

FUZZY MODELLING APPROACH AND APPLICATIONS

M. SARI¹, Y. Ş. MURAT² ve M. KIRABALI³

ABSTRACT

Since ages uncertainty analysis and its modelling have been studied by several researchers. In this topic various approaches were developed. Fuzzy logic is a technique which is used to solve problems including uncertainty. In this study, some models have been developed for different problems related to various topics. The models were taken into consideration by closed loop system control and decision analysis. In the example of the traffic signal control modelling among the developed models, a comparison was made between the fuzzy control modelling and conventional modelling. At the end of the comparison, it has been underlined that the fuzzy logic is better approach than the classical modelling for problems involving certain amount of uncertainty. In the modelling of a house heating system, a multicriteria evaluation problem was dealt with the use of fuzzy modelling and easily decided to be which one of the best system. Yet, a system was designed which produces nearly natural yoghurt with the consideration of fuzzy logic model of yoghurt making. Thus, a model which is easier to be use and able produce in a shorter time than the conventional approach was developed.

Keywords: Uncertainty, Fuzzy Logic, Decision Analysis, Traffic Signal Control, Modelling

^{1,3}Pamukkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Denizli/ TÜRKİYE e-posta: msari@pamukkale.edu.tr

²Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Denizli /TÜRKİYE e-posta: ysmurat@pamukkale.edu.tr

BULANIK MODELLEME YAKLAŞIMI VE UYGULAMALARI

ÖZET

Belirsizlik analizi ve modellemesi kimi araştırmacılar tarafından yıllardan beri çalışılmaktadır. Bu konuda çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bulanık mantık, belirsizlik içeren problemlerin çözümünde kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, çeşitli konulardaki problemler için bazı modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, karar analizi ve kapalı çevrimli sistem denetimindeki problemlere özgü olarak tasarlanmıştır. Geliştirilen modellerden trafik sinyal denetimi örneğinde klasik modelleme ile bulanık denetimli modelleme arasında bir karşılaştırma yapılmış ve yapılan bu çalışma sonucunda belli dereceye kadar belirsizlik içeren problemlerin çözümünde bulanık mantığın klasik mantıktan daha iyi bir yaklaşım olduğunun altı çizilmiştir. Bina Kalorifer sistemi seçimi modelinde çok ölçütlü değerlendirme problemi bulanık modelleme ile ele alınmış ve en uygun sistem seçimi kararı kolayca verilmiştir. Ayrıca bulanık mantık yoğurt üretimi modeli ile doğala en yakın yoğurt üretim sistemi tasarlanmış ve geleneksel üretim sistemine göre daha kolay ve daha hızlı biçimde üretim yapabilecek bir model geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Belirsizlik, Bulanık Mantık, Karar Analizi, Trafik Sinyal Denetimi, Modelleme

1. Giriş

İnsanoğlu günlük hayatını sürdürürken pek çok sorun ile karşılaşmakta ve geçmişte edindiği bilgi ve deneyimlerden yararlanarak çözümler üretmektedir. Bu sorunların bir kısmı tamamen belirli olmakta ve kolayca tanımlanabildiğinden dolayı çözüm getirilmesi de kolay olmaktadır. Bunun yanı sıra, belirsizlikler içeren veya tam olarak tanımlanamayan sorunların çözümü ise nispeten zor olmakta ve görecelilik arz etmektedir.

Belirsizliğin bu önemli rolünün anlaşılması, geleneksel anlayıştan belirsizliği temel alan modern anlayışa geçişi sağlayan dönüşümü başlatmıştır. Bu anlayış literatüre ilk girdiği anda deterministik bir anlayıştaki klasik görüşe ters düşmesinden dolayı çok sıcak karşılanmamıştır. Bu alandaki gelişme sürecinde, ihtimal teorisinden farklı olarak belirsizlikle ilgili birçok teorisinin ortaya çıktığı görülmüştür.

1930'larda Max Black belirsizliği açıklayıcı öncü kavramlar geliştirmiş olsa da; bugün, Zadeh [1] tarafından kaleme alınan çalışma, modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir nokta olarak kabul edilir. Bu makalesinde, Zadeh kesin olmayan sınırlara sahip kümelerin oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya koymuştur. Söz konusu çalışma, Aristo mantığına karşı meydan okumasından ötürü önemlidir.

Bulanık küme teorisinin, üyelikten üye olmamaya dereceli geçişi ifade etmesindeki yeteneği, belirsizlikleri tanımlamada önemli bir yere sahiptir. Bulanık küme teorisi; belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmasına ek olarak, dilimizde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir biçimde temsilini sağlar. Ancak Aristo mantığı üzerinde temellenen klasik küme teorisi, verilen bir alana ait bütün bireyleri incelenen özelliğe göre, kümeye ait olan elemanlar ve ait olmayanlar olmak üzere ele almaktadır. Kümeye üye ve üye olmayan elemanlar arasında kesin ve belirsiz olmayan bir ayrım vardır. Dilimizde ifade edilen ve üzerinde çalışılan çoğu sınıflandırma kavramı, bu türde bir karakter de değildir. Örneğin; uzun boylu insanlar kümesi, pahalı otomobiller kümesi, yakın sürüş mesafesi, güvenilir kar araçları, birden çok büyük sayıların oluşturduğu küme gibi kavramlar klasik küme teorisinin öngördüğu şekilde incelenemezler.

Bir bulanık küme, çalışma yapılan alana ait her bir elemana matematiksel olarak kümedeki üyelik derecesini temsil eden bir değer atayarak tanımlanır. Bu değer, elemanın bulanık küme tarafından ifade edilen kavrama üyelik derecesini ifade eder. Bundan dolayı bireylerin kümeye ait olması farklılaşır. Üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındaki gerçel sayılarla temsil edilirler. Tam üye olma ve üye olmama durumu, bulanık kümede sırasıyla 1 ve 0 değerleriyle karşılanır. Bundan dolayı da, klasik küme kavramı bulanık küme kavramının bu iki değere kısıtlanmış özel bir şekli olarak görülebilir.

Oluşturduğu kavramsal çerçeve ve sonuçları itibariyle oldukça geniş bir perspektife sahip olan bulanık küme üzerine yapılan araştırmalar [1-4] ortaya çıktığı gündün bu yana hızla artmıştır. Uygulama alanlarının genişliği ve bu alanlarda oluşturulan sonuçların etkisinden dolayı bulanık küme teorisi bugün bilimsel çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır [5-12].

Bu çalışmada da farklı ve özgün uygulamalarla bulanık mantığın önemi ve gerekliliği ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında, özellikle seçilen farklı alanlardaki özgün problemler için yeni model ve uygulamalar geliştirilmiş ve sunulmuştur. Modellerin tasarımı için henüz kullanılmamış olan problemler ele alınmıştır. Çalışmanın temel amacı, bulanık modellemenin felsefesini tanıtarak, pek çok farklı alanda uygulanabileceğini gerçek modellemeler ile araştırmacılara sunmak ve yeni uygulama alanları için teşvik etmektir.

2. Bulanık Modelleme

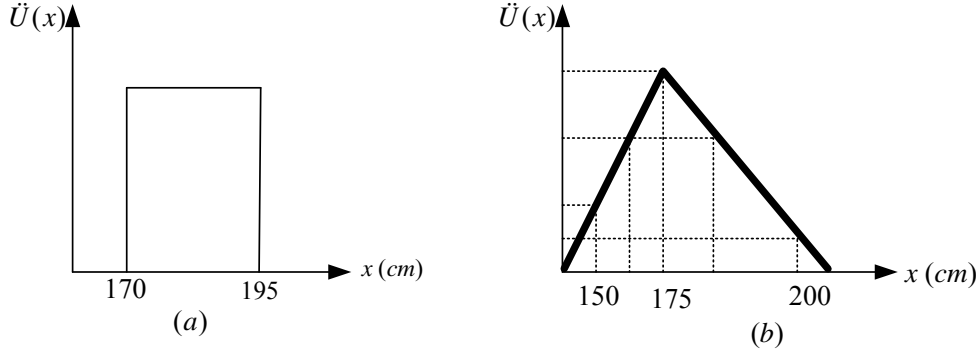
Bulanık kümeye dayalı modelleme, çoklu değerlikler ile değerlendirme yapması nedeniyle problemlerin çözümünde kolaylık ve gerçeğe yakınlık gibi üstünlüklere sahip olmaktadır. Buna karşın klasik kümede sadece iki değerlik (0 ve 1) söz konusudur. Bundan dolayı, ele alınan problemler kolaylıkla çözülememektedir. Bu problem, klasik mantığın kabulü olan var-yok çiftinin ara değerlerini tanımlamakla yok edilebilir. Şekil 1a.'da gösterildiği gibi klasik A kümesi (uzun boylu insanlar kümesi), bulanık küme kapsamında değerlendirildiğinde, kümenin elemanı olma veya olmama hali belirli üyelik dereceleri ile ifade edilmektedir (Şekil 1.b). Buna göre A bulanık kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri liste olarak aşağıdaki biçimde verilmektedir:

$$A = \{0,2/160 + 0,9/170 + 1/175 + 0,8/180 + 0,1/196\}$$

İfadeden anlaşıldığı üzere, klasik küme kavramında eleman olarak kabul edilmeyen 160 ve 200 cm lik boyların da bulanık küme kavramında belirli bir üyelik derecesi ile eleman olarak kabulü söz konusu olmaktadır. Bu kabul aslında gerçek hayata dayanmaktadır. Çünkü gerçek hayatta da birçok olayı keskin sınırlarla ifade etmek hatalı olmaktadır. Dolayısıyla bir esneklik tanıyarak ele almak daha çok gerçeğe yaklaşmayı sağlamaktadır.

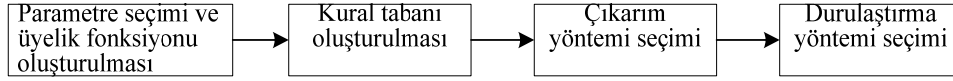
Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra, Zadeh, bulanık küme teorisinin, en büyük yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlilikte olduğu fikrini ortaya atmış ve bu doğrultuda çalışmalar gerçekleştirmiştir [1].

Bulanık mantık, problemleri daha esnek değerlendirme imkânı sağlamasının yanında, günlük hayatta sıklıkla kullanılan belirsiz sözel ifadeleri de kolayca ve sayısal olarak tanımlamaya oldukça elverişlidir. Örneğin “suyu ılıklaştır”, “yemeği biraz pişir”, “hava çok rüzgârlı” ifadelerinde yer alan “ılık”, “biraz”, “çok” kelimeleri belirsiz ama rasgele olmayan kelimelerdir. Klasik mantık yaklaşımı ile bu belirsiz ifadeleri gerçeğe yakın biçimde tanımlamak çok zordur[13]. Fakat bulanık mantık ile bu kelimeler kolayca ve fazla ilave bilgiye ihtiyaç duyulmadan tanımlanabilir. Bunun gibi üstün özelliklerinden dolayı bulanık mantık yaklaşımı, tasarımcılar ve uygulamacılar tarafından kabul görmüş ve çeşitli modeller geliştirilmiştir[5].



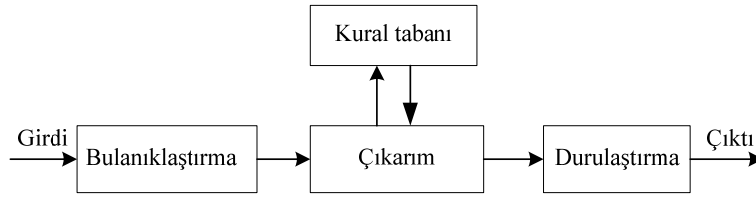
Şekil 1 Uzun Boylu İnsanlar kümesinin (a) Klasik ve (b) Bulanık gösterimi

Bulanık modelleme aşamaları Şekil 2'deki gibi verilebilir:



Şekil 2 Bulanık Kural Tabanlı Sistem yapısı (BKTS)

Bulanık modellemenin ilk aşaması, problemin tanımlanması ve buna göre uygun parametrelerin seçilerek üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasıdır. Daha sonra ilgili parametreler ve oluşturulan bulanık alt kümelerle göre problemin çözümünü içeren kurallar dizisi veya kural tabanı oluşturulur. Üçüncü aşamada ise çıkarım yöntemleri seçilir[14]. Son aşamada ise, bulanık olan değerlerin tekrar durulaştırılması veya klasik sayılara dönüştürme yöntemi belirlenir. Bulanık mantık sistemin çalışma yapısı Şekil 3'de verilmiştir[15].



Şekil 3 Bulanık Mantık Sistemin çalışma yapısı

Şekil 3'te görüldüğü gibi, öncelikle girdiler üyelik fonksiyonları ile değerlendirilerek bulanıklaştırılır. Daha sonra ise, seçilen çıkarım yöntemine göre ve kural tabanından faydalanarak çıkarım yapılır ve elde edilen bulanık sonuç durulaştırılarak klasik sayı haline dönüştürülür.

Yukarıdaki ifadelerden anlaşıldığı üzere, bulanık mantık yardımı ile özellikle belirsizlikler içeren ve eksik verilerin bulunduğu problemler kolayca modellenebilmektedir. Bu yapısı nedeni ile öncelikle kontrol ve karar verme problemleri olmak üzere pek çok alanda bulanık mantık yaygın bir şekilde kullanılmaktadır[16-19]. Bu çalışma kapsamında farklı alanlardaki bazı problemlere özgü yeni modeller geliştirilmiş ve uygulamalar ile tartışılmıştır.

3. Bulanık Modelleme Uygulamaları

3.1 Karar Analizi

Bu uygulamada birden fazla kriter içeren bir konuda en doğru kararı verebilmek için bulanık mantık kullanılmış ve aynı zamanda bulanık mantığın çok ölçütlü değerlendirme amacı ile de kullanılabilceği ortaya konmuştur. Günlük yaşamla olan doğrudan ilgisi böyle bir çalışmanın gerekliliğini ve önemini ortaya koymaktadır.

Bir binanın kalorifer sisteminin seçiminde bulanık mantık ile modelleme yapılacaktır. Model parametreleri olarak yakıt kullanımı, kullanım kolaylığı, garanti süresi ve maliyet dikkate alınmıştır. Kalorifer sistemini satın alacak kişiler, kalorifer sisteminde şu özellikleri aramaktadır; yakıt tüketiminin az olması, kullanımın rahat olması, garanti süresinin fazla olması ve maliyetin en az olması. Kalorifer sistemini alacak olan kişiler için belirtilen kıstaslar eşit önem derecesine sahiptir. Bu durumda ilgili kriterlerin tümünü dikkate alarak tek bir karara varmak gerekmektedir.

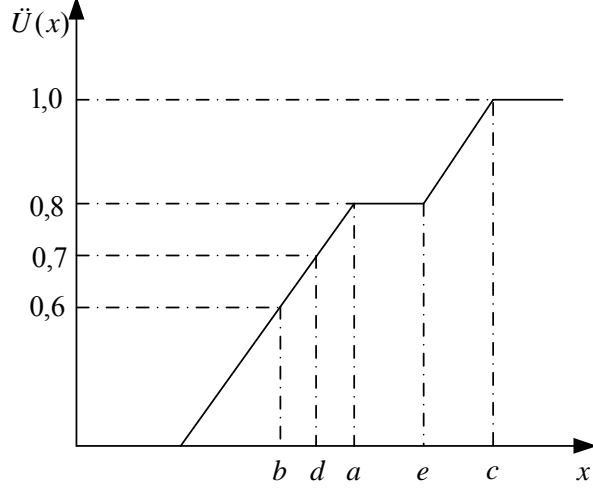
Problemi bulanık olarak modelleyerek bir sonuca ulaşmak amacıyla aşağıdaki gibi bir yol izlenebilir:

Görüşme yapılan beş kalorifer firması $X = \{a, b, c, d, e\}$ ile gösterilsin.

Yapılan görüşmelerde firma yetkililerinin yakıt kullanımı için verdiği cevaplar aşağıdaki gibidir:

- a Firması: Yakıt kullanımı iyi
- b Firması: Çok yakıt harcar
- c Firması: Az yakıt harcar
- d Firması: Yakıt kullanımı normal
- e Firması: Yakıt kullanımı iyi

$\tilde{U} : X \rightarrow [0,1]$ üyelik fonksiyonunda, 1 üyelik derecesini alacak firma hiç yakıt kullanmayan kalorifer üreten firma olarak düşünülürse verilen cevaplarla, yakıt bulanık kümesi olan Y aşağıdaki biçimde belirlenebilir (Şekil 4):



Şekil 4 Yakıt kullanımına göre firmaların üyelik derecelerinin gösterimi

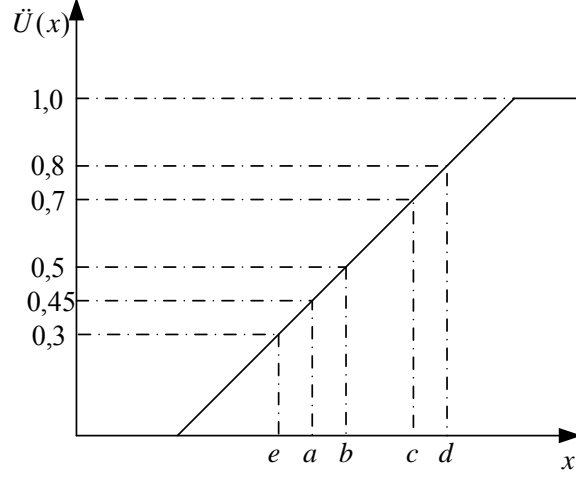
$$Y = \{0,8/a + 0,6/b + 1,0/c + 0,7/d + 0,8/e\} \text{ olur.}$$

Görüşmelerde firma yetkililerinin kullanım rahatlığı ile ilgili verdiği cevaplar şöyledir;

- a Firması: Kullanımı pek rahat değildir.
- b Firması: Kullanımı rahat sayılır.
- c Firması: Kullanımı rahattır.
- d Firması: Kullanımı çok rahattır.
- e Firması: Kullanımı biraz zordur.

Bu cevaplara karşılık gelen kullanım rahatlığı bulanık alt kümesi olan K kümesi aşağıdaki gibidir (Şekil 5):

$$K = \{0,45/a + 0,7/c + 0,5/b + 0,8/d + 0,3/e\} \text{ olur.}$$



Şekil 5 Kullanım rahatlığına göre firmaların üyelik derecelerinin gösterimi

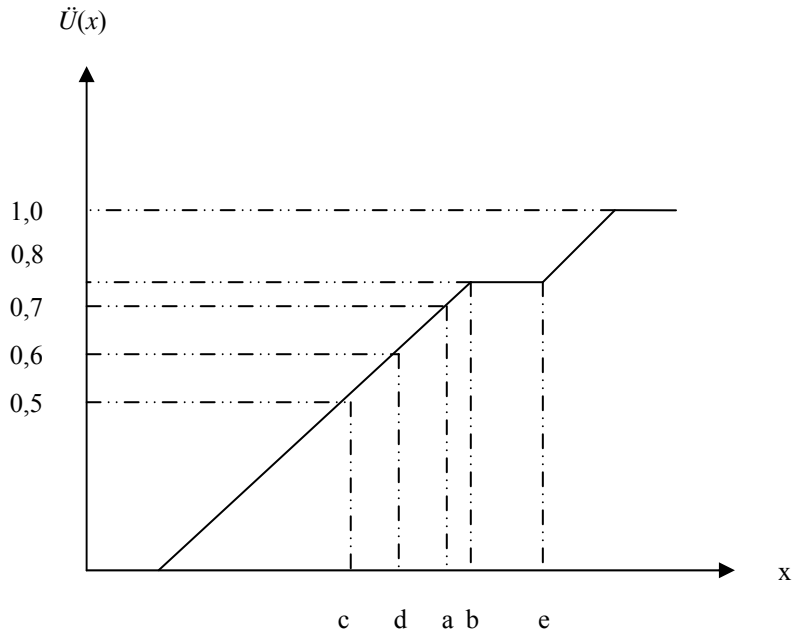
Firma yetkililerinin garanti süreleri için verdiği yanıtlar:

- a Firması: garanti süresi 7 yıldır.
- b Firması: garanti süresi 8 yıldır.
- c Firması: garanti süresi 5 yıldır.
- d Firması: garanti süresi 6 yıldır.
- e Firması: garanti süresi 8 yıldır.

Bu cevaplara karşılık gelen, garanti süresi bulanık alt kümesi olan G kümesi aşağıdaki gibi belirlenebilir (Şekil 6):

$$G = \{0,7/a + 0,8/b + 0,5/c + 0,6/d + 0,8/e\} \text{ olur.}$$

Son olarak, firma yetkililerinin fiyat konusunda verdiği cevaplar şöyledir:



Şekil 6 Garanti süresine göre firmaların üyelik derecelerinin gösterimi

- a Firması: 40 Milyar
- b Firması: 50 Milyar
- c Firması: 60 Milyar
- d Firması: 20 Milyar
- e Firması: 45 Milyar

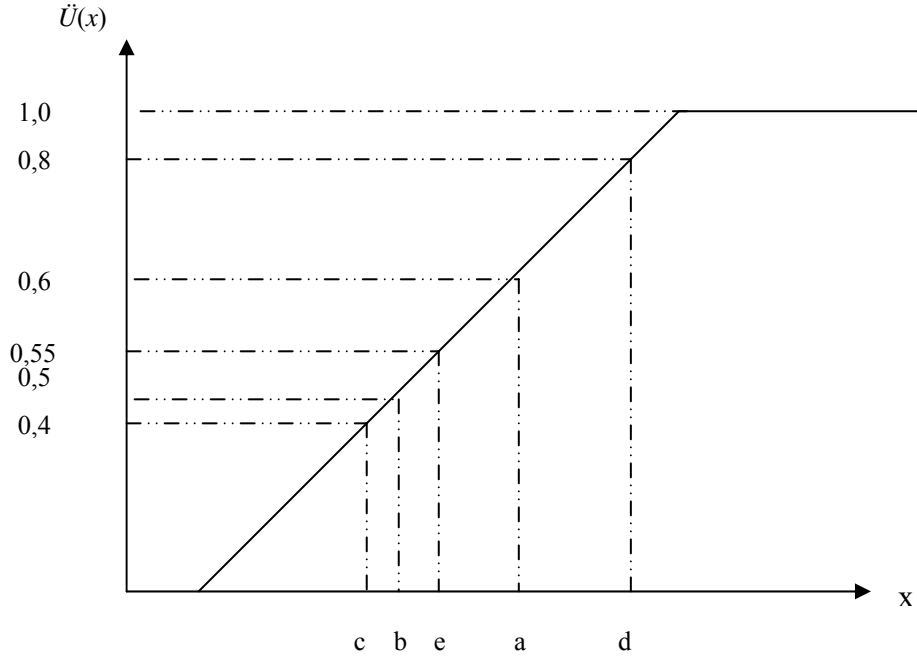
Şimdi bu cevaplara karşılık gelen, fiyat bulanık alt kümesi olan F 'yi tespit edelim:
Burada üyelik derecesi aşağıdaki biçimde belirlenir:

$$\ddot{U}(x) = 1 - \frac{\text{fiyat(milyon)}}{100}$$

Buradan,

$$F = \{0,6/a + 0,5/b + 0,4/c + 0,8/d + 0,55/e\} \text{ olur.}$$

Buna göre belirlenen üyelik derecelerinin gösterimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7 Teklif edilen fiyatlara göre firmaların üyelik derecelerinin gösterimi

Kalorifer sistemini alacak kişiler için tüm kriterlerin eşit önem derecesine sahip olduğu göz önüne alınarak en uygun olan belirlenebilir. Bunun için bulunan bulanık kümelerin kesişimi ile oluşan bulanık kümede, en büyük üyelik derecesi durulaştırması kullanılarak,

$$Y \cap K \cap G \cap F = \{0,45/a + 0,55/b + 0,4/c + 0,6/d + 0,3/e\}$$

olarak bulunur.

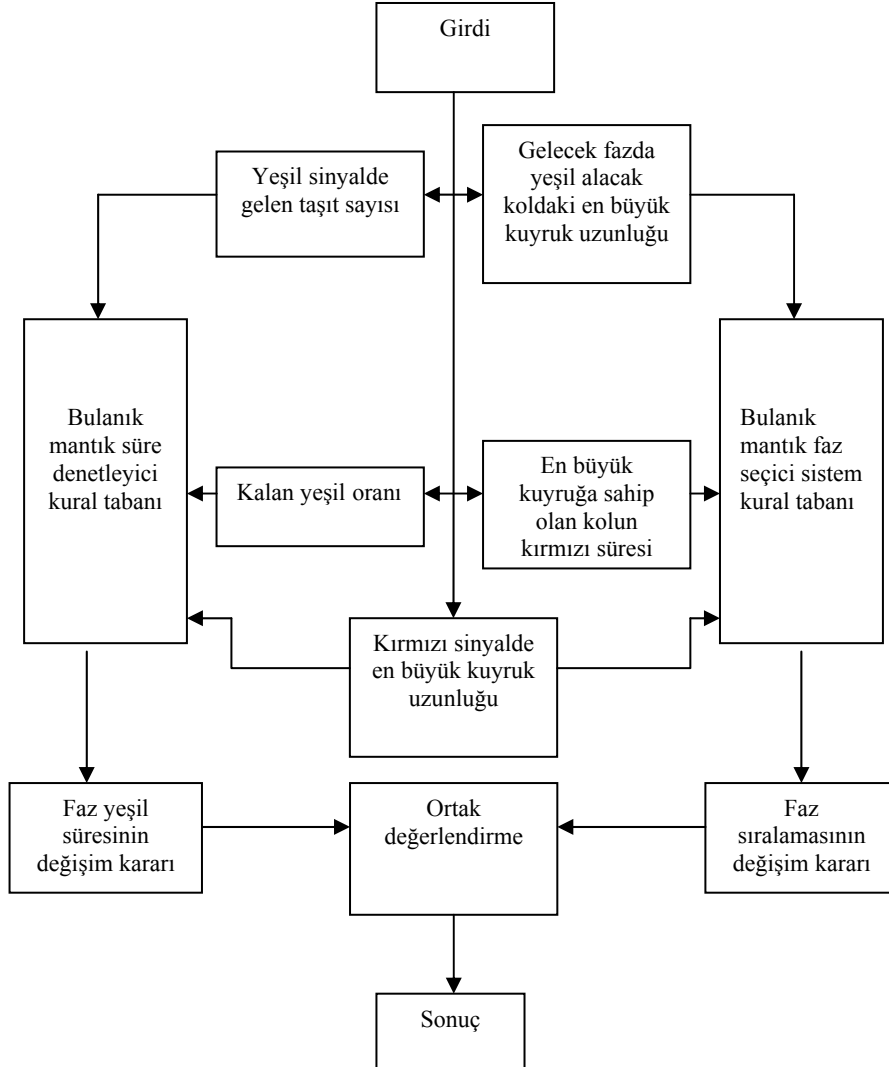
Bu sonuca göre uygun olan üretici firma $EB[\hat{U}(x)] = d$ olur.

Söz konusu problemi, çok ölçütlü karar verme sistemleri ile de çözmek mümkündür. Örneğin çok ölçütlü karar verme sistemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) [20] ile kalorifer sistemi için teklif veren firmalar, yukarıda ifade edilen ölçütlere göre değerlendirilerek sonuca ulaşılabilir. Ancak bu yaklaşım için yapılacak modelleme kolayca gerçekleştirilemeyecek ve özellikle problemdeki belirsizlik içeren kriterler bu yöntem ile aslına uygun olarak yeterince değerlendirilemeyecektir. Dolayısıyla bu kriterler, bulanık mantık yaklaşımı ile burada daha sağlıklı biçimde modellenebildi.

Bu uygulamada görüldüğü üzere, bulanık modelleme yaklaşımı; model geliştirilmesi, kullanımı ve genişletilmesi bakımından pek çok üstünlüklere sahiptir. Kolay geliştirilebilir, kullanım açısından oldukça rahattır, hızlı bir şekilde modele uyum sağlanabilir. Bunların yanında, çok fazla veri kaynağına ihtiyaç duymadan modeli genişletmek ve çeşitli problemlere uygulamak olasıdır.

3.2 Trafik Sinyal Denetimi

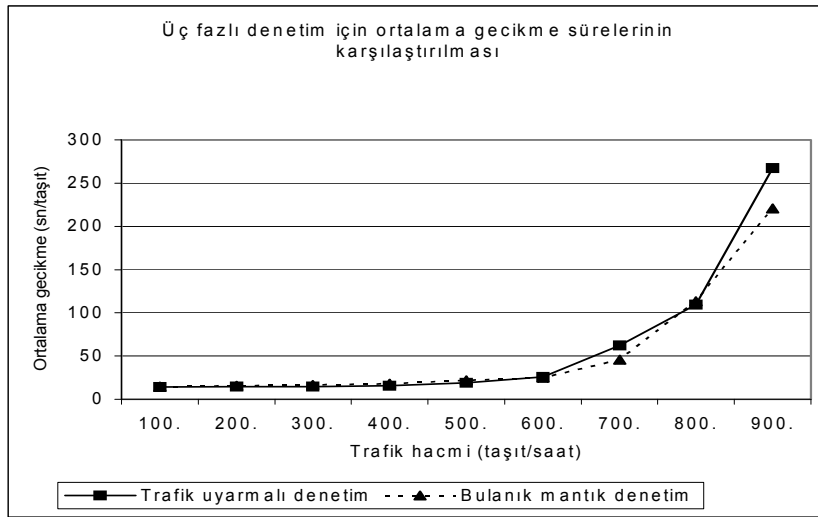
Bu uygulamanın tercih edilmesinin nedeni, özellikle büyük kentlerde trafiğin hâlâ birinci derece sorun oluşudur. Trafik sinyal denetimi, bulanık mantığın ilk uygulandığı alanlardandır. Sinyalize kavşaklarda, değişken trafik hacimlerinin olması durumunda, geleneksel sabit zamanlı denetim sistemleri yetersiz kalmaktadır. Bulanık mantık sinyal denetim modelleri ile talebe göre arz biçiminde bir denetim modeli geliştirilmiştir. Ayrık ve eşgüdümlü kavşaklar için yapılan bu çalışmalarda, trafik akımları, sabit ve değişken faz düzeni (geçiş hakkı sıralaması) ile denetlenmektedir[21-25]. Bu modellerden örnek olarak Murat [6] tarafından önerilen denetim sisteminin akış şeması Şekil 8'de verilmiştir.



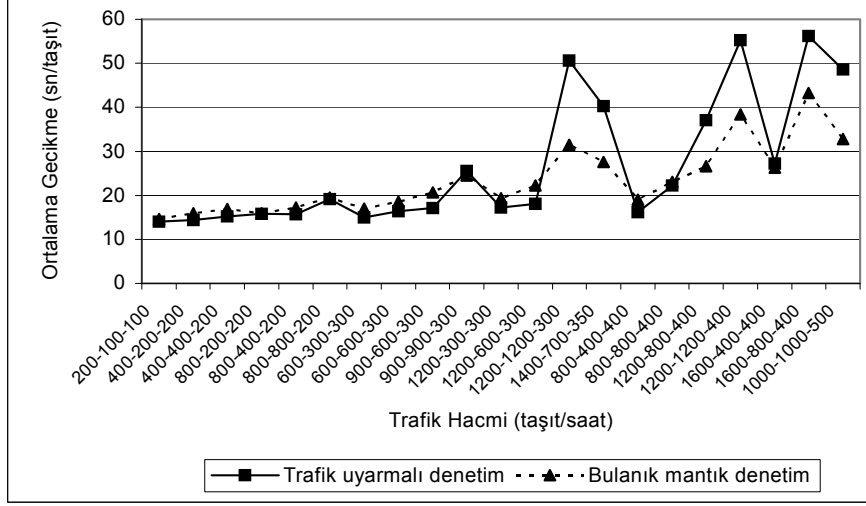
Şekil 8 Çok fazlı bulanık mantık sinyal denetleyicinin genel yapısı[6]

Model, bulanık mantığa dayanan bir süre denetleyici ile faz seçici sistemden meydana gelmektedir. Kırmızı sinyalde kuyrukta bekleyen taşıt sayısı, yeşil sinyalde gelen taşıt sayısı ve kalan yeşil süre parametreleri dikkate alınarak yeşil sinyal süresinin değişimi kararı verilmektedir. En büyük kuyruğa sahip kolun kırmızı süresi, gelecek fazdaki kuyruk uzunluğu ve en uzun kuyruğa sahip olan koldaki kırmızı sinyal süresi parametreleri dikkate alınarak faz seçim kararı verilmektedir.

Geliştirilen bulanık mantık denetim modeli, geleneksel trafik uyarımlı denetim sistemleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 9 ve 10'da gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 9 Üç fazlı denetim durumunda yaklaşım kollarında eşit trafik hacimleri için bulanık mantık denetim sisteminin performansı



Şekil 10 Üç fazlı denetim durumunda yaklaşım kollarında farklı trafik hacimleri için bulanık mantık denetim sisteminin performansı

Geleneksel, trafik uyarımalı denetim sisteminde kavşak yaklaşım kollarına yerleştirilen algılayıcılardan elde edilen uyarılara göre sistem çalışmaktadır ve belirli sayıdaki taşıt için program çalışmaktadır. Diğer bir ifadeyle, kesin sınırlara göre denetim işlemi gerçekleştirilmektedir. Fakat bazı durumlarda bu kesin sınırlar nedeniyle, taşıtların ortalama zaman kayıpları (gecikme süreleri) artmaktadır. Bu soruna çözüm bulmak amacıyla bulanık mantık tekniğinden faydalanılmış ve şekillerden görüldüğü üzere gecikme sürelerinde kayda değer bir kazanım elde edilmiştir.

Böylece yukarıdaki sonuçlar, trafik hacimlerinin büyük ve değişken olduğu durumlarda bulanık mantık denetim modelinin çok daha üstün olduğunu ortaya koymaktadır.

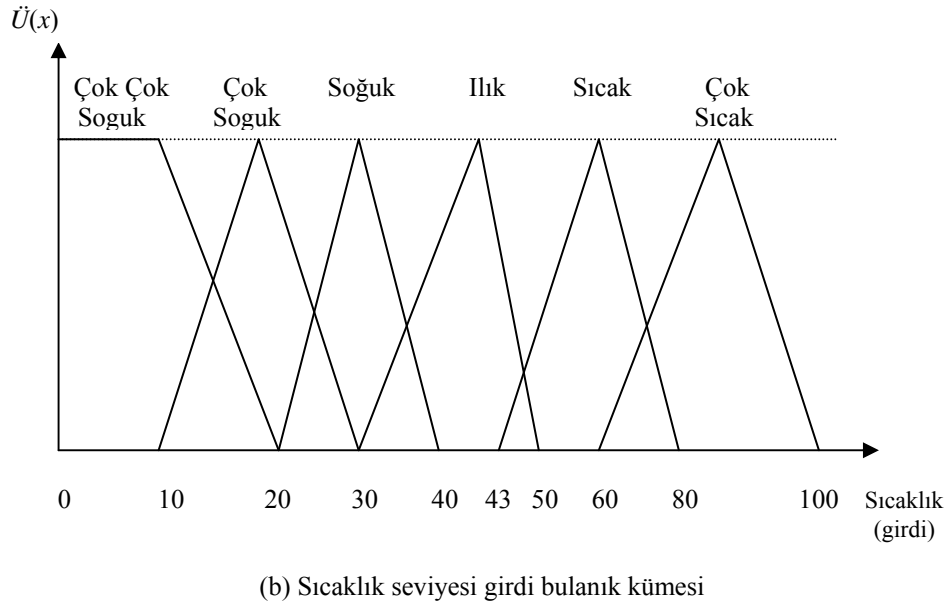
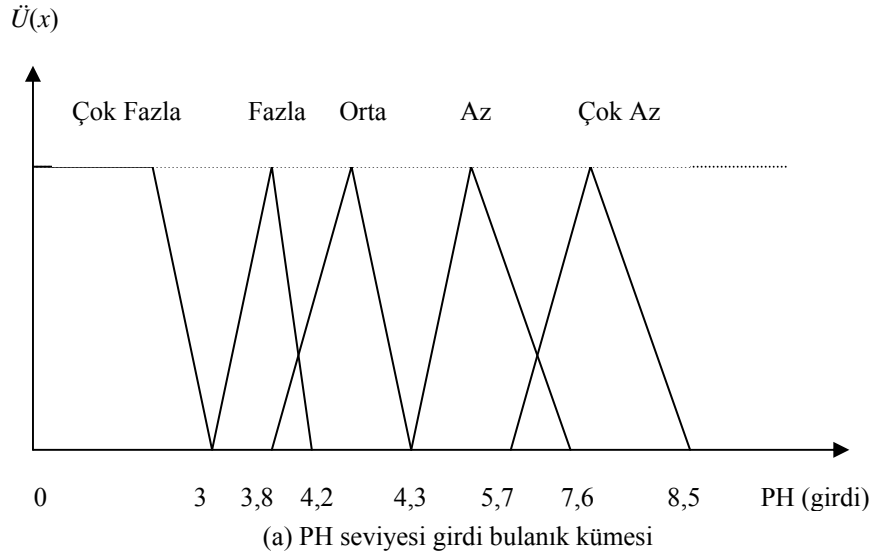
3.3 Bulanık Mantık Denetimli Yoğurt Üretim Modeli

Teknolojik olarak uygulanabilirliği ve orijinal oluşu nedeniyle, çalışma kapsamında bulanık mantık denetimli yoğurt üretimi tasarımı yapılmıştır.

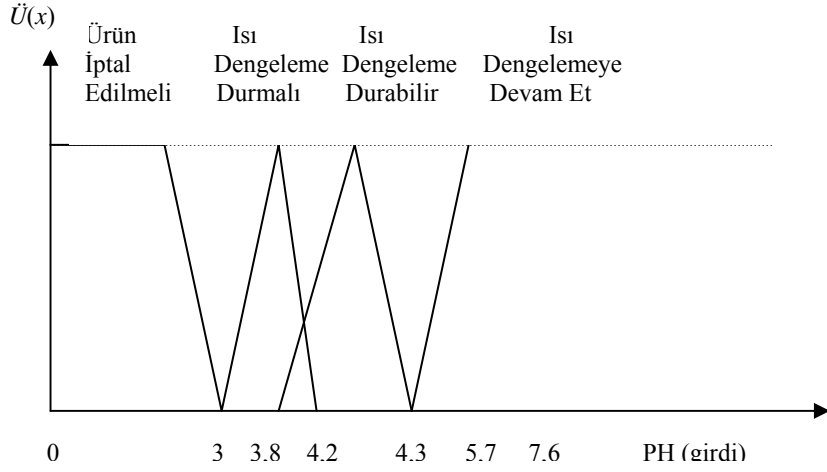
Doğal yoğurt yapımı, tamamen deneyimlere bağlı olan ve kişilere göre değişiklik gösterebilen bir işlemdir. Oda sıcaklığındaki süte yoğurt ilavesi ve birkaç saat bekletilmesi ile doğal yoğurt elde edilir. Bu işlemdeki sıcaklık ve bekleme süresi net olarak belli olmadığından çoğu zaman yoğurt kıvamı tutturulamamaktadır. Yoğurt kıvamını artırmak, tutturmak ve/veya bazı ilave özellikler kazandırmak amacıyla kimyasal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ancak elde edilen yoğurt doğal özelliğini yitirmektedir.

Bu çalışmada ise, bulanık mantık kullanılarak damak tadına en uygun doğal yoğurt üretimi yapacak makine tasarlanmıştır. Sütün doğal PH seviyesi 7.6 olduğu bilinmektedir. Lezzetli bir yoğurt yaklaşık $43^{\circ}C$ 'de PH seviyesi 4.2-4.3 olana kadar bekletilerek elde edilmektedir. Bu bilgiler ışığında tasarlanan denetleyici ve girdi bulanık kümeleri ile çıktı

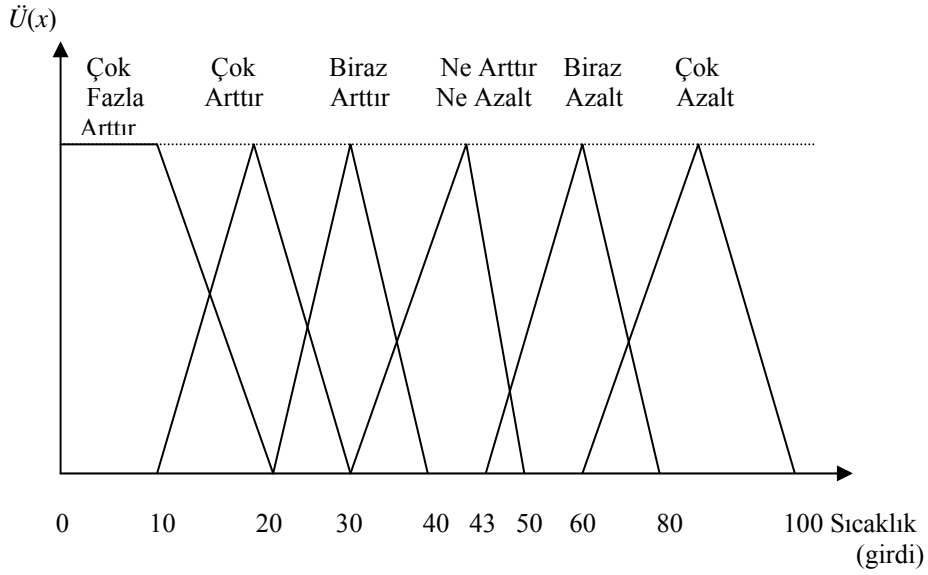
bulanık kümeleri aşağıda verilmiştir (Şekil 11, Şekil 12). Bulanık mantık denetimli yoğurt makinesi çalışmasında girdi ve çıktı parametreleri olarak PH seviyesi ve sıcaklık seviyesi göz önüne alınmıştır.



Şekil 11 Bulanık mantık denetimli yoğurt makinesi girdi parametreleri



(a) PH seviyesi çıktı bulanık kümesi



(b) Sıcaklık seviyesi çıktı bulanık kümesi

Şekil 12 Bulanık mantık denetimli yoğurt makinesi çıktı parametreleri

Yapılan tasarımda, yoğurt yapımı esnasında kullanılan, sıcaklık ve PH seviyesi kriterlerinin, uygulamanın başlamasından uygulama tamamlanana kadar sürekli ölçüldüğü kabul edilmektedir. Ölçüm sonuçlarına karşılık gelen bulanık alt kümeler durulaştırılarak en uygun etki tespit edilip, bu sonuca göre fiziksel olaya müdahale edilmektedir. Yoğurt istenen kıvama geldiğinde ısı dengeleme işlemi durmakta ve yoğurt elde edilmiş olmaktadır. Denetleyicinin kural tabanı Şekil 13’de verilmiştir:

| |
|--|
| Eğer PH 'çok az' ise 'Isı dengeleme işlemine devam et' ve; |
| Sıcaklık 'çok çok soğuk' ise Sıcaklığı 'çok fazla arttır' |
| Sıcaklık 'çok soğuk' ise Sıcaklığı 'çok arttır' |
| Sıcaklık 'soğuk' ise Sıcaklığı 'biraz arttır' |
| Sıcaklık 'ılık' ise Sıcaklığı 'ne arttır ne azalt' |
| Sıcaklık 'sıcak' ise Sıcaklığı 'biraz azalt' |
| Sıcaklık 'çok sıcak' ise Sıcaklığı 'çok azalt' |
| Eğer PH 'az' ise 'Isı dengeleme işlemine devam et' ve; |
| Sıcaklık 'çok çok soğuk' ise Sıcaklığı 'çok fazla arttır' |
| Sıcaklık 'çok soğuk' ise Sıcaklığı 'çok arttır' |
| Sıcaklık 'soğuk' ise Sıcaklığı 'biraz arttır' |
| Sıcaklık 'ılık' ise Sıcaklığı 'ne arttır ne azalt' |
| Sıcaklık 'sıcak' ise Sıcaklığı 'biraz azalt' |
| Sıcaklık 'çok sıcak' ise Sıcaklığı 'çok azalt' |
| Eğer PH 'orta' ise 'ısı dengeleme durabilir' |
| Sıcaklık 'çok çok soğuk' ise Sıcaklığı 'çok fazla arttır' |
| Sıcaklık 'çok soğuk' ise Sıcaklığı 'çok arttır' |
| Sıcaklık 'soğuk' ise Sıcaklığı 'biraz arttır' |
| Sıcaklık 'ılık' ise Sıcaklığı 'ne arttır ne azalt' |
| Sıcaklık 'sıcak' ise Sıcaklığı 'biraz azalt' |
| Sıcaklık 'çok sıcak' ise Sıcaklığı 'çok azalt' |
| Eğer PH 'fazla' ise 'ısı dengeleme durmalı' |
| Eğer PH 'çok fazla' ise 'ürün iptal edilmeli' |

Şekil 13 Bulanık Mantık Denetimli Yoğurt Üretimi Kural Tabanı

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, belirsizliklerin modellenmesinde kullanılan bulanık mantık tekniğine dayanarak, önemli görülen bazı uygulamalar ile bulanık modelleme ele alınmıştır.

Günlük hayatta karşılaşılan ve belirsizlikler içeren problemlerin çözümünde, bulanık mantığın, gerçeğe ve insanın düşünce ve karar verme mekanizmasına daha yakın sonuç verdiği uygulamalarla ortaya konmuştur.

Yoğurt yapımında bulanık mantığın kullanılabilirliğine ilişkin modelden başarılı sonuçlar elde edilebildiği gözükmemektedir. Klasik sisteme göre tasarlanmış bir yoğurt makinesi yerine, bulanık mantık denetimli makine ile yoğurt yapım süresi ve tüketilen enerji daha az olabilecektir.

Bu yaklaşımın denetim amacı dışında, karar verme amaçları doğrultusunda da kullanılabileceği çalışmadaki özgün uygulamada gündeme getirilmiş ve çok ölçütlü değerlendirme probleminde ise bir binanın kalorifer sistemi seçimi tartışılmıştır.

Bir diğer modelde, bulanık mantık trafik sinyal denetiminin kullanılması ile taşıtların ortalama gecikme sürelerinde ve buna dayalı olarak ekstra yakıt tüketiminde ekonomik kazanç elde edilebileceği ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra, çevre kirliliğinin azaltılmasında ise dolaylı bir katkısının olabileceği görülmüştür.

Bu teknik ile ilgili çalışmalar devam etmekte olup, gelecekte, konunun kuramsal yapısı ile ilgili çalışmalar da yapılarak, daha geniş uygulama alanına sahip sistem ve modellemelerin gerçekleştirileceği düşünülmektedir. Gelecekte, henüz uygulanmamış olan klasik denetim sistemlerinin bulanık sistemlere dönüştürülmesiyle enerji tasarrufu sağlanabilecektir.

Kaynaklar

- [1] Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, Vol. 8, No.3.
- [2] Kosko, B., 1994. Fuzzy Thinking, Harper Collins Publishers, 318 p.
- [3] Mei, F.; Man, Z. and Nguyen, T, 2001, Fuzzy modelling and tracking control of nonlinear systems, Mathematical and Computer Modelling, Vol. 33, pp. 759-770.
- [4] Cao, S.G.; Rees, N.W. and Feng, G., 1997, Analysis and design for a class of complex control systems-Part I: Fuzzy modeling and identification, Automatica, Vol. 33, No. 6, pp. 1017-1028.
- [5] Şen, Z., 2001, Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, ISBN: 9758509233, 172 sayfa, Bilge Kültür Sanat Yayınevi, İstanbul.
- [6] Murat, Y.Ş., 2001, Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli. Doktora Tez çalışması, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Temmuz 2001, 198 s.
- [7] Hwang, H.S., 1999, Automatic design of fuzzy rule base for modelling and control using evolutionary programming, IEE Proceedings - Control Theory and Applications, Vol. 146, n.1, pp. 9-16.
- [8] McCoy, M.S. and Levary, R.R., 2000, A rule-based pilot performance model, International Journal of Systems Science, Vol. 31, n. 6, pp. 713- 729
- [9] Hongxing, L.; Jiayin, W and Zhihong, M., 2002, Modelling on fuzzy control systems, Science in China, Series A (Mathematics, Physics, Astronomy), Vol. 45, n 12, pp 1506-17.

- [10] Majura F. Selekwa and Emmanuel G. Collins, Jr., 2005, Numerical solutions for systems of qualitative nonlinear algebraic equations by fuzzy logic, *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 150, Issue 3, pp 599-609, 2005
- [11] Liu, J.; Yang, J.; Wang, J. and Sii, H.S., 2005, Engineering System Safety Analysis and Synthesis Using the Fuzzy Rule-based Evidential Reasoning Approach, *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 21 pp. 387–411
- [12] Kratmuller, M. and Murgas, 2004, J. Fuzzy modelling and adaptive control of uncertain system, *Journal of Electrical Engineering*, vol. 55, n 9-10, pp 251-5.
- [13] Zimmerman, H.J., 1990, *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. Kluwer Ac. Publishing, 400p.
- [14] Ross, T., 1995, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill Inc., ISBN 0-07-053917-0.
- [15] Kaynak, O. ve Armağan, G., 1992. Süreç Denetiminde Yeni bir Yaklaşım: Bulanık Mantık, *Otomasyon Dergisi*, Temmuz-Ağustos 1992 sayısı, sayfa 74-82.
- [16] Şen, Z., 1998, Fuzzy algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration, *Solar Energy*, Volume 63, Issue 1, pp 39-49
- [17] Nabiyev, V.V., 2005, *Yapay Zeka, Problemler-Yöntemler-Algoritmalar*, Seçkin Yayıncılık, ISBN: 975 347 98 59, 764 s.
- [18] Elmas, Ç., 2003, *Bulanık Mantık Denetleyiciler*, Seçkin Yayıncılık, ISBN: 975 347 613 2, 230 s.
- [19] Özkan, M.M., 2003, *Bulanık Hedef Programlama*, Ekin Kitabevi, ISBN: 975 73 38 958, 288 s., Bursa
- [20] Saaty, T.L., 1985, *Analytical Planning*, RWS Publications.
- [21] Pappis, C.P. and Mamdani, E.H., 1977, A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, pp 707-717.
- [22] Nakatsuyama, M., Nagahashi, H., and Nishizuka, N., 1984. Fuzzy Logic Phase Controller for Traffic Junctions in the One-way Arterial Road, *IFAC-World Congress*, preprints, Budapest 1984, pp13-18.
- [23] Niittymäki, Jarkko, P., 1997, *Isolated Traffic Signals-Vehicle Dynamics and Fuzzy Control*, Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, Civil and Environmental Engineering.
- [24] Murat, Y.Ş. & E. Gedizlioğlu, 2005, A fuzzy logic multi-phased signal control model for isolated junctions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 13/1, pp 19-36.

[25] Babuska, R., 1998, Fuzzy modelling for Control, Kluwer Academic Publisher.