt, İç Nokta (Interior Point) ve Gauss-Newton model uydurma algoritmaları sıkça kullanılmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre Gauss-Newton algoritmasının diğer algoritmalara göre daha iyi cevap eğrileri ürettiği sonucuna varılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Oh, K. S., & Seo, J. H. (2017, October). An adaptive position control algorithm of a DC motor based on the first order approximation using recursive least squares with forgetting. In *2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)* (pp. 1858-1861). IEEE.
- [2] Valladolid, J. D., Ortiz, J. P., & Minchala, L. I. (2016, September). Adaptive quasi-sliding mode control based on a recursive weighted least square estimator for a DC motor. In *2016 IEEE Conference on Control Applications (CCA)* (pp. 886-890). IEEE.
- [3] Brabc, M., Sova, V., & Grepl, R. (2016, December). Adaptive feedforward controller for a DC motor drive based on inverse dynamic model with recursive least squares parameter estimation. In *2016 17th International Conference on Mechatronics-Mechatronika (ME)* (pp. 1-5). IEEE.
- [4] Lee, S. D., & Jung, S. (2019). Real-time inverse model estimation by a recursive least squares method for disturbance observer-based control systems: Balancing control of a single-wheel robot. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 17(8), 1911-1920.
- [5] Farsoni, S., Landi, C. T., Ferraguti, F., Secchi, C., & Bonfè, M. (2018, May). Real-time identification of robot payload using a multirate quaternion-based kalman filter and recursive total least-squares. In *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 2103-2109). IEEE.
- [6] Sun, X., Ji, J., Ren, B., Xie, C., & Yan, D. (2019). Adaptive forgetting factor recursive least square algorithm for online identification of equivalent circuit model parameters of a lithium-ion battery. *Energies*, 12(12), 2242.
- [7] Zhou, Z., Duan, B., Kang, Y., Cui, N., Shang, Y., & Zhang, C. (2019). A low-complexity state of charge estimation method for series-connected lithium-ion battery pack used in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 441, 226972.
- [8] Moghaddam, V., Yazdani, A., Wang, H., Parlevliet, D., & Shahnia, F. (2020). An online reinforcement learning approach for dynamic pricing of electric vehicle charging stations. *IEEE Access*, 8, 130305-130313.
- [9] Mathworks. (2012). Documentation optimization toolbox-least squares (model fitting) algorithms.