

# Tip-1 Bulanık Sistemlerde Tip-2 Bulanık Girişler

Mehmet KARAKÖSE

Erhan AKIN

Fırat Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği, 23119 Elazığ

mkarakose@firat.edu.tr

eakin@firat.edu.tr

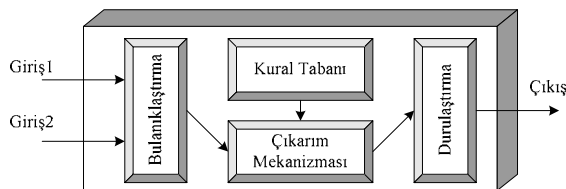
*Anahtar Sözcükler: Tip-1 bulanık mantık, Tip-2 bulanık mantık, Bulanık girişler, Bulanık kontrol*

## ABSTRACT

Fuzzy systems have been successfully applied to a wide range of problems. This paper presents type-2 fuzzy inputs in type-1 fuzzy systems. In this paper, new points of view concerning the representation of type-2 fuzzy inputs and their introduction in control systems are proposed for Mamdani fuzzy systems. A simple control process is chosen to illustrate the behavior of the algorithm using type-2 fuzzy inputs for fuzzy reference and fuzzy measurement. This paper shows that the introduction of type-2 fuzzy inputs in type-1 fuzzy systems seems natural and useful. The behavior of proposed concepts has been verified in the simulations.

## 1. GİRİŞ

Bulanık küme, bulanık mantık ve bulanık sistem, temelleri uzman kişilerden de sağlanan dilsel bilgilerin işlenerek belirli bir çözüm elde etmeyi sağlarlar. Her dilsel bilgi bir bulanık kümeye karşılık gelirken, bu bulanık kümelerde üyelik derecesi fonksiyonlarına kişisel tercihler yaparak karar verilebilmektedir. Günlük konuşma dilini modelleme imkanı veren bulanık mantık sistemlerin temel amacı bu dilsel bilgilerin kullanılarak çözüme nasıl gidileceğinin düşünülmesidir. Şekil 1’de gösterildiği gibi bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım mekanizması ve durulaştırma aşamalarına sahip bir tip-1 bulanık mantık sisteminde girişlerin değerlendirilmesi de önemlidir.



Şekil 1. Tip-1 bulanık mantık sistem

Bir sistemde eğer deneysel veriler uzman bilgisi ve eşzamanlı tahminler kullanılarak tanımlanıyor ve elde ediliyor ise, o zaman veride bazı olasılıksal ve istatistiksel belirsizlikler gerektirir. Bu durumda doğru

sonuçlar bulanık istatistiklerle olasılık analizi kullanılırsa elde edilebilir. Bulanık istatistiklerin bir özelliği bulanık ölçümlerdir.

Fernandez [1] çalışmasında bulanıklaştırılmış bir Takagi-Sugeno bulanık sistem sunmuştur. Bu çalışmada her bir giriş değişkeni için yeni bir eşitleme ve normalleştirme fonksiyonu tanımlanmıştır. Başka bir çalışmada Klir [2] uzman sistemlerde bulanık ölçümlerin yapılandırılması için metotlar ve farklı gösterimler tanımlanmıştır. Bulanık ölçümlerin genelleştirilmesi üzerine başka bir çalışma ise Guo'nun [3] çalışmasıdır. Burada bulanık ölçümlerde yeni bir alan açmak üzere basit gösterimler verilmiştir. Bulanık ölçümlerin temel alındığı bulanık girişlerin bulanık kontrolde kullanılması üzerine önemli bir çalışma Foulloy [4] tarafından gerçekleştirilmiştir. Foulloy doğrusal ve doğrusal olmayan kontrol sistemlerinde bulanık girişlerini kullanılmasının etkilerini araştırmış ve bunlar için Takagi-Sugeno bulanık kontrol sistemini seçmiştir.

Bulanık küme ve bulanık ölçümün belirsizliklerinin kaynakları temel olarak farklıdır. Örneğin " $x \in A$ " ifadesinde  $x$  kullanılan ortak  $X$  kümesinden bir eleman iken  $P$  ilgili özelliği göstermektedir. Bulanık kümedeki belirsizlikler  $P$ 'nin tanımını kapsayan dilsel yetersizliklerden kaynaklanır. Bulanık ölçümlerdeki belirsizlikler ise  $x$  hakkında bilgi yetersizliğinden kaynaklanır.

Bu belirsizlikler bulanık sistemin girişleri için önemlidir. Sisteme verilen referans değerlerin ve ölçümlerin üzerindeki böyle belirsizliklerin giderilmesi açıktır ki çok faydalı olacaktır. Özellikle kontrol sistemlerinde çok kullanılan referans ve ölçüm arasındaki fark kontrol algoritmasının temel kriterini oluşturmaktadır. Bu nedenle bulanık girişlerin tipi bulanık kontrol sistemleri için daha önemlidir.

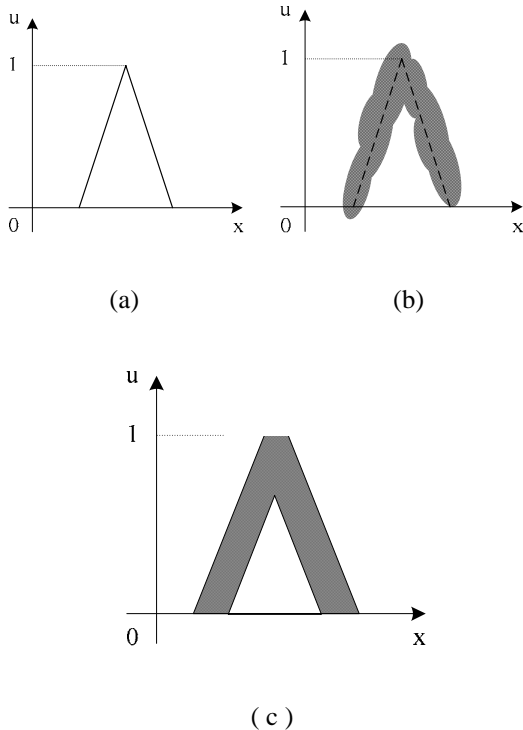
Bu çalışmada tip-1 bulanık mantık sistemlerinin girişlerinde tip-2 bulanık kümelerin kullanılarak olabilecek belirsizliklerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Kapalı çevrim kontrol sistemleri üzerinden verilen simülasyonlarla tip-2 bulanık

girişlerin kullanılmasının avantajları sunulmaktadır. Simülasyonlar için basit ve iyi bir test yolu olması sebebiyle dc motorun pozisyon kontrol problemi seçilmiştir.

## 2. TİP-2 BULANIK GİRİŞLER

Matematiksel modeller ne kadar ayrıntılı olsun gerçek dünyaya göre belirsizlik, yetersizlik ve bazı kararsızlıklara sahiptir. Bu belirsizlikler sayısal ölçülere bağlı rasgelelik ve sözel belirsizliklere bağlı bulanıklık olarak karşımıza çıkmaktadır [5]. Bulanıklık kurallarda kullanılan kelimelerin anlamlarının belirsiz olabilmesi (kelimeler farklı kişilere göre farklı anlamlarda olabilir), bilginin aynı düşüncede olmayan uzmanlardan elde edilebilmesi, sistemi aktif eden ölçümlerin gürültülü olabilmesi ve sistemlerin parametrelerini ayarlamak için kullanılan verinin de gürültülü olabilmesi gibi belirsizliklerden oluşur. Bu belirsizlikleri tip-1 bulanık kümeler direkt olarak modelleyemezler. Bunun için tip-2 bulanık kümeler kullanılabilir [6].

Tip-2 bulanık küme kavramı tip-1 bulanık kümeler olarak bilinen geleneksel bulanık küme kavramının bir genişlemesi olarak Zadeh tarafından verilmiştir [7],[8]. Şekil 2'de tip-1 üyelik fonksiyonundan tip-2 üyelik fonksiyonuna geçiş grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. a) Tip-1 bulanık küme, b) Belirsizliklerin etkisi, c) Tip-2 bulanık küme

$\tilde{A}$  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 [6].

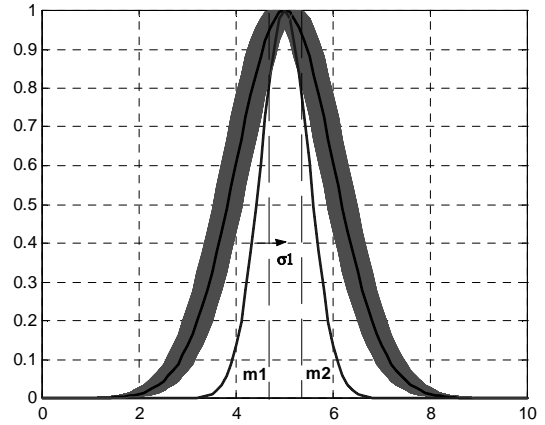
$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad J_x \subseteq [0,1] \quad (1)$$

Gauss tip-2 bulanık bir küme denklem (2) ile verilebilir.

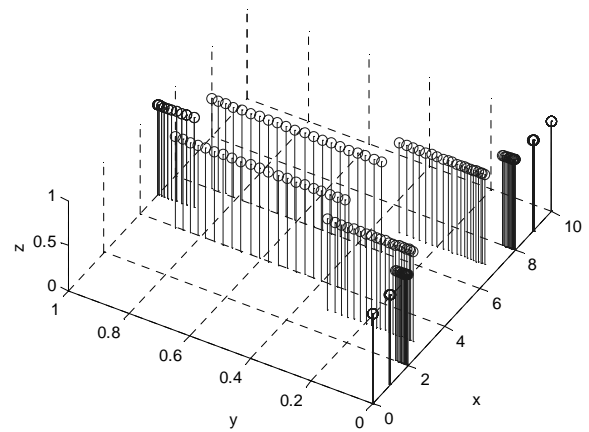
$$\tilde{A}(x) = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-m}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2)$$

burada  $m \in [m_1, m_2]$  and  $\sigma \in [\sigma_1, \sigma_2]$ .

$m$  ve  $\sigma$  değerlerine göre denklem (2) ile verilen gauss tip-2 bulanık kümenin grafiği şekil 3 ile gösterilebilir.



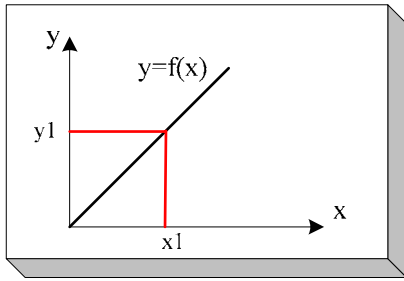
(a)



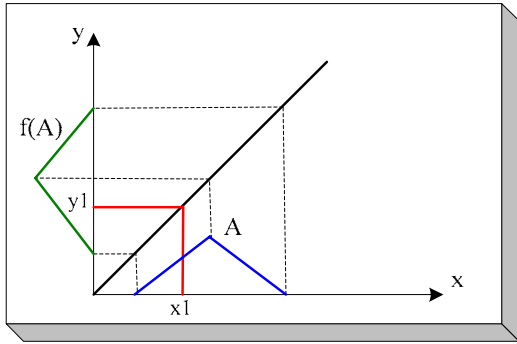
(b)

Şekil 3. a) Gaussian üyelik fonksiyon izi, b) Tip-2 üyelik fonksiyonu

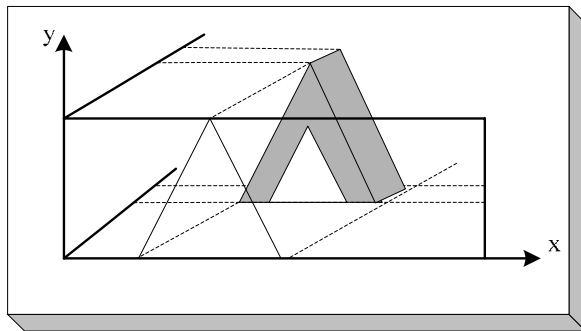
Şekil 4'te bir fonksiyon üzerine keskin fonksiyon işlemi ile giriş olarak bulanık küme kullanılmasının farkı görülmektedir. Giriş üzerinde daha önce bahsedilen belirsizliklerin olması durumunda buradaki tip-1 bulanık küme yetersiz kalacaktır. Bunun için girişlerde tip-2 bulanık küme kullanılmasının faydalı olacağı açıktır. Şekil 4a'da görüldüğü gibi keskin bir küme giriş olarak alındığında kullanılan fonksiyon üzerinden değeri çıkışa yansımaktadır. Oysa bulanık bir küme kullanıldığında çıkış daha farklı bir değişim gösterecektir. Bu bulanık kümenin üçgen seçilmesi durumunda oluşacak değişim şekil 4b'de verilmiştir. Bu çalışmanın konusunu oluşturan tip-2 bulanık girişlerin etkinliği basit olarak şekil 4c ile anlatılmaya çalışılmıştır. Tip-1 bulanık küme üzerinde oluşabilecek belirsizlik ve yetersizlikler tip-2 bulanık küme ile giderilmiş ve giriş olarak kullanıldığında nasıl bir değişime sahip olacağı gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 4.** a) Keskin fonksiyon b) Tip-1 bulanık küme girişi c) Tip-2 bulanık küme girişi

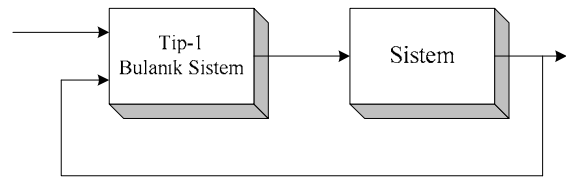
Bulanık bir giriş sinyali kullanılan sisteme göre bulanık bir amaca ulaşabilmek olarak göz önüne alınabileceği gibi sistemdeki herhangi bir noktadan alınan bulanık ölçüm olarak ta kullanılabilir. Örneğin bir arabayı yaklaşık bir mesafeden takip etmek isteyebilirsiniz. Bu bulanık bir ifadeye dönüştürüldüğünde bir üyelik fonksiyonu derecesi ile tanımlanacaktır. Bu durumda yüksek dereceli ifadeler sistem çıkışına ulaşmak için daha tercih edilen değerler olacaktır. Diğer yandan ölçüm için kullanılabilen bulanık girişler için gerçek dünyada duyarlarının ölçümün tam doğru değerini sağlayamadığı çok iyi bilinen bir gerçektir. Ölçüm üzerinde oluşacak birçok belirsizlik söz konusudur. Bunun için bu belirsizlikleri modelleyen bir bulanık giriş kullanılması yararlı olacaktır.

### 3. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Tip-2 bulanık girişlere sahip tip-1 bulanık sistemin davranışını incelemek için bu çalışmada basit bir dc motorun pozisyon kontrolü transfer fonksiyonu kullanılacaktır. Burada önerilen algoritmanın gerçekleştirilmesi için Matlab/Simulink ve Fuzzy Logic Toolbox programları kullanılmıştır.

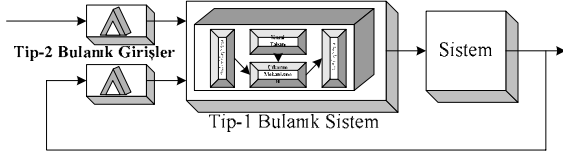
$$G(s) = \frac{2.2}{s(8.959 \times 10^{-6} s^2 + 7.268 \times 10^{-3} s + 0.9449)}$$

Simülasyonlarda kullanılacak dc motorun kontrol modeli yukarıdaki transfer fonksiyonu ile verilebilir. Burada sistem çıkışı olarak kullanılacak 360°'lik gerçek açı değeri 1'e normalize edilerek kullanılacaktır. Örnekleme zamanları ise 200 µs olarak seçilmiştir.



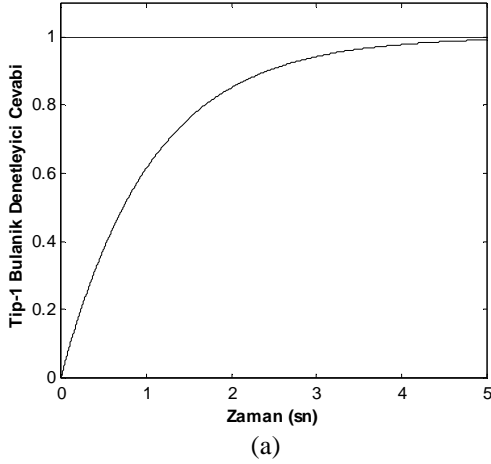
**Şekil 5.** Tip-1 bulanık kontrol sistemi

Şekil 5'de gösterilen Mamdani tip-1 bulanık kontrol sistemi için iki giriş ve bir çıkış için beşer üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Daha kolay gerçekleştirildiğinden dilsel değişkenler için üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Üçgen tip-2 bulanık kümeler kullanan tip-1 bulanık kontrol sisteminin yapısı ise şekil 6'te verilmiştir. Bulanık girişlerin üçgen seçilmesi yine gerçekleştirilmesi daha kolay bir yapı elde edilmesini sağlamıştır.

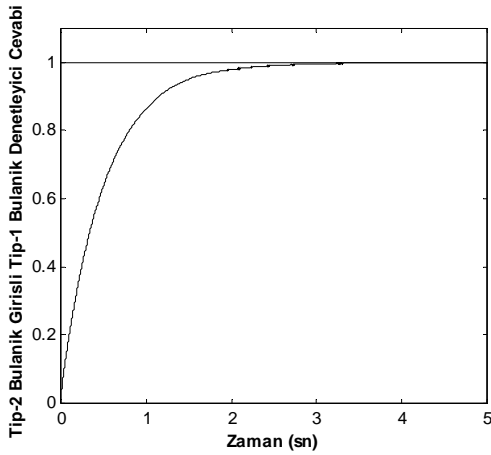


**Şekil 6.** Tip-2 bulanık girişlere sahip tip-1 bulanık kontrol sistemi

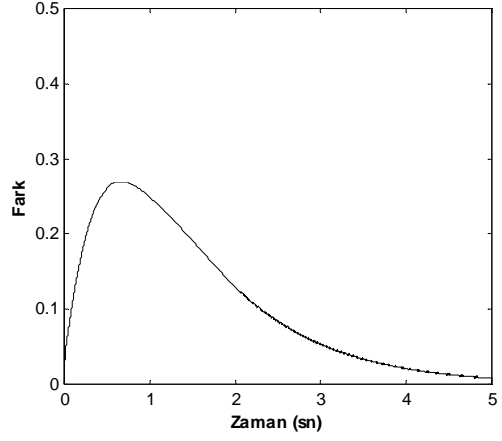
Şekil 7 klasik PI denetleyici, tip-1 bulanık denetleyicili ve tip-2 bulanık girişli tip-1 bulanık sistemle kontrol edilen dc motorun çıkış cevapları verilmiştir. Şekil 7a tip-1 bulanık sistem kullanan kontrol algoritması kullanılarak elde edilen çıkış cevabını göstermektedir. Şekil 7b ile verilen tip-2 bulanık girişleri kullanan tip-1 bulanık mantık sistem cevaplarından görüleceği üzere klasik tip-1 bulanık sisteme göre daha hızlı bir cevaba sahiptir. Tip-2 bulanık girişleri kullanan sistem ile kullanmayan sistem arasındaki fark şekil 7c ile gösterilmiştir. Şekil 7d ise klasik PI denetleyici kullanan kontrol algoritması için çıkış cevabını göstermektedir. Bu şekilde sürekli durum hatasının sifıra gitmesi oldukça zaman almaktadır. Şekil 7e ise tip-2 bulanık girişleri kullanan denetleyici ile klasik PI arasındaki farkı göstermektedir.



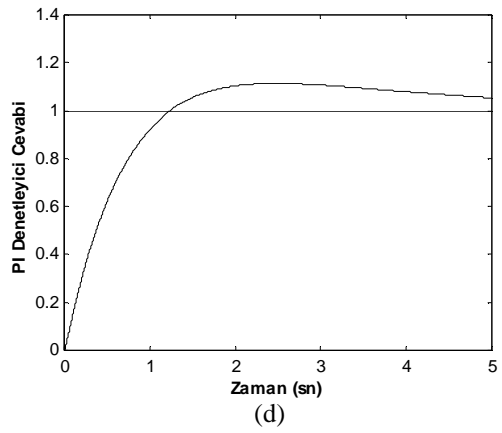
(a)



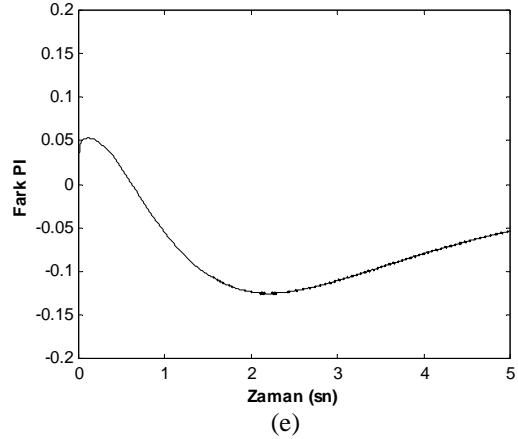
(b)



(c)



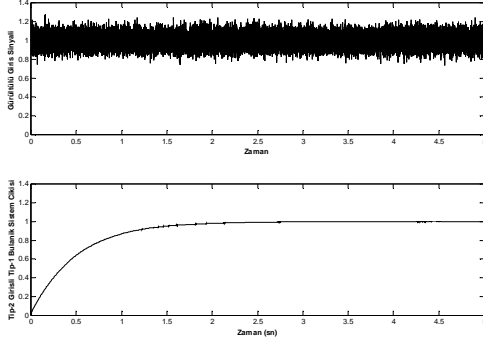
(d)



(e)

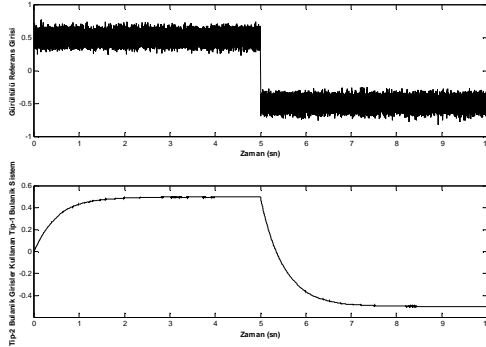
**Şekil 7.** Birim basamak referansı için dc motor pozisyon kontrolünde klasik PI, tip-1 bulanık denetleyici ve tip-2 bulanık girişli tip-1 bulanık denetleyici cevapları

Bulanık sistemde tip-2 girişler kullanmanın en etkili olduğu yönlerden birisi referans sinyal veya ölçülen sinyalin gürültülü olma durumudur. Şekil 8'de sisteme dışarıdan gürültü eklenmesi durumunda tip-2 girişleri kullanan bulanık sistemin davranışı verilmiştir. Görüldüğü gibi sistem çıkışı gürültüden etkilenmemiştir. Gürültü ve bunun gibi belirsizlikleri tip-2 bulanık kümelerin modelleyebildiği düşünüldüğünde bu beklenen bir sistem cevabıdır.



**Şekil 8.** Birim basamak referansı için dc motor pozisyon kontrolünde gürültülü referans sinyali için tip-2 bulanık girişli tip-1 bulanık denetleyici cevabı

Gürültülü referans sinyali için başka bir simülasyon sonucu da farklı pozisyon değerlerinde Şekil 9'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi gürültüye karşın bulanık sistemin çıkış cevabı kararlıdır. Sistem ilk olarak 0.5pu referansı ile başlatılmış daha sonra dc motor ters yönde dönmesi için -0.5pu referansı uygulanmıştır. Burada gürültülü sinyal tip-2 bulanık kümelerden geçtikten sonra bulanık sisteme verilmiş ve işlenmiştir.



**Şekil 9.** 0.5pu ve -0.5pu referansı için dc motor pozisyon kontrolünde gürültülü referans sinyali için tip-2 bulanık girişli tip-1 bulanık denetleyici cevabı

Burada basit bir kontrol işleminin seçilmesine rağmen istenilen bütün bulanık sistemlerde tip-2 bulanık girişler kullanılabilir. Temel olarak belirsizliklerin daha çok olabileceği sistemler önerilen algoritma için daha uygun bir uygulama alanı olacaktır.

Bulanık girişlerin kullanılması ile bulanık sistemlerde kullanılan ölçekleme faktörlerine gerek kalmamaktadır. Bilindiği gibi ölçekleme faktörleri bulanık sistemin girişlerine gelen değerlerin bulanıklaştırma için kullanılan üyelik fonksiyonlarının taban değerlerinin dışına çıkmaması için kullanılmaktadır. Bulanık girişlerin kullanılması ile bu aralık belirli olacağından ölçekleme faktörlerinin kullanımına veya bu faktörleri ayarlamakta kullanılan değişik algoritmalara gereksinim kalmayacaktır.

## 4. SONUÇLAR

Klasik yöntemlere göre bulanık mantık sistemlerin kullanılmasının getirdiği avantajların tartışıldığı zamanların arkasından şu an literatürde bulanık mantık sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada da tip-1 bulanık mantık sistemlerde tip-2 bulanık girişler kullanmanın getireceği avantajlar gösterilmeye çalışılmıştır. Basit bir sistem üzerinden verilen simülasyon sonuçları tip-2 bulanık girişlerin kullanılmasıyla birçok belirsizliğin elimine edildiği doğrulanmıştır. Bulanık sistemlerde böyle girişlerin gerçekleştirilmesinin oldukça kolay olduğu açıktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Fernandez F., Gutierrez J., A Takagi-Sugeno model with fuzzy inputs viewed from multidimensional interval analysis, FUZZY SET AND SYSTEMS, ELSEVIER, vol. 135, pp. 39-61, 2003.
- [2] Klir G.J., Wang Z., Harmanec D., Constructing fuzzy measures in expert systems, FUZZY SET AND SYSTEMS, ELSEVIER, vol. 92, pp. 251-264, 1997.
- [3] Guo C., Zhang D., On set-valued fuzzy measures, INFORMATION SCIENCES, ELSEVIER, vol. 160, pp. 13-25, 2004.
- [4] Foulloy L., Galichet S., Fuzzy control with fuzzy inputs, IEEE TRANS. ON FUZZY SYSTEMS, vol. 11, no. 4, pp. 437-448, August 2003.
- [5] Baykal N., Beyan T., Bulanık mantık ilke ve temelleri, BIÇAKLAR KİTABEVİ, 2004.
- [6] Mendel J.M., Uncertain rule-based fuzzy logic systems: introduction and new directions, PRENTICE HALL, Upper Saddle River, 2001.
- [7] L.A. Zadeh, "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", INFORMATION SCIENCES, vol. 8, pp. 43-80, 1975.
- [8] Karnik, N.N., Mendel, J.M., Liang, Q., "Type-2 Fuzzy Logic Systems", IEEE TRANS. ON FUZZY SYSTEMS, Vol 7, No 6, pp 643-658, December 1999.
- [9] Gao X., Soft Computing Methods for Control and Instrumentation, PHD DISSERTATION, HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Espoo, 1999.
- [10] Jang J.S.R, Sun C.T and Mizutani E, Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, PRENTICE-HALL, 1997.
- [11] Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., An Introduction to Fuzzy Control, SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG, 1996.