

## TİP-2 BULANIK FİLTRE

Mehmet KARAKÖSE

Erhan AKIN

Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği, 23119 Elazığ

mkarakose@firat.edu.tr

eakin@firat.edu.tr

*Anahtar Sözcükler: Tip-2 Bulanık Küme, Tip-2 Bulanık Mantık Sistem, Bulanık Filtre*

### ÖZET

Tip-2 bulanık kümeler, kural tabanlı bulanık mantık sistemlerinde belirsizliklerin etkilerini minimize eden bir yaklaşımdır. Belirsizlikleri içermesi açısından üç boyutlu üyelik fonksiyonlarına sahip olan tip-2 bulanık mantık sistemlerin kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Bu makalede, bir sinyal üzerindeki gürültüleri belirlemek ve elimine etmek için tip-2 bulanık mantık tabanlı yeni bir filtre geliştirilmiştir. Gürültülü sinyallerin özellikle tip-2 bulanık kümelerin doğasına daha uygun olduğu düşünülerek, geliştirilen yöntem kestirme düzeltme tahmin algoritması ile üstel düzeltme metodunu birleştirerek geleneksel filtrelerin hesaplama karmaşıklığından kurtulmak için özellikle belirsizliklerin çok olduğu durumlarda tercih edilen tip-2 bulanık mantık sistemini kullanmaktadır. Önerilen metodun performansı Matlab-Simulink kullanılarak gerçekleştirilen bilgisayar simülasyonları ile sınanmıştır.

### 1. GİRİŞ

Temel olarak ölçme sistemlerinde kullanılabilir bilginin iki tipi vardır. Bunlardan birisi ölçme cihazı tarafından ölçülen sayısal bilgi, diğeri ise uzman insanlardan türetilen dilsel bilgilerdir. Sayısal yöntemler keskin ve sonlu veri kümelerini işlerler. Buna karşın gerçek vektörlerdeki ölçülen değerleri sağlamayıp sadece dilsel anlamdaki bilgileri sağlayan keskin sistemler vardır [1]. Gürültülü sinyallerin filtrelenmesi de böyle bir sisteme örnek olup bu gibi durumlarda bulanık mantık kullanılabilir. Bulanık mantık kullanılabilmektedir.

Bir tip-1 bulanık mantık sistem bulanıklaştırıcı, bilgi tabanı, bulanık kuralları işleyen bulanık çıkarım mekanizması ve durulaştırıcı olmak üzere dört bölüme ayrılmıştır. Bulanık mantık sisteminin bilgi tabanı bulanık IF-THEN kurallarını kapsamaktadır. Tip-1 bulanık mantık sistemler birtakım belirsizlikleri direkt olarak elimine edemez. Çünkü belirli olan tip-1 bulanık kümeleri kullanırlar. Tip-2 bulanık küme kavramı tip-1 bulanık kümeler olarak bilinen geleneksel bulanık küme kavramının bir genişlemesi olarak Zadeh tarafından girilmiştir [1]. Tip-2 bulanık mantık sistemler ise bir bulanık küme için kesin bir üyelik

fonksiyonu belirlemesi zor olan koşullarda çok faydalıdır. Böylece tip-2 bulanık mantık sistemler kural belirsizliklerini ve hatta ölçüm belirsizliklerini elimine etmekte kullanılabilmektedir.

Tip-1 bulanık mantık sistemlerde belirsizliklerin temel kaynakları;

- Kurallarda kullanılan kelimelerin anlamları belirsiz olabilir (kelimeler farklı kişilere göre farklı anlamlardadır),
- Bilgi aynı düşüncede olmayan uzmanlardan elde edilebilir,
- Tip-1 bulanık mantık sistemleri aktif eden ölçümler gürültülü olabilir,
- Tip-1 bulanık mantık sistemlerinin parametrelerini ayarlamak için kullanılan veri de gürültülü olabilir.

Bu belirsizliklerin tamamı bulanık küme üyelik fonksiyonları hakkında belirsizliklere dönüşür. Tip-1 bulanık kümeler bu belirsizlikleri direkt olarak modelleyemezler, çünkü onların üyelik fonksiyonları tamamen keskindir. Tip-2 bulanık kümeler bu belirsizlikleri modelleyebilirler, çünkü onların üyelik fonksiyonlarının kendisi bulanıktır. Tip-2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları üç boyutludur. Model belirsizliklerini direkt olarak mümkün kılan ilave serbestlik dereceleri sağlaması tip-2 bulanık kümelerin yeni üçüncü boyutudur [3], [4].

Bilgi işleyici olarak bilinen filtreler ile ölçme sistemlerinden elde edilen sinyallerdeki gürültüyü kaldırmak bazı uygulamalarda çok önemli olmaktadır. Klasik filtreler sadece sayısal veriyi işleyebilmektedir. Bu filtrelerden kararlı olması, faz ve genlik hatası yapmadan ana işareti bozulmaya uğratmadan işlemden geçirebilmesi istenirken çoğu uygulamada basit filtreler kullanılarak iyi sonuçlar elde edilebilirse de hassasiyetin sistem performansı için oldukça önemli olduğu yerlerde daha karmaşık tasarımlarla oluşturulan filtrelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Sinyaller üzerindeki gürültüyü elimine etmek için insan bilgi tabanlı bir algoritma olan bulanık mantık tabanlı filtreler kullanmak oldukça avantajlı hale gelmektedir. Sinyaller üzerinde herhangi bir gecikme veya faz kaymasına neden olmayan bu filtrenin önemli bir avantajı matematiksel bir modele ihtiyaç göstermemesidir [5],[6].

Bu çalışmada sinyaller üzerindeki gürültünün filtrelenmesi için tip-2 bulanık mantık tabanlı filtre modeli verilmiştir. Bunun için tahmin algoritmaları olan kestirme düzeltme algoritması ile üstel düzeltme metodu birlikte kullanılmıştır.

## 2. TİP-2 BULANIK MANTIK SİSTEMLER

Şekil 1’de bir tip-2 bulanık mantık sistemin yapısı görülmektedir. Bu yapı tip-1 bulanık mantık sistem yapısına çok benzerdir. Farklılık tip-1 bulanık mantık sisteminde çıkış işlem bloğunda sadece tip düşürücünün olmamasıdır.

Bulanıklaştırıcı keskin girişi bir bulanık kümeye dönüştürür. Bu bulanık küme tip-2 bulanık mantık sistemler için bir tip-2 küme olacaktır. Tip-1 durumunda genel olarak “EGER-OZAMAN” kuralları x girişler ve y çıkış olarak,

EĞER  $x_1 F_1$  ve  $x_2 F_2$  ve ... ve  $x_p F_p$  ise  
O ZAMAN y G’dir

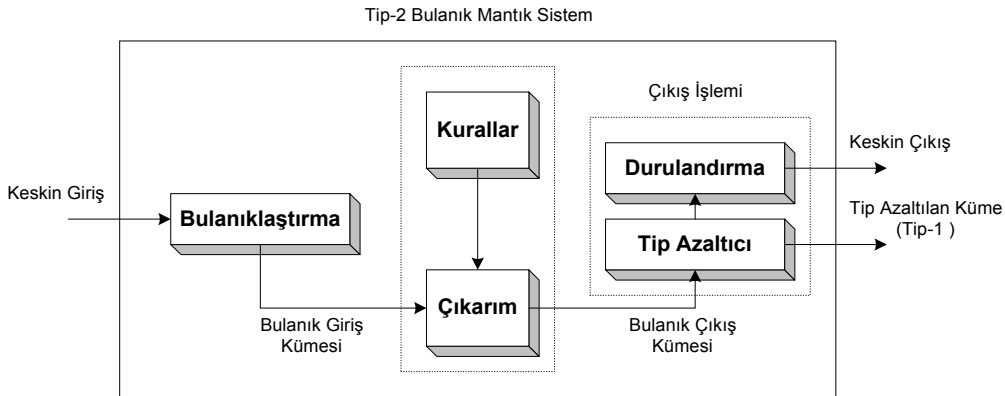
şeklinde verilir. Tip-1 ve tip-2 arasındaki fark üyelik fonksiyonlarının doğallığı ile birleşmektedir. Kural şekli önemli değildir. Dolayısıyla kuralların yapısı tip-2 durumunda tamamen aynı kalmaktadır. Yine çıkarım işlemi çok benzerdir. Çıkarım mekanizması kuralları birleştirir ve tip-2 bulanık küme girişinden tip-2 bulanık küme çıkışı verir.

Tip-2 bulanık mantık sistemlerde her kurala karşılık çıkış kümesi yine tip-2 olduğu için tip azaltıcı bütün bu kümeleri birleştirir. Bunun için tip-1 bulanık mantık sistemlerindeki durulandırmaya benzer bir ifade kullanır.

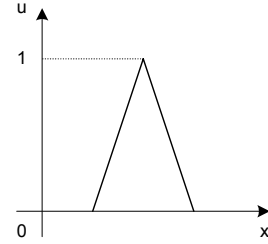
$$C_{\tilde{A}} = \int_{\theta_1} \dots \int_{\theta_N} [\mu_{D1}(\theta_1) * \dots * \mu_{DN}(\theta_N)] \frac{\sum_{i=1}^N x_i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i}$$

$\tilde{A}$  ile gösterilen bir tip-2 bulanık küme  $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$  tip-2 üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir.  $\tilde{A}$  şu şekilde ifade edilebilir [7].

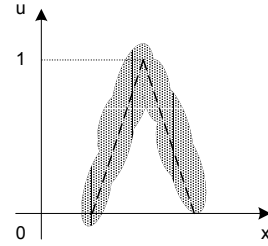
$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad J_x \subseteq [0,1] \quad (1)$$



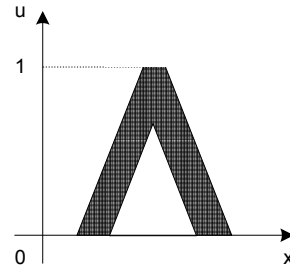
Şekil 1. Tip-2 bulanık mantık sistemin yapısı



(2a)



(2b)



(2c)

Şekil 2. a) Tip-1 üyelik fonksiyonu  
b) Bulanık tip-1 üyelik fonksiyonu  
c) Belirsizliklerin izi

### 3. TİP-2 BULANIK FİLTRE

Bu çalışmada önerilen tip2 bulanık filtre yapısı kestirme düzeltme ve üstel düzeltme yöntemlerini birlikte kullanmaktadır.

- *Kestirme Düzeltme Tahmin Algoritması*

Gürültü ve hata içeren ayrık zamanlı bir işareti tahmin etmek için aşağıdaki denklemleri göz önüne alalım.

$$\begin{aligned}\hat{x}_k^- &= \hat{x}_{k-1}^+ + T \cdot \hat{v}_{k-1} \\ \hat{x}_k^+ &= \hat{x}_k^- + g(z_k, \hat{x}_k^-)\end{aligned}\quad (2)$$

Burada  $\hat{x}$  tahmin edilen değerleri, T çözüm adımını,  $z_k$  gürültülü sinyali,  $\hat{v}$  akım oranı tahminini ve  $g(\cdot)$  ise düzeltme fonksiyonunu göstermektedir. Yukarıdaki denklemler asıl olarak kestirme-düzeltilme tahmin yapısını temsil etmektedir. Akım oranı tahmini için Taylor serisi açılımları kullanılarak t'nin kullanılabilir değerleri civarında  $x(t)$ 'nin açılımı yapılabilir [8].  $g(\cdot)$  fonksiyonu ise düzeltme fonksiyonu olarak bilinir ve matematiksel modelinin çıkarılması çok karmaşıktır [4]. Bu çalışmada  $g(\cdot)$  fonksiyonu yerine tip-2 bulanık mantık sistem kullanılacaktır. Görüldüğü gibi  $g(\cdot)$  ölçüm ve önceki tahmin değeri arasındaki farka bağlıdır. Böylece  $g(\cdot)$  fonksiyonu iki girişe sahip olacaktır [10].

$$\begin{aligned}(\text{giriş 1})_k &= z_k - \hat{x}_k^- \\ (\text{giriş 2})_k &= (\text{giriş 1})_k - (\text{giriş 1})_{k-1}\end{aligned}\quad (3)$$

- *Üstel Düzeltme Metodu*

Bu metod varsayılan bir y işareti için bir konvülsiyon toplamı ile t zamanda verilen işaretteki zaman dizisi üzerindeki sayısal değerlerin etkisiyle ilgilenir [11].

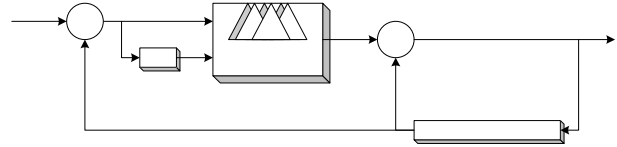
$$\hat{y}(t) = (1-\alpha)^{t+1} y(0) + \sum_{i=0}^t \alpha(1-\alpha)^{t-i} y(i) \quad (4)$$

Görüldüğü gibi konvülsiyon toplamı işlemi geçmiş verilerin bir indirgenmesidir. Bu ifadenin dönüşümlü bir formülünü elde edersek aşağıdaki denklemi verebiliriz.

$$\hat{y}(t) = \alpha y(t) + (1-\alpha)y(t-1) \quad (5)$$

Yukarıdaki ifade birinci dereceden düzeltme uygulanmış ifadedir ve  $\alpha$  düzeltme sabiti olup (0,1) arasında değişebilmektedir. Bu çalışmada basitlik için üstel düzeltme metodunun birinci derecesi kullanılacaktır. Denklem (4)'de kullanılan  $\hat{v}$  akım oranı tahmini uygulamalara göre değişebilmektedir ve bunun için kompleks işlemlere gerek duymaktadır. Bunu ortadan kaldırmak için üstel düzeltme metodu burada kullanılabilir. Böylece

hem daha kolay hem daha performanslı bir yapı elde edilmiş olur ve algoritma sadece bir önceki değeri tutmaya ihtiyaç duyar.

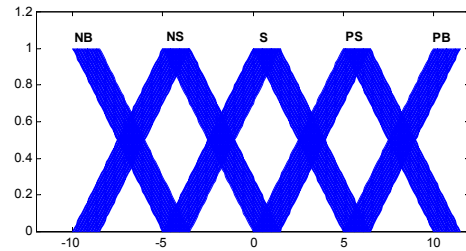


Şekil 2. Tip-2 bulanık filtrenin kural tablosu

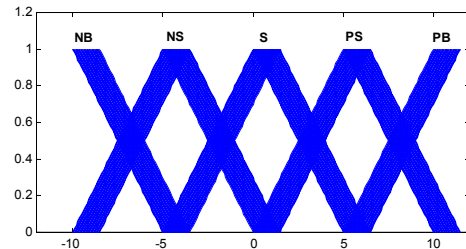
Şekil 2'de görülen filtre yapısı için kullanılan bulanık sistemin kural tablosu ve üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

	Giriş 1		Giriş 2		
	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NS	NS	Z	PS	PS
PS	NS	Z	PS	PS	PB
PB	Z	PS	PS	PB	PB

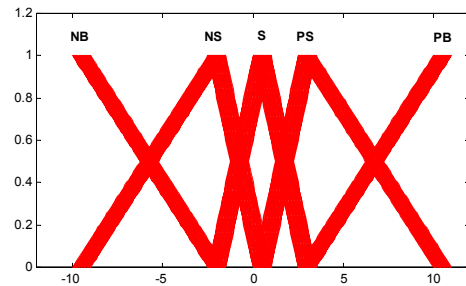
Şekil 3. Tip-2 bulanık filtrenin kural tablosu



(4a)

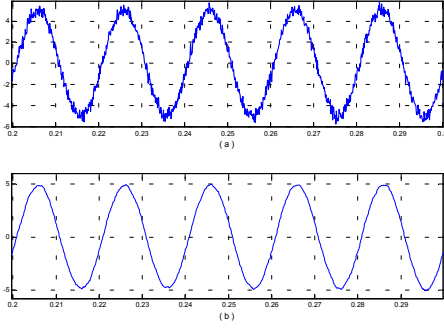


(4b)

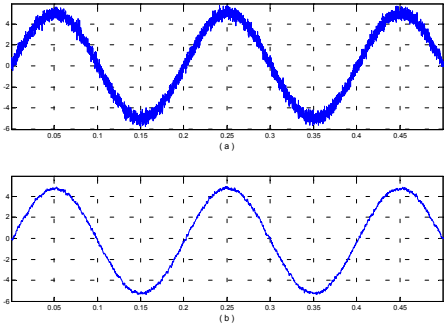


(4c)

Şekil 4. Tip-2 bulanık filtrenin giriş (4a-4b)ve çıkış (4c) üyelik fonksiyonları



**Şekil 5.** (a) Gürültülü 50 Hz frekanslı sinüs işareti  
(b) Gürültülü işaretin tip-2 bulanık filtre çıkışı



**Şekil 6.** (a) Gürültülü 5 Hz frekanslı sinüs işareti  
(b) Gürültülü işaretin tip-2 bulanık filtre çıkışı

Şekil 4a-b-c'den görüldüğü gibi tip-2 bulanık mantık sistemi giriş ve çıkışları için 5'er üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Önerilen tip-2 bulanık filtre yapısı Matlab-Simulink kullanılarak bilgisayar simülasyonu ile doğrulanmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6 sırası ile 50 Hz ve 5 Hz için gürültülü sinüs işaretinin tip-2 bulanık filtreden geçirilmesiyle elde edilen sonuçları göstermektedir. Daha önce yapılan filtre yapılarına göre üstünlüğü kestirme düzeltme yapısıyla birlikte üstel düzeltme yöntemini kullandığı için daha kolay ve esnek olması ayrıca tip-2 bulanık mantık sistemiyle gerçekleştirildiği için daha sağlam bir yapıya sahip olmasıdır. Sonuçlardan görüldüğü üzere giriş işareti ile çıkış işareti arasında genlik ve faz hatası yoktur. Farklı işaretlerin filtrelenmesi için yapı herhangi bir parametre değişikliğine ihtiyaç duymamaktadır. Bu filtre yapısı için bir dezavantaj tip-2 bulanık mantık sisteminin daha çok hesaplama zamanına sahip olmasıdır ancak günümüzdeki işlemcilerin hızının oldukça ilerlediğini düşünürsek bu dezavantaj olmaktan çıkmaktadır.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada tip-2 bulanık tabanlı bir filtre gerçekleştirilmiştir. Klasik filtrelerin birçok karmaşıklığını kaldıran bu filtre yapısında, doğasında belirsizlikleri elimine etme özelliğine sahip tip-2 bulanık mantık sistem kullanılarak

sağlamlığı artırılmıştır. Hemen hemen pratik uygulamaların birçoğunda gürültünün yok edilmesinin sistem performansı açısından önemi düşünüldüğünde bu çalışmada önerilen tip-2 bulanık filtre, simülasyonlarla elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi genlik ve faz hatası yapmamasının yanında farklı gürültü tiplerine karşı etkilidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Mahapatra S., Nayak S.K., Sabat S.L., Neuro fuzzy model for adaptive filtering of oscillatory signals, MEASUREMENT, ELSEVIER, Vol. 30, pp 231-239, 2001.
- [2] Karnik, N.N., Mendel, J.M., Liang, Q., Type-2 Fuzzy Logic Systems, IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, Vol 7, No 6, pp 643-658, December 1999.
- [3] Mendel, J.M., John, R.I.B., "Type-2 Fuzzy Sets Made Simple", IEEE Trans. On Fuzzy Systems, Vol 10, No 2, pp 117-127, April 2002.
- [4] Wu, H., Mendel J.M., "Uncertainty Bounds and Their Use in the Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems", IEEE Trans. On Fuzzy Systems, Vol 10, No 5, pp 622-639, October 2002.
- [5] Ovaska S.J., Sztandera L.M., Soft Computing in Industrial electronics, PHYSICA-VERLAG, 2002.
- [6] Cheok A.D., Ertugrul N., Use of Fuzzy Logic for Modelling, Estimation and Prediction in switched Reluctance Motor Drives, IEEE TRANS. ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, Vol 46, No 6, pp 1207-1224, 1999.
- [7] Mendel J.M., Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New directions, PRENTICE HALL PTR, 2001.
- [8] Simon D., Design and Rule Base Reduction of a Fuzzy Filter for the Estimation of Motor Currents, INTERNATIONAL JOURNAL OF APPROXIMATE REASONING, Vol 25, pp 145-167, 2000.
- [9] Simon D., El-Sherief H., Fuzzy Logic for Digital Phase-Locked Loop Filter Design, IEEE TRANS. FUZZY SYSTEMS, Vol 3, No 2, pp 211-218, 1995.
- [10] Karaköse M., Akın E., Evirgeç Üzerinden Beslenen Asenkron Motor Akımlarının Tahmininde Bulanık Süzgeç Kullanımı, ELECO'2002 ELEKTRİK-ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU, pp 369-372, 2002.
- [11] Costa Branco P.J., Dente J.A., A Fuzzy Relational Identification Algorithm and Its Application to Predict the Behaviour of a Motor Drive System, FUZZY SETS AND SYSTEMS, ELSEVIER, Vol. 109, pp 343-354, 2000.