Turk J Engin Environ Sci
25 (2001) , 1 – 9.

Günlük En Büyük Sıcaklıkların Bulanık Kümeler ile Kestirimi

Hasan TATLI, Zekai ŞEN
İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi,
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Maslak, 80626, İstanbul-TÜRKİYE
e-mail: tatli@itu.edu.tr

Geliş Tarihi 28.08.1997

Özet

Bu çalışmada önce bulanık kümeler teorisine dayanan bulanık kural temelli modellemenin genel özellikleri incelenmiş; daha sonra atmosferik bilim alanı çalışmalarında bağıl olarak yeni sayılabilecek, bulanık çağrışımlı bellek üzerine bir model inşa edilmiştir. Bundan sonraki aşamada ise model, günlük en büyük hava sıcaklıklarının kestirimine uygulanmış ve sonuçları belirtilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bulanık çağrışımlı bellek, bulanık kural temeli, kestirim, sıcaklık.

Prediction of Daily Maximum Temperatures Via Fuzzy Sets

Abstract

Fuzzy rule based modeling and fuzzy sets theory are examined in terms of their general characteristics. Fuzzy models are relatively very new in atmospheric science. Herein such a model is developed for estimation of daily maximum temperature through consideration of the fuzzy associative memory (FAM) bank approach, and the results are presented in their explicit forms.

Key Words: Estimation, fuzzy associative memory, fuzzy rule base, temperature

1. Giriş

Açık literatüre bağlı olarak, meteorolojik sistemler gibi oldukça karmaşık (complex) sistemlerin incelenmesi amacıyla, bu çalışmada, bulanık kümeler (Zadeh, 1965, 1973) esaslı Bulanık Sistemler (Takagi and Sugeno, 1985; Sugeno and Kang, 1988) yaklaşımı incelenerek, meteoroloji bilimi alanında uygulanabilirliği araştırılacaktır. Bu çalışmada dikkat edilmesi gereken; 'sistem tanımlanması (system identification)' yapılırken, Newton mekaniğine göre tanımlanmış olan atmosferik sistemlerin yeniden tanımlanması değil, veriler üzerinden 'sistem tanımlanması' yapıldığıdır.

Giriş paragrafından hareketle, bilginin işlenmesi esnasında karşılaşılan belirsizlik (uncertainty) kavramından başlama gereği doğar. İnsanın veya tüm canlıların, Darwin teoremine (theory of natural selection) göre;

- Bilgi toplamak,
- Bilgiden sonuç üretmek,
- Üretilen sonuçlardan yararlanma,

şekilde, yapılan faaliyetler, özetlenebilir. Genelde tüm canlılarda görülen bu faaliyetler, insan ile sınırlandırılırsa; insan-oğlu/kızı ilk çağlardan beri gözlemler vasıtasıyla, karşısında zayıf kaldığı doğadan bilgileri toplamakta ve depolamaktadır.

Doğal olaylarla ilgili, çeşitli bilimsel-matematiksel yapılı sistem veya modellemelerin niceliksel incelenmesi bilimde temel doktrindir. Buradan, bulanık kümeler esaslı modellemelere hazırlık amacı ile *belirgin (crisp) ve bulanık (fuzzy)* kümeler genel hatlarıyla incelenmiş ve birbiri ile olan bağlantıları ortaya konmaya çalışılmıştır.

Geleneksel veya belirgin kümeler teorisi, 1895 tarihinde George Cantor tarafından ortaya kondu (Allenby, 1983). Ancak, daha sonraları Bertrand Russel tarafından *küme teorisi* sorgulanmaya başlandı (Birhoff and Bartee, 1970). Rescher'in (1969) belirttiği üzere, Lukasiewicz ve Black (1937), *muğlaklık (vagueness)* ve çok değerli mantık üzerinde çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Russel, "aksiyomlar oluşturulmadan, kümelerin keyfi olarak oluşturulamayacağını" ileri sürmüş ve dolayısıyla, gözlemlerin gerçek dünyadan gelmesine benzer olarak, *aksiyomların özgüllüğünden*, kümelerin keyfi bir şekilde seçilemeyeceği problemini ortaya koymuştur. Örneğin, **U**-uzayında, $\forall x \in \mathbf{U}$ elemanlarından oluşan $\mathbf{S}_p$ gibi bir küme, $\mathbf{P}\ (\mathbf{x})$, önermesini sağlasın. Yani, $\forall x \in$ için $\mathbf{P}\ (\mathbf{x})$, 'doğru' olsun. Buradan, önerme 'ya *hep(1)* ya da *hiç(0)*' özelliğini sağlar. Eğer nesneler soyut ve sistem iyi tanımlı ise klasik mantık yaklaşımı iyi çalışır. Aynı örnek basitçe zenginleştirilecek olunursa, örneğin '7 sayısı civarındaki bir küme' için $\mathbf{P}\ (\mathbf{x})$ önermesini, belirgin kümelere dayanarak oluşturmak imkansız hale gelebilir. Yani 'uzun insanlar, sıcak hava ,..., güzel insan v.b. gibi' kümelerin $\mathbf{P}\ (\mathbf{x})$ önermesinin *doğruluğunu*, belirgin kümeler mantığı, yani $\{0, 1\}$ doğruluk mantığı ile oluşturmak artık geçerli olamayabilir. Bulanık kümeler teorisi, çok değerli mantık (Rescher, 1969) ve *latis teorisine* (Birkhoff, 1970) kadar uzanır. Ancak, Black (1937) tarafından ilk meyveleri verilen, daha sonra Zadeh (1965) ve Goguen (1967, 1969) tarafından sistematik teorileri ortaya konmuştur. Dolayısıyla, bulanık kümeler teorisi, *dereceli yapılar teorisi* olarak da özetlenebilir. Bu yaklaşımın,

- Dünyada gerçek durumların (states) belirgin (crisp) olmadığı, yani tam (exact) olarak ifade edilmez oldukları,
- Tam (complete) tanımlamalar, insanların kıyaslama ve algılama için kullandıklarından öte, verilerin çok detaylı incelenmesine bağlı oldukları,

dayandığı iki temel kabuldür. Bu kabullerin nedenleri felsefi düşünce temeline kadar uzanır ve bu sebeplerden, ayrıntılı incelenmesi, bu çalışmayı aşan bir konu olması özelliği ile aksiyomlar şeklinde verilmekle yetinilmiştir.

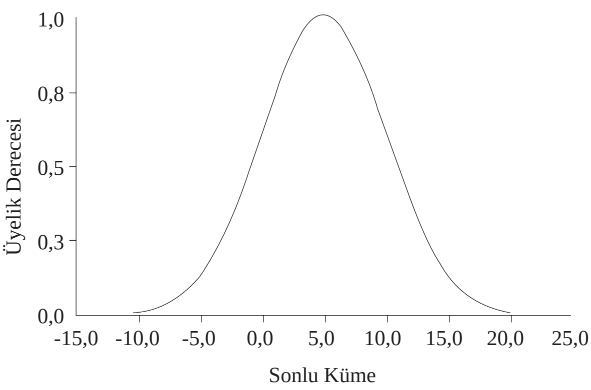
Bu çalışma, dört bölüm olarak tasarlanmıştır; yukarda açıklanan birinci bölümden sonra bulanık çıkarımın (fuzzy inference) genel özellikleri verilerek, üçüncü bölümde günlük en büyük hava sıcaklığı, bulanık kural temelli modelleme tekniği ile modellenmiş ve kestirimler yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise sonuçlar tartışıldı.

2. Bulanık Kümeler ve Çıkarım

Bir önceki bölümde tanımlandığı üzere, klasik kümelerde bir elemanın bir kümeye ait olup-olmaması, kümenin *karakteristik değeri* ile açıklanmıştı (ya hep ya hiç ilkesi). Karakteristik değer, bir önermeye bağlı olarak, her elemanı, $\{0, 1\}$, kümesine tasvir ederek; ilgili elemanın ilgili *kümeye ait olup olmamasını* açıklar. Yeni küme tanımında ise herhangi bir elemanın ilgili kümeye ait olmasını, [0,1] sürekli aralığında karakteristik değere atanan sayının büyüklüğü ile açıklandığı kümeye *bulanık küme* denir. Ancak, yeni tanımlı kümeyi belirgin kümelerden ayırmak için karakteristik değere *üyelik fonksiyonu* denir (Zadeh, 1965). **X** evrensel kümesi olmak üzere, $\mathbf{A} \subset \mathbf{X}$'in üyelik fonksiyonu, μ_A,

$$\mu_A : \mathbf{X} \rightarrow [0, 1] \tag{1}$$

şeklinde tanımlıdır. Burada, geleneksel kümelerden farklı olarak, $\{0, 1\}$ kümesi yerine, [0,1] sürekli aralığı söz konusudur ve bu aralıktaki değerler **üyelik derecesi** adını alırlar (Zadeh, 1965). Örneğin, '5-civarındaki sayılar' kümesindeki, **civar,** sözcüğü bulanıklık içerdiğinden sınırları klasik kümelerdeki gibi kolayca belirlenemez (Şekil 1).



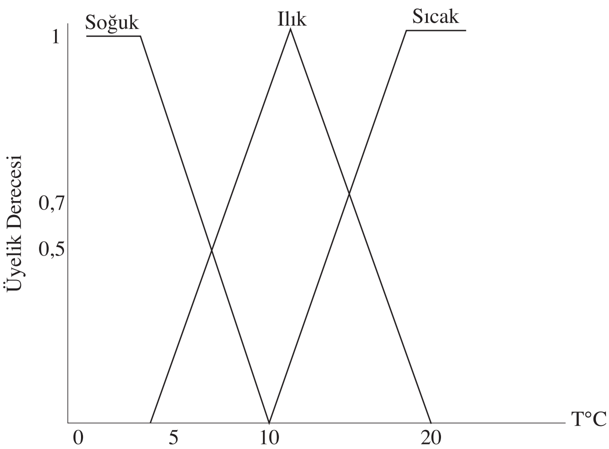
Şekil 1. Beş civarındaki sayılar kümesi için önerilen fonksiyon

Buradan, bulanık kümeler 'nesnel' değil 'öznel' olduğu sonucu çıkarılabilir. Bulanık kümenin üyelik fonksiyonun parametrelerinin değişimi, ilerde açıklanacak olan, *Bulanık-Kural Temelli Modellemede **(BKTM)*** büyük önem arz eder. Ancak, bu çalışmada bu konu üzerinde durulmayacaktır.

Bulanık kurallara, sözel ifadelerin, modellenmesi olarak da bakılabilir. Dolayısıyla, bir sözel ifade, genel kabul gören biçimiyle, 5-li bir dizi olarak, (**x, T (x), U, G, M**), şeklinde gösterilebilir (Lee, 1990a,b). Bu dizide, **x** herhangi bir değişken; **T (x),** **x**'in adlarının kümesini; **U,** **x**'in yer aldığı uzay veya evrensel kümeyi; **M** ise kendi değerini anlamı ile birleştiren *semantik* bir kuraldır. Örneğin, sıcaklık, bir sözel değişkenin anlamını veriyorsa onun ad kümesi, **T (x)**, aşağıda olduğu gibi gösterilebilir.

$$\begin{array}{l}\mathbf{T}\ (\text{sıcaklık}) = \{(\text{Çok soğuk}), (\text{soğuk}),\\ (\text{ılık}), (\text{sıcak}), (\text{çok sıcak})\}\end{array} \tag{2}$$

Burada **T** (sıcaklık), her terimi, **U** içinde bir bulanık küme ile temsil edilir. 'Sıcaklık' sözcüğüne nicelik anlam kazandırılması için; örneğin 10°C *civarı* **ılık**, 5° civarı **soğuk** ve 20° civarı sıcak kabul edilir ve evrensel küme, **U** = $[0°\text{C}, 20°\text{C}]$, olarak ele alındığında 'bulanık sıcaklık kümesi', Şekil 2'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2. Sıcaklığın bulanık kümesi

Yukarda verilen bulanık küme teorisine dayanan bulanık çıkarım, uzman-sistem yaklaşımı ile açıklanabilir. Buradan, herhangi bir alanda uzman kişinin bilgisinin uygulayabildiği yöntemlere 'uzman sistem' denir. Bir uzman sistemin çalışma prensibi, 'yaklaşık muhakeme (approximate reasoning)' bilgisine dayanan şartlı tümcelerdir (Hirota, 1993). Bu tümceler genelde

- Öncül kısım (premise)
- Soncul kısım (consequent)

olmak üzere, yapısal olarak, şarta bağlı bir olayın gerçekleşmesine dayanır. Bu klasik olarak aşağıda basit bir örnek üzerinde açıklandı.

$$\begin{array}{l}\underline{\text{EĞER}}\ \text{hava içindeki nem}\ \underline{\text{BÜYÜKSE}}\\ \text{hissedilen sıcaklık}\ \underline{\text{BÜYÜKTÜR}}\end{array} \tag{3}$$

Bu şartlı tümce, bulanık-mantık tekniği ile yeniden yazılacak olunursa

$$\left.\begin{array}{l}\textbf{EĞER}\,\dfrac{\textbf{nem}}{\textbf{X}} \rightarrow \dfrac{\textbf{Hissedilen sıcaklık}}{\textbf{Y}}\,\dfrac{\text{büyük}}{\mathbf{B}_Y}\\[2em] \dfrac{\mathbf{XA}_X\text{'dir}}{\text{Öncül}} \Rightarrow \dfrac{\mathbf{YB}_Y\text{'dir}}{\text{Soncul}}\end{array}\right\} \tag{4}$$

olarak verilebilir (Tatlı, 1997; Tatlı and Şen, 1997). Bu ifadeye, *MAX-MIN* bulanık üretim kuralı denir (Zadeh, 1973). Teknik olarak, bir sistemin N tane kural ile çalışıyor olması durumunda ise,

$$\{\text{EĞER (öncül}\ \mathbf{i}\ \text{ise O ZAMAN (soncul}\ \mathbf{i}\text{'dir}\}_{i=1}^{N} \tag{5}$$

olarak ifade edilir. Genelde *öncül* ve *soncul* kısımları iki veya daha fazla boyutlu olabilir. Burada, *öncül* ve *soncul* kısımları birer bulanık alt-küme ve her biri üyelik fonksiyonları ile açıklanır. (5)-ifadesinin geometrik görüntüsü aşağıdaki şekilde şematiğe edilebilir.

Burada,

$$\alpha_i = \bigvee_{x \in X} \{\mu_{A'} \bigwedge \mu_A\} \tag{6}$$

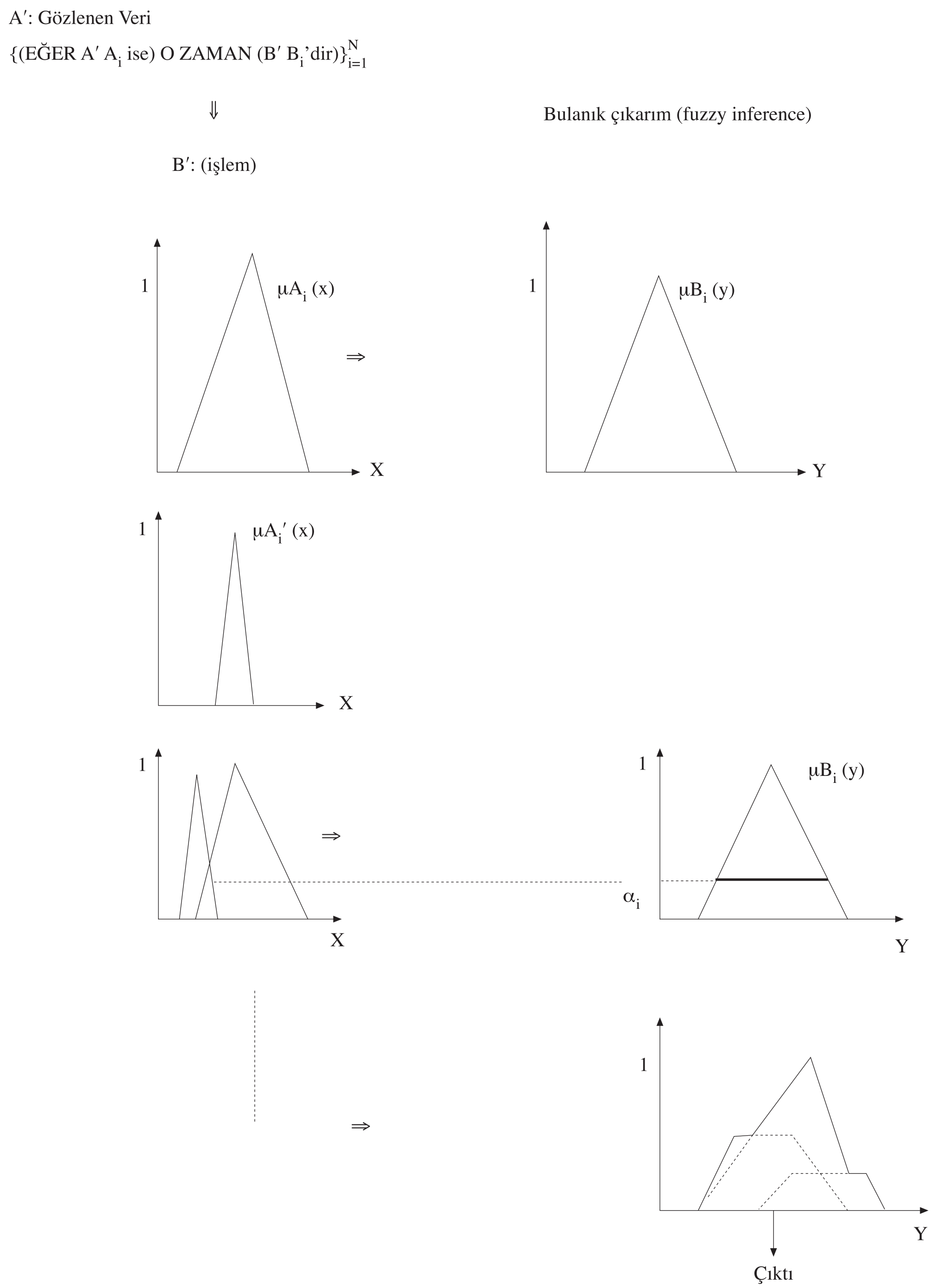
ifadesi, **A** kuraldaki küme ve $\mathbf{A'}$ gerçek (anlık olarak gözlenen) küme olmak üzere, girişlerin ağırlığı oranında, çıkışın olabilirliğidir (Zadeh, 1973). Ayrıca,

$$\mathbf{B}'_i(y) = \int_Y y \cdot \mu_{B'_i}(y) dy \tag{7}$$

ifadesi çıktıların, her kural için toplam değeridir. Tüm kuralların ateşlenmesi ile beklenen değer

$$\textbf{ÇIKTI} = \frac{\displaystyle\int_Y y \cdot \mu_{B'_i}(y) dy}{\displaystyle\int_Y \mu_{B'_i}(y) dy} \tag{8}$$

şeklinde tanımlıdır. Burada, **ÇIKTI**, merkezi-ortalama yaklaşımı kullanılarak formüle edilmiştir (Wang, 1993).



Şekil 3. Bulanık çarpım kuralı kullanarak bulanık çıkarım (Hirota, 1993)

3. Günlük En Büyük Hava Sıcaklığının Modellenmesi

Bu çalışmanın bu bölümünde, günlük maksimum hava sıcaklığının kestirilmesi amacıyla, aşağıda bazı problem tanıtımları verilme gereği duyulmuştur. Veri olarak, İstanbul Kandilli Rasathanesinde ölçülen, günlük en yüksek hava sıcaklık değerleri kullanıldı. Zaman serisinin uzunluğu 65 yıl olmasına karşın, sadece son 2 yılı alınarak, 1-inci yıl model kurulması amacıyla ve 2-inci yıl modelin veriminin testi (validation) için kullanılmıştır. Genelliği bozmadan, tüm veri [1, 3] aralığına, (9)-ifadesi kullanılarak, bir doğrusal dönüşüm aracılığıyla normalleştirilmiştir. Bu dönüşteki amaç, farklı büyüklüklerin karşılaştırılabilme olağanın sağlanabilmesidir. Veriyi dönüştüren ifade

$$F_{nor} = \left\langle \left(\frac{2[F_g - F_{\min}]}{F_{\max} - F_{\min}} \right) - 1 \right\rangle + 2 \tag{9}$$

şeklinde tanımlıdır. Bu ifadede, 'F_{nor}' dönüşen veri; 'F_g' gözlenmiş veri; '$F_{\min}$ ve F_{max}' sırasıyla, gözlenmiş verinin en küçük ve en büyük değerleridir. Buradan, iki yıllık günlük en yüksek hava sıcaklık değişimi, Şekil 4'de sunulmuştur.

(8)-ifadesine bağlı kalarak, geçmiş gözlemlerden gelecek durumların davranışını kestirmek için:

a) Verinin taksimatlara ayrılması, yani bulanık alt-kümelerin tespiti,

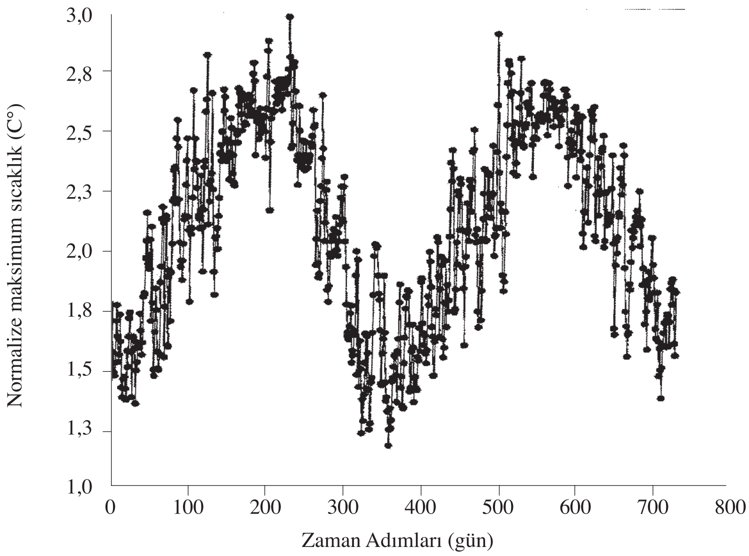
b) Model kalitesini ölçen, etkilenmemiş (veya tarafsız) kriterin tespiti,

c) Bulanık kuralların bulunması,

d) Sistemin giriş boyutunun tespiti (d olarak adlandırılacaktır),

e) Modelin test edilmesi,

olmak üzere beş kriter kullanılmıştır (Tatlı, 1997). Bu kriterler aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 4. Günlük en büyük hava sıcaklığının değişimi

1. Verinin taksimatlara ayrılması için, daha önceden yapılan önemli çalışmalarda, gruplama (cluster) algoritması önerilmektedir (Sugeno and Kang, 1988; Bezdek and Pal, 1992; Xuanli and Gerardo, 1991; Dunn, 1974). Ancak bu algoritmalar, özellikle iç bağımlılığın büyük olduğu durumlarda (co-linearity effects) veya grup merkez-sayılarının bilinmemesi durumlarında, pek başaralı bir yöntem olamayabilmektedir. Dolayısıyla, gruplama algoritmaları yolu izlenmemiştir. Daha sistematik ve basit bir yaklaşım olan ve literatürde kabul gören adıyla, bulanık çağrışımlı bellek yaklaşımı, tercih edildi. Bu yaklaşıma bağlı kalarak, sistemin giriş ve çıkış uzayı, 'N' pozitif bir tam sayı olmak üzere, '$2N + 1$' adet taksimata bölünerek, üyelik fonksiyonlarının parametrelerini modelden beklenen performansına (verim) göre ayarlanarak uygulanmıştır. Özellikle, üç parametreye bağlı düzgün türevlenebilir çan eğrisi (Gaussian) fonksiyonları, kullanılarak uygun üyelik fonksiyonları bulunmuştur. $\mathbf{A} \subset \mathbf{X}$ bir bulanık alt-küme olmak üzere, bu kümenin üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right)^{\beta} \tag{10}$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradaki, '$\frac{1}{m}, \frac{2}{\sigma}, \frac{3}{\beta}$'

sırasıyla üyelik fonksiyonun $\underbrace{\text{ortanca değeri}}_{1}$, $\underbrace{\text{yayılım}}_{2}$ ve $\underbrace{\text{şekil parametresidir}}_{3}$.

2. Bulanık mantık kontrol (BMK) veya kural temelli modellemede (BKTM), genelde, modelin kalitesini ölçen kriter olarak, Sugeno ve Kang (1988) araştırmacıları tarafından uygulanan tarafsız kriter (TK) kullanılır. Ancak, bu kriterin uygulanabilmesi için her veri örneğine iki adet model tespiti gerektiğinden; bu çalışmada, TK'nin daha basitleştirilmiş bir görünümü olan ve (Kazua et al., 1995) tarafından önerilen basitleştirilmiş tarafız kriter (**BTK**) tercih edilmiştir. Bu kriter

$$\mathbf{BTK} = \frac{1}{n_B} \sum_{i=1}^{n_B} \frac{|y_{iBA} - y_{iB}|}{|y_{iB}|} \times 100 \quad (11)$$

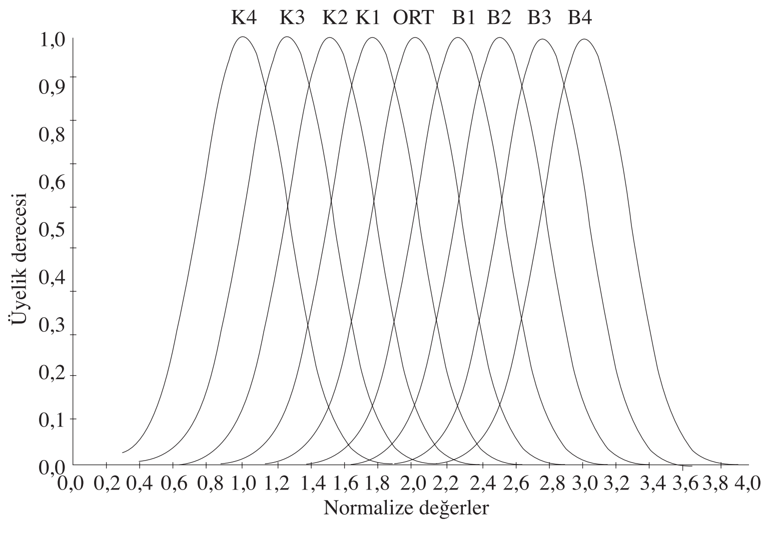
şeklinde tanımlanır. Burada, y_{iB}, sistemin gerçek çıktılarını; n_B, modelin kurulması için eğitilen N_A kümesinin veri sayısını ve y_{iBA}, N_A kümesi kullanılarak elde edilen modelin N_A kümesi verilerini öngörmek için kullanılan veri sayısını göstermektedir.

3. Bulanık kurallar, Wang ve Mendel (1991) tarafından önerilen algoritma kullanılarak elde edilmiştir. Bu algoritma, literatürde bulanık çağrışımlı bellek (fuzzy associative memory) olarak da bilinir. Bu algoritmanın kullanılmasının nedeni, uzman kişi bilgisinin kuralların oluşumunda etkisinin olmadığı bir algoritma olmasıdır. Örneğin, kötü tanımlı veri durumlarında veya sisteme müdahale edilmesi gerektiği durumlarda; yaklaşım buna olanak vermektedir.

4. Sistemin giriş boyutunun tespiti için, (Sugeno and Kang,1988) tarafından gruplama algoritmasında kullandıkları, *hata fonksiyonu* (cost function) ile analoji kurularak, **BTK**'nin sistemin giriş sayısına göre değişiminin yerel minimumdan geçen optimal model boyut sayısı 'd' hesaplanabilir (Tatlı and Şen, 1998; Tatlı, 1997).

5. Verilerden elde edilen modelin geçerliliğini (validation) test edilmesi için; eğitilmeyen veriler kullanılarak, model geçerliliği, hata fonksiyonu göre ölçülmüştür.

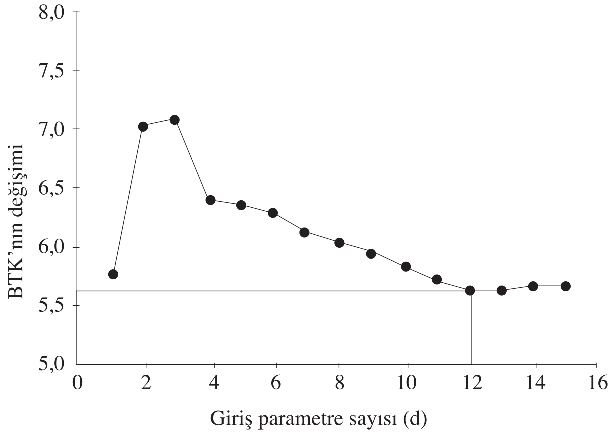
Yukarda verilen bilgiler doğrultusunda, ilgili gün içinde ölçülmüş en büyük sıcaklık değerlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 5'de çizilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere, $Bi = B1, \ldots, B4$, sırasıyla "*Büyük1, ..., Büyük4*"; $Ki = K1, ..., K4$ ise "*Küçük1, ..., Küçük4*" ve "*orta değer*", '*Ort*' şeklinde sembolize edilmiştir.



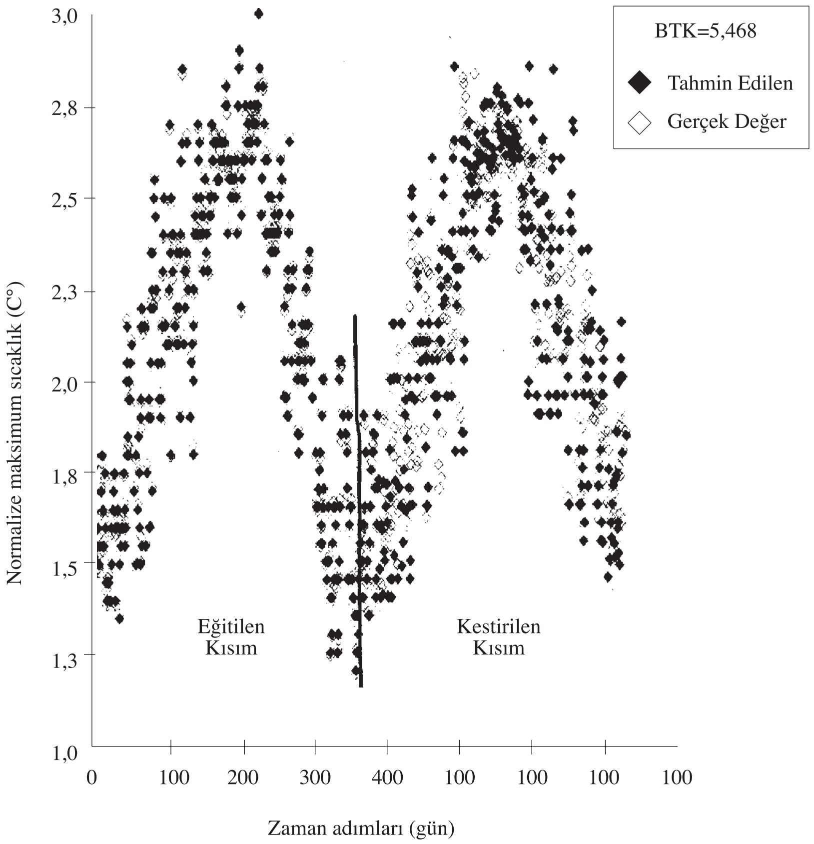
Şekil 5. En büyük hava sıcaklığının bulanık alt-kümeleri

Yukarda verilen bilgiler ışığı altında, *hata fonksiyonu (skaler bir fonksiyon)* kullanılarak, optimum model giriş sayısı, $d = 12$, olarak hesaplandı (Şekil 6).

Verilerden elde edilen model sonuçları ile gerçek gözlenmiş değerler, Şekil 7'de üst üste çizilerek; modelin performansı görsel olarak da kontrol edildi. Şekil 7'den görüleceği üzere, modelin performansı oldukça yüksek çıktığından; **BKT** yaklaşımının, zaman serilerinin kestirimi için çok uygun bir modelleme tekniği olduğu, bu örneğe dayanarak, sonucu çıkarılabilir. Klasik zaman serilerinin kestiriminde, verilerin istatistiksel toplum parametrelerinin kestirimi, verilerin tek-türlülüğü (homojenliği) ve olasılık dağılımları gibi toplum parametrelerinin yaklaşık değerlerini verilerden elde edilmesi üzerine oturtulan yöntemler yerine, çok daha basit bir yaklaşım ile sonuca varılması, büyük bir avantaj olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Sistem giriş sayısının tespiti için kullanılan skalar hata fonksiyonu



Şekil 7. Günlük en büyük hava sıcaklığının model çıktıları ve gerçek gözlemler

4. Sonuçlar

Zaman serilerinin kestirimi amacı ile bulanık kural temelli model kurulurken, model parametreleri gibi tespiti çok zor olan yapıların incelenmesine gerek duyulmamıştır; yani serinin tek-türlülüğü (homojenitesi), periyodikliği ve stokastik değişim bileşenleri v.b. gibi özellikleri birbirinden ayrılmadan, bir bütün olarak düşünülmüştür. Buradan, bulanık sistem yaklaşımının büyük bir avantajının varlığı sonucu çıkarılabilir.

Bulanık sistem yaklaşımı modellemesinde, temel ilkenin; *gözlemlere* bağlı olmasından hareketle, model inşa edilirken, yararlanılan verilerin kalitesi büyük önem arz eder. Dolayısıyla, hassas olmayan sensörlerden gelen verilerin kalibrasyon (ayar) sorunlarından dolayı meydana gelebilecek mantıksal hatalar, bu tür modellemelerin bir güçlüğü olarak görülebilir. Ancak, yukarıdaki sonuçlardan da görülebileceği üzere, bulanık sistemler yaklaşımı küçük dezavantajlarına rağmen, diğer klasik yaklaşımlara göre daha uygun bir yaklaşım sergilemektedir. Bulanık sistemler yaklaşımı ile modellemede, en büyük zorluk, uygun üyelik fonksiyonlarının tespiti ve uygun kuralların bulunabilmesidir. Dolayısıyla, literatürde bu sorunu çözebilecek belli bir yöntem henüz kabul görmüş değildir. Bu gerçekten hareketle, üyelik fonksiyonları ve bunlara ait kuralların, başka yöntemlerle (örneğin, Tatlı and Şen, 1997; Tatlı and Şen, 1999; Tatlı ve diğ., 1999; Tatlı, 2000), daha farklı şekillerde de elde edilebileceğinin altı çizilmesi gerekir.

Kaynaklar

Allenby, R. B. J. T., “Rings, fields and groups. An introduction to abstract algebra”, Edward Arnol, London, 1983.

Bezdek, J. C., Pal, S. K., “Fuzzy models for pattern recognition”, IEEE Press, Pistcataway, N J., 1992.

Birkoff, G., Bartee, T. C., “Modern applied algebra”, McGraw-Hill, New York, 1970.

Black, M., “Vagueness, an exercise in logical analysis”, Philos. Science, 4, 427-455, 1937.

Dunn, J. C., “Well separated cluster and optimal fuzzy partition”, J. Cybern., 4, 95-104, 1974.

Goguen, J. A., “L-fuzzy sets”, J. Math. Anal. And Appl., 18, 145-174, 1967.

Hirota, K., “Industrial applications of fuzzy technology”, Springer-Verlag, Tokyo, 1993.

Kazuo, T., Sano, M., Watanabe, H., “Modeling and control of carbon monoxide concentration using a neuro-fuzzy technique”, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, 2, 271-279, 1995.

Lee, C. C., “Fuzzy logic control. Part I”, IEEE Trans. on Syst. Man. Cyb. SMC, 20, 404-418, 1990a.

Lee, C. C., “Fuzzy logic control systems: Fuzzy logic control. Part II”, IEEE Trans. on Syst. Man. Cyb. SMC, 20, 419-435, 1990b.

Rescher, N., “Many-valued logic”, D. Reidel, Holland, 1969.

Sugeno, M., Kang, G. T., “Structure identification of fuzzy model”, Fuzzy Sets and Systems, 28, 15-33, 1988.

Takagi, T., Sugeno, M., “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control”, IEEE Trans. on Syst. Man. Cyb. SMC, 15, 116-132, 1985.

Tatlı, H., “Bulanık kümeler ve meteoroloji uygulamaları”, Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 96. s, 1997.

Tatlı, H., “Applied fuzzy sets techniques in atmospheric science: Part I, reasoning uncertainty on differential equations”, Fuzzy Sets and Systems (submitted), 2000.

Tatlı, H., Şen, Z., “Air pollution control by fuzzy rule based modeling”, Environmental Research Forums Vols. 7-8, 1997-Trans Tech Publications, Switzerland, 467-472, 1997.

Tatlı, H., Şen, Z., “Lake level modeling by neural fuzzy method and application”, Proc. 2nd Int. Symp. on Intelligent Manufacturing Systems, 1, 391-397, Turkey, 1998.

Tatlı, H., Şen, Z., “A new fuzzy modelling approach for predicting the maximum daily temperature from a time series”, Tr. J. Engineering and Environmental Science, 23, 173-180, 1999.

Tatlı, H., Şaylan, L., Şen, Z., “Tarımsal meteorolojide belirsizlik altında çıkarım”, VII. Kültürteknik Kongresi, Kasım, Kapadokya, Türkiye, 300-310, 1999.

Wang, L. X., Mendel, J. M., “Generating fuzzy rules from numerical data, with applications”, USC-SIPI Rep., No: 169, 1991.

Wang, L. X., “Stable adaptive fuzzy control nonlinear systems”, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, 1, 146-155, 1993.

Xuanli, L. X., Gerardo, B., “A validity measure for fuzzy clustering”, IEEE Trans. on PAMI, 13, 841-847, 1991.

Zadeh, L. A., "Fuzzy sets", Information and Control, 8, 338-353, 1965.

Zadeh, L. A., "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", IEEE Trans. on Syst. Man. Cyb. SMC, 2, 28-44, 1973.