

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NEHİR ENKESİTİNDEKİ ASKI MALZEMESİ MİKTARININ
BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ**

143080

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Özgür KİŞİ
(501992321)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Ekim 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Ocak 2003

Tez Danışmanları :

Prof. Dr. M.Emin KARAHAN
Prof. Dr. Zekai ŞEN

Diğer Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL (Y.T.Ü.)

Prof. Dr. Sedat KAPDAŞLI (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Emin SAVCI (İ.T.Ü.)

Doç. Dr. Hayrullah AĞAÇÇIOĞLU (Y.T.Ü.)

Doç. Dr. Kerem CİĞİZOĞLU (İ.T.Ü.)

Y. Doç. Dr. Hafzullah AKSOY (İ.T.Ü.)

OCAK 2003

**İTÜ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ
KURULUŞ BAKIMINDA**

ÖNSÖZ

Nehir enkesitindeki askı malzemesi miktarının belirlenmesi ile ilgili günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ise klasik mantığa dayalı modellere alternatif olarak bulanık mantığa dayalı yeni modeller önerilmiştir. Bulanık mantığın en azından gelişmiş ülkelerde olduğu kadar, ülkemizde de yaygın bir kullanım alanına sahip olmasını diliyorum.

Tez çalışmalarım sırasında bana her türlü yardımda bulunan, verdikleri bilgilerle beni aydınlatan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. M. Emin KARAHAN ve Prof. Dr. Zekai ŞEN'e teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Ekim 2002

Özgür KİŞİ



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Askı Malzemesi Miktarının Belirlenmesinin Önemi	1
1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	2
1.3. Yapılacak Çalışmanın Amacı, Önemi ve Kapsamı	6
2. ÇALIŞMADA KULLANILACAK YÖNTEMLER	9
2.1. Bulanık Mantık	9
2.1.1. Giriş	9
2.1.2. Üyelik Fonksiyonları	12
2.1.2.1. Bulanıklaştırma	15
2.1.2.2. Üyelik Derecesi Ataması	16
2.1.2.3. Bulanık Matematik	19
2.1.3. Durulaştırma	23
2.1.3.1. En Büyük Üyelik İlkesi	24
2.1.3.2. Sentroid Yöntemi	25
2.1.3.3. Ortalama En Büyük Üyelik	25
2.2. Diferansiyel Evolüsyon	26
2.2.1. Giriş	26
2.2.2. Yeni Popülasyonun Üretilme Tekniği	27
2.2.3. Seçim Aşaması	29
2.3. Katı Madde Anahtar Eğrileri	31
3. BULANIK MANTIĞIN GÜNLÜK GERÇEK ZAMAN SEDİMENT VERİLERİNE UYGULANMASI	33
3.1. Giriş	33
3.2. Bulanık Mantığın Quebrada Blance İstasyonu Verilerine Uygulanması	33
3.3. Bulanık Mantığın Rio Valenciano İstasyonu Verilerine Uygulanması	43
4. BULANIK MANTIĞIN TÜRKİYE SEDİMENT VERİLERİNE UYGULANMASI	52
4.1. Giriş	52
4.2. Bulanık Mantığın Ova Çayı-Eybek İstasyonu Verilerine Uygulanması	53

4.3. Bulanık Mantığın Meriç Nehri-Meriç Köprüsü İstasyonu Verilerine Uygulanması	57
4.4. Bulanık Mantığın Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu Verilerine Uygulanması	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	68
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	80



KISALTMALAR

TSK	: Takagi-Sugeno-Kang tekniği.
EB	: Bulanık mantık tekniğinde en büyük üyeliğin seçim ifadesi.
EK	: Bulanık mantık tekniğinde en küçük üyeliğin seçim ifadesi.
OKTKH	: Ortalama karekök toplam karesel hata.
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi.
DE	: Diferansiyel Evolüsyon.
NP	: Diferansiyel Evolüsyon'da üye elemanların sayısı.
CR	: Diferansiyel Evolüsyon'da çaprazlama katsayısı.
F	: Diferansiyel Evolüsyon'da mutasyon katsayısı.
D	: Diferansiyel Evolüsyon'da parametre sayısı.



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Quabrada Blanca İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri.....	35
Tablo 3.2. Bulanık_DE modelleri ve katı madde anahtar eğrilerinin OKTKH değerleri eğitme ve test aşaması (Quebrada Blance İstasyonu).....	36
Tablo 3.3. Bulanık_DE 4 ve 1. anahtar eğrisi ile elde edilen ve gözlenen katı madde konsantrasyonu değerlerinin istatistik parametreleri	37
Tablo 3.4. Bulanık_DE 4 ve 1. anahtar eğrisinin katı madde konsantrasyonu değer tahminleri-test aşaması.....	38
Tablo 3.5. Bulanık_DE 4 ve 1. anahtar eğrisi ile elde edilen ve gözlenen toplam katı madde miktarları.....	39
Tablo 3.6. Rio Valenciano İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri.....	44
Tablo 3.7. Bulanık_DE modelleri ve katı madde anahtar eğrilerinin OKTKH değerleri - eğitme ve test aşaması (Rio Valenciano İstasyonu).....	45
Tablo 3.8. Bulanık_DE 5 ve anahtar eğrisinin pik değerleri tahminleri-test aşaması.....	46
Tablo 3.9. Bulanık_DE 5 ve 1. anahtar eğrisi ile elde edilen ve gözlenen katı madde konsantrasyonu değerlerinin istatistik parametreleri	47
Tablo 3.10. Gözlenen ve tahmin edilen toplam katı madde miktarları.....	50
Tablo 4.1. Ova Çayı-Eybek İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri	53
Tablo 4.2. Bulanık_DE modelleri ve katı madde anahtar eğrisinin OKTKH değerleri - Ovaçayı-Eybek İstasyonu	54
Tablo 4.3. Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri.....	55
Tablo 4.4. Gözlenen ve tahmin edilen toplam katı madde miktarları.....	56
Tablo 4.5. Meriç Nehri-Meriç Köprüsü İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri.....	57
Tablo 4.6. Bulanık mantık ve EİE'nin anahtar eğrisinin OKTKH değerleri - Meriç Nehri-Meriç Köprüsü İstasyonu).....	57
Tablo 4.7. Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri.....	58
Tablo 4.8. Gözlenen ve tahmin edilen toplam katı madde miktarları.....	58
Tablo 4.9. Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri.....	60
Tablo 4.10. Bulanık_DE modelleri ve katı madde anahtar eğrisinin OKTKH değerleri - Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu).....	60
Tablo 4.11. Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri.....	61
Tablo 4.12. Gözlenen ve tahmin edilen toplam katı madde miktarları.....	62

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : S-Q ilişkilerinde doğrusal olmayan bir değişim.....	4
Şekil 2.1 : Bulanık mantığın bilimsel araştırmalardaki yeri.....	10
Şekil 2.2 : Klasik Sistem.....	10
Şekil 2.3 : Genel Bulanık Sistem.....	11
Şekil 2.4 : Bitişik dikdörtgen gösterim.....	13
Şekil 2.5 : Bitişik üçgen gösterim.....	13
Şekil 2.6 : Örtüşmeli üçgen gösterim.....	14
Şekil 2.7 : Bulanık küme.....	15
Şekil 2.8 : Hassaslık (a) bulanık (b)klasik.....	16
Şekil 2.9 : Sıcaklık bulanık alt kümeleri.....	17
Şekil 2.10 : Bulanık ikizkenar üçgen.....	18
Şekil 2.11 : Bulanık sayılar a) Üçgen, b) Yamuk.....	20
Şekil 2.12 : Bulanık sayı kesim seviyeleri.....	21
Şekil 2.13 : İki bulanık kümenin toplamı.....	21
Şekil 2.14 : İki bulanık kümenin çıkarımı.....	22
Şekil 2.15 : Tipik bulanık küme çıktısı, (a) bulanık girdi ilk kısım, (b) bulanık girdi ikinci kısım, (c) ikisinin birleşimi.....	23
Şekil 2.16 : En büyük üyelik derecesi durulaştırması.....	24
Şekil 2.17 : Sentroid yöntemi ile durulaştırması.....	25
Şekil 1.18 : Ortalama en büyük üyelik durulaştırması.....	25
Şekil 2.19 : Diferansiyel evölüsyon'un işleyişi.....	28
Şekil 2.20 : Diferansiyel Evölüsyon'da seçim aşaması.....	30
Şekil 2.21 : Katı madde anahtar eğrileri.....	32
Şekil 3.1 : Çift kütleler sınaması – Quebrada Blanca İstasyonu.....	34
Şekil 3.2 : Bulanık üyelik fonksiyonlarının genel gösterimi.....	35
Şekil 3.3 : Eğitildikten sonraki akış ve katı madde üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 4)	37
Şekil 3.4 : Gözlenen ve hesaplanan sediment konsantrasyonu değerleri-Eğitme aşaması.....	40
Şekil 3.5 : Gözlenen ve hesaplanan sediment konsantrasyonu değerleri-Eğitme aşaması (Şekil 3.4'ün devamı).....	41
Şekil 3.6 : Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerlerini gösteren saçılma diyagramları -Eğitme aşaması.....	42
Şekil 3.7 : Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerleri-Test aşaması.....	42
Şekil 3.8 : Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerlerini gösteren saçılma diyagramları –Test aşaması.....	43

Şekil 3.9	: Çift kütleler sınaması – Rio Valnciano İstasyonu.....	44
Şekil 3.10	: Eğitildikten sonraki akış ve sedimentin üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 5)	47
Şekil 3.11	: Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerleri-Eğitme aşaması.....	48
Şekil 3.12	: Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerleri-Eğitme aşaması (Şekil 3.11'in devamı).....	49
Şekil 3.13	: Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerlerini gösteren saçılma diyagramları-Eğitme aşaması.....	50
Şekil 3.14	: Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerleri-Test aşaması.....	51
Şekil 3.15	: Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerlerini gösteren saçılma diyagramları-Test aşaması.....	51
Şekil 4.1	: Eğitildikten sonraki akış ve katı madde üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 5)	54
Şekil 4.2	: Gözlenen ve bulanık_DE 5 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerleri.....	55
Şekil 4.3	: Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerini gösteren saçılma diyagramları.....	56
Şekil 4.4	: Eğitildikten sonraki akış ve katı madde üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 4)	58
Şekil 4.5	: Gözlenen ve bulanık_DE 4 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerleri.....	59
Şekil 4.6	: Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerini gösteren saçılma diyagramları.....	59
Şekil 4.7	: Eğitildikten sonraki akış ve katı madde üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 5)	61
Şekil 4.8	: Gözlenen ve bulanık_DE 5 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile tahmin edilen katı madde değerleri.....	62
Şekil 4.9	: Gözlenen ve bulanık mantık ve anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerlerini gösteren saçılma diyagramları.....	63

SEMBOL LİSTESİ

$\tilde{U}(x)$	: Bulanık mantık tekniğinde bir bulanık kümeye aitliği gösteren üyelik derecesi ifadesi
z^*	: Durulaştırılmış değer
$\underline{A}$	: Bulanık A kümesi
$\underline{B}$	: Bulanık B kümesi
A	: Klasik A kümesi
B	: Klasik B kümesi
$\in$	: Elemanlıdır işareti (Kümeler teorisinde)
$\notin$	: Elemanı değildir işareti
$\cup$	: Klasik kümelerde birleşim işareti
$\vee$	: Bulanık mantıkta birleşim işareti
$\cap$	: Klasik kümelerde kesişim işareti
$\wedge$	: Bulanık mantıkta kesişim işareti
$\emptyset$	: Boş küme işareti

NEHİR ENKESİTİNDEKİ ASKI MALZEMESİ MİKTARININ BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ

ÖZET

Nehirlerdeki askı malzemesi miktarının doğru tahmini, kirliliğin belirlenmesi, akarsu taşımacılığı, baraj ömrünün tespiti, hidroelektrik teçhizatlarının emniyeti, balıkların yaşamını sürdürmesi, nehrin estetiğinin korunması vb. konularda çok önemlidir. Bununla birlikte katı madde anahtar eğrileri, çoğu tahminlerde iyi sonuçlar vermemelerine rağmen yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Bu çalışmada nehir enkesitindeki askı maddesi miktarının belirlenmesi için katı madde anahtar eğrilerine göre çok daha iyi bir alternatif olarak bulanık mantığa dayalı modeller geliştirilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde, nehirlerde askı maddesi miktarının belirlenmesinin önemi üzerinde durulmuş ve bu konu ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar irdelenerek anlatılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmanın amacı, önemi ve kapsamına değinilmiştir.

İkinci bölümde, çalışmada kullanılan bulanık mantık ve diferansiyel evölüsyon teknikleri ayrıntılı olarak anlatılmış, katı madde anahtar eğrisi yöntemine de kısaca değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, kurulan bulanık modellerin USGS (United States Geological Survey) tarafından işletilen iki istasyonun günlük gerçek zaman debi ve askı malzemesi konsantrasyonu verilerine uygulanması ve katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılması ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, EİE (Elektrik İşleri Etüd İdaresi)'nin işlettiği farklı havzalarda bulunan üç istasyonun sediment verileri kullanılarak bulanık modeller kurulmuş ve EİE'nin bu istasyonlar için kullandığı katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise önerilen bulanık modeller ve katı madde anahtar eğrileri ile elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca daha sonra yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

MODELING OF SUSPENDED SEDIMENT YIELD IN A RIVER CROSS-SECTION USING FUZZY LOGIC

SUMMARY

Correct estimation of sediment volume carried by a river is important with respect to pollution, channel navigability, reservoir filling, hydroelectric-equipment longevity, fish habitat, river aesthetics and scientific interests. Conventional sediment rating curves, however, are not able to provide sufficiently accurate results. In this study, some fuzzy logic based models are developed as a superior alternative to the sediment rating curve technique for determining suspended sediment concentration and yield in river cross-section.

First, the importance of determining suspended sediment yield is explained in Chapter I. Second, the literature review about this subject and the purpose and scope of this study is given.

In Chapter II, the fuzzy logic and differential evolution used in this study are explained in detail and the sediment rating technique is given briefly.

In Chapter III, the application of the fuzzy models to real-time series of river flow and sediment concentration data of two stations, operated by the USGS (United States Geological Survey), and comparison of results to the sediment rating curves are given.

In Chapter IV, the fuzzy models are applied to sediment data of three stations, operated by the EIE (Turkey General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration) and compared with the sediment rating curves used by EIE.

Results of both techniques, the fuzzy models improved in this study and the sediment-rating curve based on classical logic, are evaluated in Chapter V. In addition, suggestions for future works are also given in this chapter.

1. GİRİŞ

1.1 Askı Malzemesi Miktarının Belirlenmesinin Önemi

Akarsuların taşıdıkları katı maddeler, kısmen havzadan kısmen de akarsu yatağındaki aşınmalardan kaynaklanır. Katı maddelerin akarsulara ulaşmasına kadar meydana gelen sürece havza veya tabaka erozyonu denilmektedir. Akarsu yatağındaki oyulmalar ise yatak erozyonu olarak adlandırılır. Havza ve yatak erozyonu sonunda suyla birlikte hareket eden katı maddeler akımın sürüklenme gücünün azaldığı yatak bölgelerinde ve baraj haznelerinde tabana çökelerek birikirler. Akarsu boyunca, yataklarda meydana gelen oyulma ve yığılmalar yatak şeklinin sürekli olarak değişmesine ve bunun istenmeyen birçok sonuçlarına yol açar. Kısaca, akarsuyun morfolojik yapısı değişir, akarsu üzerindeki yapılar fonksiyon ve emniyet bakımından, hatta estetik açıdan önemli zararlar görür ve akarsuyun su kalitesi bozulur. Bu problemlerin çözümü için katı madde tahminlerine ihtiyaç duyulur.

Özellikle baraj hazneleri gibi su depolama tesislerinde biriken katı maddeler hazne kapasitesini azaltır ve zamanla su alma ağzının tıkanmasına sebep olur. Hazne kapasitesinin azalması tesislerin ekonomik ömrünü kısaltır. Su alma yapısının tıkanması ise haznenin fonksiyonunu göremez duruma gelmesi demektir. Bu zararları geciktirmek için baraj haznesinde ölü hacim denilen pasif bir hacim bırakılır ve su alma yapısı bu hacim üstünde kalacak şekilde yapılır. Bir barajın hizmet süresi bu hacmin büyüklüğüne bağlıdır. Ölü hacmin gereğinden küçük ya da büyük olarak projelendirilmesi baraj ekonomisini çok önemli şekilde etkiler. Ayrıca hazneye gelen katı maddeler sadece ölü hacimde değil, haznenin başka kısımlarında da birikeceği için barajın aktif depolama kapasitesinin gittikçe azalmasına ve belirli bir süre sonra verimin, beklenen seviyesinin çok altına düşmesine neden olur. Bu sebeplerle, barajların ekonomik olarak projelendirilmesinde katı madde tür ve miktarının doğru olarak tahmin edilmesi zorunludur. Ayrıca su alma yapılarının tip ve yerlerinin seçiminde, su kuvveti tesislerinde ve taşımacılık ve taşkın kontrolü için akarsu

düzenlemelerinde ortaya çıkabilecek aşınma ve yığılmaların belirlenmesi katı madde tahminlerini zorunlu kılmaktadır.

Her yıl tonlarca verimli tarım toprağının erozyon sonucu kaybolması bir başka deyişle akarsu depolama tesislerinde birikmesi veya denizlere taşınması, arazinin düzleşmesine, tarımsal alanların çoraklaşmasına ve toprağın veriminin azalmasına yol açar ki, bunlar da canlı hayatını tehdit eden ve milli ekonomiye zarar veren hayati problemlerdir. Bu nedenle, bir havzadan veya belirli tarımsal alanlardan oluşması muhtemel toprak kayıplarının bilinmesi o havza veya bölgelerde alınacak önlemler için zorunludur. Havza ile ilgili erozyon kontrolü çalışmalarının planlanma ve işletilmesinde ise katı madde miktarının zamana göre dağılımını bilmek gerekir (Müftüoğlu, 1980).

Katı madde problemi aynı zamanda su kalitesini etkileyici özelliğiyle sağlık açısından da büyük önem taşımaktadır. Çünkü, katı maddelerin kirlilik taşıyıcı bir yanı vardır. Kirlenmiş suların ekolojik dengeyi bozucu birçok problemi beraberinde getirdiği bilinen bir gerçektir. Bu bakımdan bir nehrin ya da rezervuardaki suyun kirlilik seviyesinin tahmininde yine askı maddesi dağılımının başka bir ifade ile askı maddesi konsantrasyonunun gerçek zamandaki değişimine ihtiyaç vardır. Akarsuların taşıdığı katı madde miktarının gerçek zamandaki tahmini yolunda yapılacak gelişmeler bu problemlerin çözümüne katkı sağlayacaktır.

1.2 Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Akım ortamı içinde, türbülanslı akımla ilgili hareket prensiplerinin hakim oluşu ve hareket halindeki katı maddelerin de akım özelliklerini etkileyici bir faktör oluşu düşünülrse, hareketli tabanlı akımların hidroliğinin ne kadar karmaşık olduğu anlaşılır. Bu hidrodinamik olaylarla ilgili olarak çok sayıda çalışmalar yapılmış (Sharma & Dickinson, 1979; Krone, 1999; Kleinhans & Brinke, 2001), fakat tabanlı hareketli taneli malzemelerden oluşan bir kanaldaki üniform ve permanan akımların iki boyutlu incelenmesi bile kesin sonuçlar veren metotlara kavuşturulamamıştır (Chow, 1964; Graf, 1971; Bayazit, 1971; Chaturvedi, 1992; Simons ve Şentürk, 1992; Bayazit, 1994; Erkek ve Ağralıoğlu, 1994). Oysa katı madde miktarı yalnızca akım şartlarına bağlı olarak değişmemektedir. Havza özellikleri ve yatak morfolojisinin değişimi de hareket halindeki katı madde miktarını etkileyen hatta

belirleyen faktörlerdir. Bu sebeplerden dolayı, katı madde hareketleri ile ilgili hesaplar çok kaba sonuçlar vermektedir.

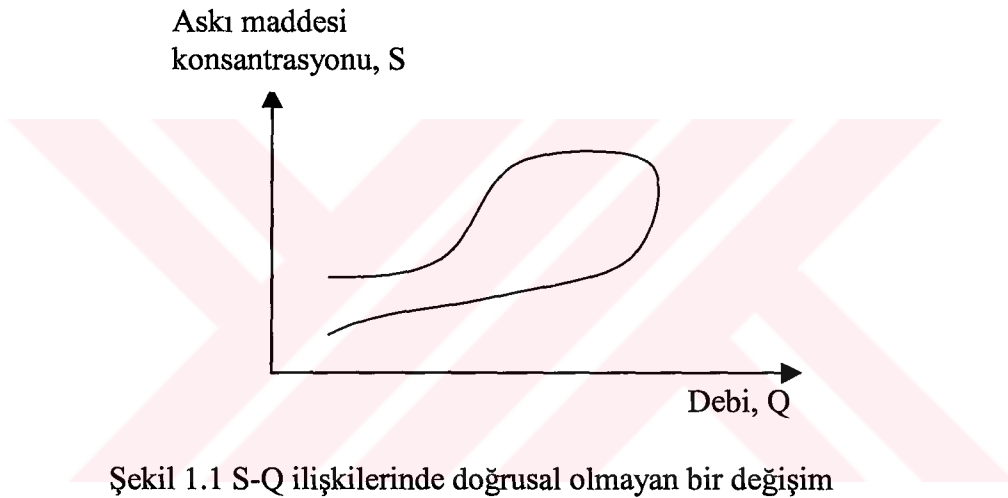
Katı maddelerle ilgili en doğru bilgiler arazide ölçmelerle elde edilmektedir. Ancak, ölçmelerin hem zaman alıcı hem de zor ve masraflı oluşu sebebiyle katı maddeler çok az ölçülebilmektedir. Ayrıca ölçmelerle elde edilen kısa süreli verilerin uzatılması için bir hesap metodunun kullanılması zorunlu olmaktadır. Bu durum ölçme hataları da göz önüne alınırsa, ölçümlere dayanılarak tayin edilecek katı madde miktarlarına da fazla güvenmemek gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

Mekanik prensiplerini esas alarak geliştirilen teorilerin yetersizliği, katı madde tahminlerinde araştırmacıları ve mühendisleri pratikte geçerli olabilecek yollar aramaya yöneltmiş ve tahminlerde söz konusu faktörlerin etkilerinin toptan yansıtıldığı bir değişken ile katı madde debisi arasında bir ilişkinin var olup olmadığının belirlenmesine çalışılmıştır. Böyle bir değişken olarak da, akımın dikkate alınabileceği düşünülmüş, akarsuyun herhangi bir kontrol kesitindeki debisi ile katı madde değişimi arasındaki ilişkinin bir grafikte gösterilmesi genel bir uygulama halini almıştır. “Katı madde anahtar eğrisi” adı verilen bu grafikler genellikle;

$$S = a.Q^b \quad (1.1)$$

şeklinde bir fonksiyonel ilişkiyi ifade ederler (Vansickle ve Beschta, 1983; Thomas, 1985; Demiröz, 1989; Mizumura, 1989, Crawford, 1991; Salas ve Shin, 1999; Hasnain ve Thayyen, 1999; Asselman, 2000; Picouet ve diğerleri, 2001; Krishnaswamy ve diğerleri, 2001). Burada Q, akım debisini, S askı maddesi konsantrasyonunu göstermektedir. a ve b ise akım karakteristiği ile ilgili katsayılardır. Katı madde tahminlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan bu eğriler ile sadece ortalama aylık ya da yıllık katı madde miktarlarının tahmini yapılabilir. Ancak bu tahminlerin ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmalarında %100 den daha büyük oranlarda farklı sonuçlar verdikleri görülmüştür (Walling ve Teed, 1971; Williams, 1989). Bununla birlikte anahtar eğrilerinden faydalanılarak yapılan tahminler rezervuar planlanmasında kullanılageldiğinden, başarı derecelerini değerlendirmek için henüz yeterli bir zamanın geçmemiş olması sebebiyle de başarısızlıklarının açık olarak ortaya çıkmadığı söylenebilir. S-Q ilişkisini inceleyen geniş bir çalışmada (Walling, 1977), tek tip bir ilişkinin olmadığı açık olarak

anlatılmıştır. Bazı akarsularda S-Q ilişkisinin, örneğin, iki kollu bir değişim izlemekte yani akımın yükselen seviyesindeki askı maddesi miktarı, aynı akım için düşme seviyesindeki askı maddesi miktarından oldukça fazla olabilmektedir (Şekil 1.1). Bu hallerde, anahtar eğrileri yetersiz kalmaktadır. Çünkü katı maddelerin büyük bir kısmını akarsuyun havzasından taşıdığı yıkanmış malzemeler oluşturduğu için askı maddesi debisi ile akım arasında her zaman doğrusal bir ilişkiden söz etmek mümkün olmamaktadır. Akarsuyun herhangi bir zamanda taşıdığı katı madde debisi, sadece o andaki şartların değil, etkili hidrolojik değişkenlerin (buharlaşma, debi gibi) gecikmiş etkilerini de taşır. Bu gecikmiş etkiler ise anahtar eğrilerinde tahminlere yansımamaktadır.



Şekil 1.1 S-Q ilişkilerinde doğrusal olmayan bir değişim

Askı maddesi tahminlerinde, yıkanmış malzeme miktarının hesabı için geliştirilmiş “toprak kaybı denklemleri” olarak bilinen denklemler de kullanılmaktadır. Birim alandan oluşabilecek toprak kaybının tahmin edilmesinde kullanılan bu denklemler esas itibari ile havzanın erozyonla ilgili özelliklerini temsil eden faktörler içeren parametrik modellerdir. Bunlar içerisinde en çok kullanılan Üniuersel Toprak Kaybı, USLE (Universal Soil Loss Equation), denklemdir (Williams, 1972; Mitasova ve diğerleri, 1995; Stefano ve diğerleri, 2000; Ferro ve Porto, 2000). 1930’larda başlayan bir çalışma ile geliştirilmiş olan bu denklemin MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) veya RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) adı altında tadil edilmiş şekilleri de vardır (Renard ve arkadaşları, 1991, 1992; Agricultural Research, 1994; Loureiro ve Coutinho, 2001). Aslında bu denklem,

$$E = R.K.L.S.C.P \quad (1.2)$$

biçiminde basit bir ifade olup birim alandan oluşabilecek toprak kaybı (E), yağmur erozyon indeksi (R), toprağın erozyona müsaitlik faktörü (K), eğim uzunluğu faktörü (L), eğim faktörü (S), arazi kullanım faktörü (C) ve erozyon tedbirleri ya da toprak muhafaza faktörü (P) olmak üzere altı faktörün çarpımından ibaret bir modeldir. Parametrelerin tayini için gerekli verilerin belirlenmesindeki güçlükler bu denklemlerin uygulanmasını kısıtlamaktadır.

Rendon-Herrero (1974), etkili yağışla askı maddesi miktarı arasında ilişki kurmaya çalışmış ama çok az test edebilmiştir. Üstelik bu çalışmada yağışın alansal dağılımı üniform kabul edilmiş olup çalışma sadece küçük havzalar için uygulanabilir. Rendon-Herrero 1978'deki çalışmalarını da birim hidrograf teorisine dayandırmış, yani yağışın alansal dağılımının üniform olduğu kabul edilmiştir. Önerilen yöntem sadece üniform ve küçük havzalarda ve sadece taşkın süresince uygulanabilir. Renard ve Laursen (1975) tarafından askı madde eğrilerinin tahmini için bir yöntem geliştirilmiş ama bu yöntem de hem az test edilebilmiş, hem de nehir enkesiti dikdörtgen ve yatak pürüzlülüğü üniform kabul edilmiştir. Bunlardan daha kapsamlı sayılabilecek bir askı maddesi eğrisi modelini Williams (1978) geliştirmiştir. Williams'ın "birim katı madde eğrisi" modelinde esas itibari ile askı maddesi konsantrasyonunun artık yağışın karesinin lineer bir fonksiyonu olduğu kabulü yapılmıştır. Bu model, birim hidrografa dayanmakta, dolayısıyla da taban akımının ayrılmasını gerektirdiğinden sadece taşkınlar sırasındaki katı madde eğrilerinin tahmininde kullanılabilir. Ayrıca modelde daha önce kısıtlarını anlattığımız MUSLE denklemi de kullanılmaktadır. Kavramsal nitelikli olan Kumar ve Rastogi (1987)'nin modellerinde katı madde debisi lineer bir bağıntı şeklinde ifade edilmiş, süreklilik ve biriktirme denklemleri kullanılmıştır. Ancak diğer yaklaşımlara göre zaman ve uzay içerisinde fiziksel çevrenin dinamik olarak dikkate alınmadığı bu modeller de sadece taşkın sürelerinde kullanılmaya elverişlidir.

Amorocho (1967, 1973), Müftüoğlu (1973, 1979, 1984, 1991), Ahsan ve O'Connor (1994), Xia ve diğerleri (1997) gibi bazı araştırmacılar tarafından non-lineer bir kara-kutu havza modeli olarak fonksiyonel seriler bulunmuş ama uzun veriler elde edilememesinden dolayı test edilememiştir. En son Güldal ve Müftüoğlu (2001) tarafından geçmiş yağışların da hesaba katıldığı non-lineer bir kara-kutu havza modeli olarak ikinci dereceden fonksiyonel seriler kullanılmıştır. Bu modelde etkili yağış değerleri girdi olarak alınmış, havzanın nem durumu ise önceki yağışların

kullanılmasıyla modele dahil edilmiştir. Etkili yağış değerlerinin kullanılması ile terleme ve buharlaşma (evapotranspirasyon) etkileri elenmiştir. Williams'ın sonuçları ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada yağışın alansal dağılımı üniform olarak kabul edilmiştir. Verilerin bir kısmı hatalı olduğu gerekçesiyle elenmiştir. Ayrıca geliştirilen model çok az test edilebilmiştir.

Fiziksel esaslı modeller, akışın aşındırıcı etkilerinin deneysel ilişkileri ve akım ile ilgili basitleştirilmiş kabullere dayandığı gibi akım ve katı madde miktarının basitleştirilmiş kısmi diferansiyel eşitliklerine dayanmaktadır. Bu tür çalışmalara örnek olarak Laguna ve Giraldez (1993), Wicks ve Bathurst (1996), Kothiyari ve diğerleri (1997), Refsgaard (1997) vb. verilebilir. Bunlar; teorik olarak yağış, buharlaşma ve terlemenin düzensiz dağılımını olduğu kadar havza özelliklerinin alansal dağılımını da hesaba katan ve fiziksel işlemleri karşılayan bileşenlere sahip karmaşık modellerdir. Özellikle, günümüzde yağışın gerçek alansal dağılımının ölçülmesi mümkün olmadığından bu tür modeller pratik açıdan önemli faydalar sağlamaz, aksine birçok mahsurları vardır (Güldal ve Müftüoğlu, 2001).

Yapay zeka metotlarından biri olan bulanık mantığın su mühendisliği alanında kullanımı çok fazla olmamakla birlikte giderek yaygınlaşmaktadır (Chang, F. J. ve Chen, Y. C., 2001; Xiong, L. Ve diğerleri, 2001; Özelkan, E. C., 2001; Yu, P. S., 2000). Askı malzemesinin belirlenmesi ile ilgili bulanık mantıkla yapılmış henüz bir çalışma bulunmamaktadır.

1.3. Yapılan Çalışmanın Amacı, Önemi ve Kapsamı

Zamanımızda yenilenebilir alışılmış enerji kaynaklarından en önemlisi olan hidrolik potansiyelden yararlanma oranı, bir bakıma ülkelerin sanayileşme göstergesi durumuna gelmiştir. Nitekim bugün gelişmiş ülkelerin, sahip oldukları hidrolik potansiyelin tamamına yakınından yararlanmalarına karşı, dünya hidrolik potansiyelinin yaklaşık %80'lik bölümüne sahip gelişme yolundaki ülkelerde bu potansiyelden yararlanma oranı yaklaşık %15-20 ler dolayındadır. O nedenle hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmalarının bundan böyle gelişmekte olan ülkelerde yoğunluk kazanacağı kendiliğinden ortaya çıkmaktadır (EİE, 1993).

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizde, hidrolik potansiyelden yararlanma oranı yukarıdaki durumdan çok farklı değildir. Üstelik ülkemiz, hidrolik

potansiyel açısından dünya ülkeleri arasında üst sıralarda yer almasına karşın, bu potansiyelden yararlanma oranı yaklaşık %35 dolayındadır (EİE, 1993). Dolayısıyla sosyo-ekonomik gelişmelere paralel bir şekilde artacak olan enerji talebi doğrultusunda, hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmaları ülkemizde de yoğunluk kazanacaktır. Bilindiği gibi akarsularımız üzerinde bir yandan halkımızın içme ve kullanma suyu gereksinimiyle birlikte, tarım ve endüstrimizin su gereksinimlerini karşılamak, diğer yandan enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi çok çeşitli amaçlarla barajlar yapılmaktadır. Hangi amaca yönelik olursa olsun, sedimentasyon bilgisinin azlığından dolayı bu yapıların göllerini besleyen akarsuların getirdiği toprak, kum, silt, kil ve çakıl gibi katı maddeler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak barajların ekonomik ömürlerini kısaltmaktadır. Bu konu Türkiye gibi yarı kurak bir iklimin egemen olduğu ve bununla birlikte karmaşık bir topografik yapısı olan ülkelerde son derece önem kazanmaktadır.

Nitekim Türkiye’de yılda 450 milyon ton toplam sedimentin taşındığı bilinmektedir (EİE, 1993). Ülkemizdeki bu durum, tarımsal ekonomimizin en önemli üretim kaynaklarından birisi olan toprağın üst tabakasının yok olmasına neden olmaktadır. Bunun doğal sonucudur ki çıplaklaşan ve çoraklaşan ülke topraklarında erozyon ve sedimentasyon olayları ile birlikte çevre kirliliği sorunu da gündeme gelmiş bulunmaktadır (EİE, 1993).

Literatüre bakıldığında da görüleceği gibi, nehir enkesitindeki askı malzemesi miktarını belirlemek için tatminkar bir yöntem henüz bulunmamaktadır. Önerilen yöntemlerin bir kısmında doğal olayların davranışına aykırı birçok kabuller yapılmakta (üniformluk, homojenlik gibi), bir kısmında ise tayini için gerekli verilerin belirlenmesi güç olan birçok parametre için içine girmektedir.

Bu çalışmada içerisinde hiçbir kabulü barındırmayan, doğal olayların bulanık olan davranışını iyi bir şekilde ifade edebilecek bulanık (fuzzy) mantık ilkeleri kullanılmıştır. Şimdiye kadar önerilen non-lineer kara-kutu havza modellerine iyi bir alternatif olarak kurulacak olan bu yeni model non-lineer bir gri-kutu havza modeli olarak nitelendirilebilir (Hellendoorn ve Driankov, 1997). Yapılacak bu çalışma ile birçok araştırmaya konu olan askı malzemesi miktarının tayini problemine tatminkar bir çözüm getirmek amaçlanmaktadır.

Bulanık mantık modelleri MATLAB programlama dilinde geliştirilmiş, daha sonra bir çeşit genetik algoritma olan diferansiyel evölasyon yöntemiyle modeller kalibre edilmiştir. MATLAB dilinde yazılmış olan bulanık mantık-diferansiyel evölasyon programlarının kodları eklerde verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde bulanık mantık ile bir çeşit genetik algoritma olan diferansiyel evölasyon (DE) optimizasyon yöntemi ayrıntılı olarak anlatılmış ve katı madde anahtar eğrilerine kısaca değinilmiştir.

Üçüncü bölümde bulanık mantığın günlük gerçek zaman askı malzemesi verilerine uygulaması anlatılmış ve katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde ise bulanık mantığın Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından ölçülmüş aylık katı madde verilerine uygulaması anlatılmış ve yine EİEİ'nin bu akarsular için belirlemiş olduğu katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

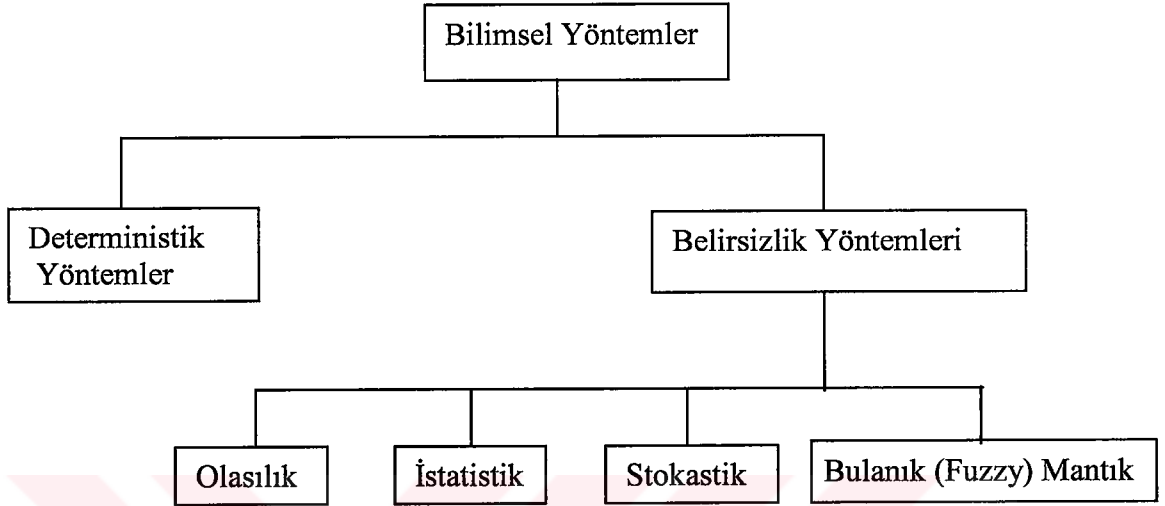
2.1 Bulanık Mantık

2.1.1 Giriş

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik ve kesin düşünce ve kararlar verilememesinden kaynaklanır. Birçok sosyal, iktisadi ve teknik konuda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işleyemezler ve çalışmaları için sayısal bilgiler gereklidir. Gerçek bir olayın tam olarak kavranması insan bilgisinin yetersizliği sonucunda tam anlamı ile mümkün olmadığından insan, düşünce sisteminde ve zihninde bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumlar. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünme ve oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Bu durumlar bilgisayarlarda bulunmaz. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına Bulanık (Fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh(1973) tarafından gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceği ifade edilmiştir. Çünkü çok fazla olan bilgi kaynaklarının türünü insan aynı anda ve etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan kesin sonuçlar çıkaramaz. Burada bilgi kaynaklarının temel ve kesin bilgilere ilave olarak, özellikle sözel olan bilgileri de ihtiva ettiği vurgulanmalıdır. İnsan sözel düşünen ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre bu ifadelerin kesin olması söz konusu olamaz.

Bir sistem hakkında ne kadar fazla öğrenerek bilgi sahibi olursak, onu o kadar daha iyi anlayabiliriz ve onun hakkındaki karmaşıklıklar da o derece azalır, fakat tamamen yok olmaz. İncelenen sistemlerin karmaşıklığı ne kadar fazla ve yeterli miktarda veri bulunmazsa bulanıklık o kadar etkili olacaktır. Bu sistemlerin çözümlerinin

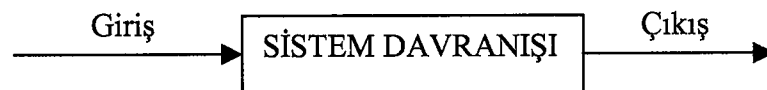
araştırılmasında bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden, bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilir. Şekil 2.1’de bulanık mantık diğer yöntemlerle birlikte ifade edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.1 Bulanık mantığın bilimsel araştırmalardaki yeri

Bulanık uzman sistemler (fuzzy expert systems) lineer ve nonlineer kontrol, örnek tanıma, finansal sistemler, işletme araştırmaları, veri analizleri v.b. birçok alanda kullanılmaktadır. Birçok sistem, bulanık sistemler yardımı ile modellenenebilir ve hatta kopyalanabilir. Günümüzde dünya çapında bulanık mantığın proje ve araştırmalarla oldukça yaygınlaştığı görülmektedir. Bunlardan bazıları; okyanuslarda delik açma için bulanık mantık kontrol sistemleri, yüksek boyutlarda bulanık modelleme, tıbbi görüntülemelerde örnek tanıma, akıllı otoyol için olay tespit tabanlı bulanık mantık.

Şimdiye kadar öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 2.2’de verilen üç ayrı birimden oluşur.

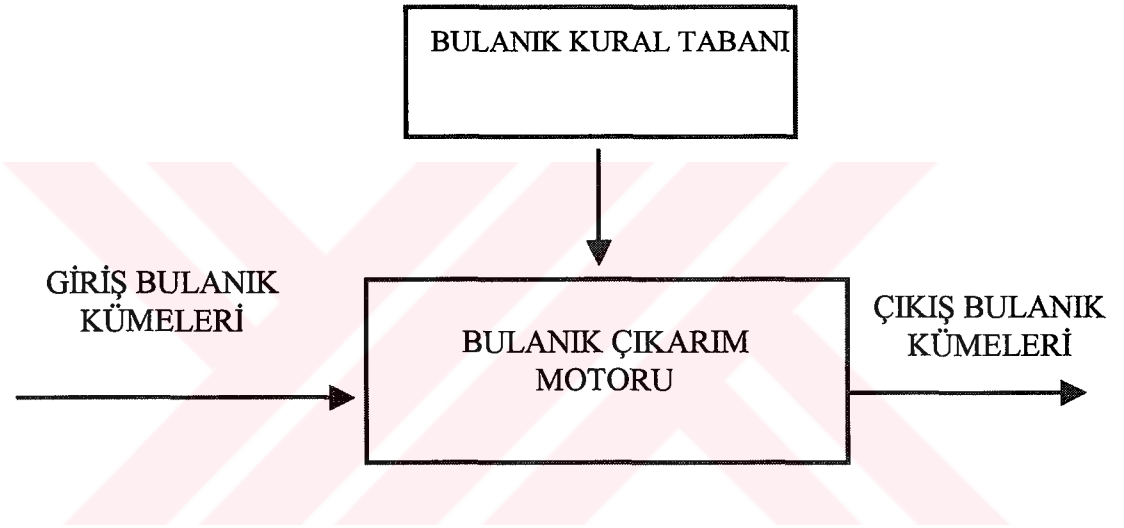


Şekil 2.2 Klasik Sistem

Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır. Bunlar:

1) Gerçek dünya olaylarının çok **karmaşık** olması dolayısı ile bu olayların **belirgin denklemlerle** tanımlanarak **kesinlikle** kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun doğal sonucu olarak araştırmacı kesin olmasa bile **yaklaşık** fakat çözülebilirliği olan yöntemlere baş vurmaya her zaman tercih eder.

2) **Mühendislikte** bütün **teori** ve denklemler **gerçek dünyayı yaklaşık** bir şekilde ifade eder.



Şekil 2.3 Genel Bulanık Sistem

Bulanık sistemlerin klasik sistemden farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak Şekil 2.3'te gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır (Şen, 1999). Burada bulunan **birimlerin** herbirinin farklı, fakat birbiri ile ilişkili olabilen aşağıdaki görevleri vardır.

1) **Genel bilgi tabanı birimi:** İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna **veri tabanı** veya kısaca **giriş** adı da verilir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

2) **Bulanık kural tabanı birimi:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine

bağlayan mantıksal **EĞER-İSE** türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (**bulanık küme**) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.

3)**Bulanık çıkarım motoru birimi**: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

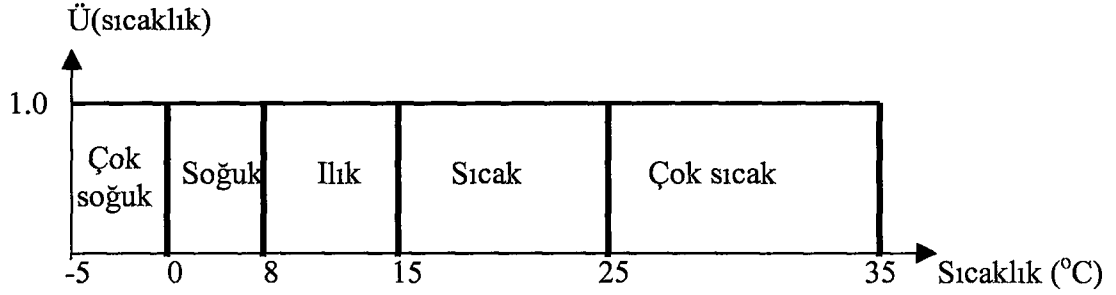
4)**Çıktı birimi**: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

2.1.2 Üyelik Fonksiyonları

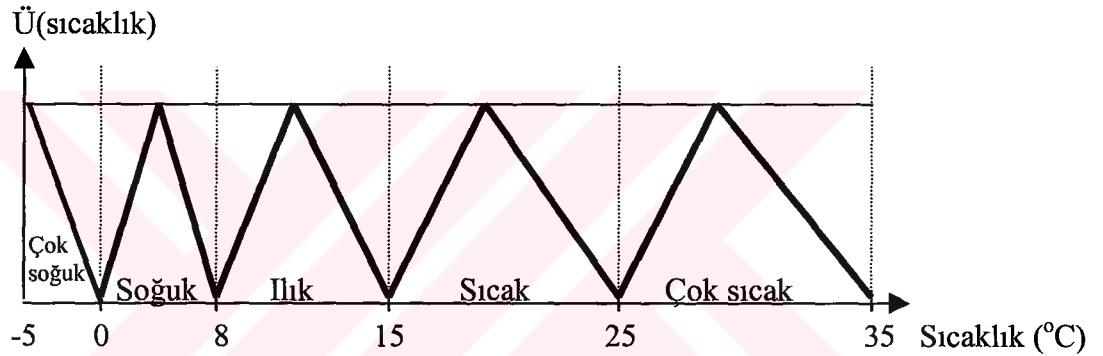
Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal ifade, o aralık hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela, İstanbul’da sıcaklık değerinin değişim aralığının aşağı yukarı -5°C ’den $+35^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerinin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak, günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da bir takım aralıklardan oluştuğu düşünülür. Mesela, ‘çok soğuk’, ‘soğuk’, ‘ılık’, ‘sıcak’, ‘aşırı sıcak’ gibi. Burada, önce “herbir aralığın ne olduğuna karar veriniz” diye bir soru ile karşılaşılırsa, belki mühendis olanlar bu alt kümelerin herbirinin üst üste örtüşmeyen ancak birbirinin sınırında devamlarıymış gibi olduklarını söyleyebilir. Mesela çok soğukun -5°C ile 0°C , soğukun 0°C ile $+8^{\circ}\text{C}$, ılığın $+8^{\circ}\text{C}$ ile $+15^{\circ}\text{C}$, sıcaklığın $+15^{\circ}\text{C}$ ile $+25^{\circ}\text{C}$, çok sıcaklığın ise $+25^{\circ}\text{C}$ ’den başladığı söylenebilir. Burada dikkat edilirse aralık tahminlerinde bulunulmuş ve her bir aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şekil 2.4).

Bu aralıkların sınırlarında yine ikili mantığa (1 veya 0 mantığı) göre katı kararlar alınmalıdır. Örneğin 7.9°C ’nin soğuk 8.1°C ’nin ise ılık olduğuna karar verilir. Bu şekilde gösterim bakımından önemli bir noktada, her aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin sadece o aralıkta 1’e, diğer aralıklarda ise 0’a eşit olduğudur. Bu

nedenle, her bir sıcaklık ifadesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1'e eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir.



Şekil 2.4 Bitişik dikdörtgen gösterim

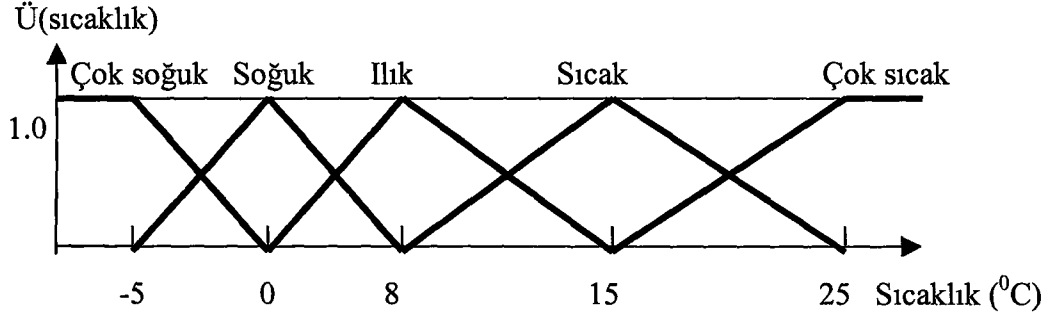


Şekil 2.5 Bitişik üçgen gösterim

Şekil 2.5'te ise en basit üçgen üyelik fonksiyonları bitişik olarak alınmıştır. Bu üçgenlerin de sıcaklık alt kümelerini tam yansıtmadığı açıktır. Çünkü yine sınırlardaki sıcaklık değerlerinin üyelik dereceleri sıfır olarak alınmıştır. Ayrıca, bu sınır değerleri ne alttaki ne de üstteki sıcaklık alt kümelerine dahildir. Böylece, sınır değerler için tam anlamı ile bir belirsizlik vardır. Diğer taraftan, Şekil 2.5'daki aralıklar halen klasik mantığa göre işlem görür. Çünkü bir alt aralığa düşen sıcaklık değeri sadece o alt aralığa aittir ancak Şekil 2.4'ten farklı olarak üyelik derecesi 1'e eşit değildir (Şen, 1999).

Ancak biraz daha makul düşünen birisi, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin olması gerektiğini söylerse, daha mantıklı, günlük hayatta daha geçerli ve uzlaştırıcı çözümlere gitmiş olur. Çünkü herkesin "ılık" sınırlarının +8 °C ile +15 °C'de sıfır üyelik derecelerine sahip olacağını kabul etmesini savunmak mümkün değildir. Halbuki, günlük hayatta sınıra

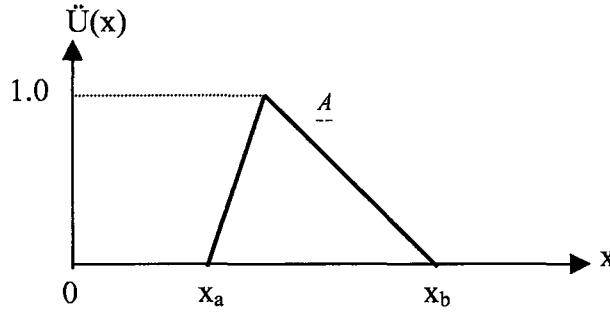
yakın olan değerlerin hangi aralığa düşeceği oldukça şüpheli yani bulanıktır. Böylece sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile sonuçta Şekil 2.6’da verilen üyelik fonksiyonları karşımıza çıkar (Şen, 1999).



Şekil 2.6 Örtüşmeli üçgen gösterim

Burada yukarıda söylenenlerden sonra ilk ve son alt aralıktaki sıcaklık durumlarının “çok çok soğuğa” veya “çok çok sıcak” doğru giderken başka aralıklar olmadığından üyelik derecelerinin 1’e eşit kalmasının makul olacağı anlaşılır. Bunun doğal bir sonucu olarak da ilk ve son üyelik fonksiyonlarının üçgen değil de yamuk şeklinde olacağı sonucuna varılır. Böylece her alt aralığa girişimli olarak bir üyelik fonksiyonu şekli atanmıştır.

Burada sorun her aralığa, örneğin “ılık” aralığına düşen sıcaklık derecelerinin hepsinin aynı önemde olup olmayacağıdır. Tabii olarak, “ılık” aralığının alt ve üst uçlarına yaklaştıkça onun komşusu olan altta “soğuk”, üstte ise “sıcak” alt kümelerine doğru geçişler beklendiği için, o geçiş bölgelerine rastlayan kısımların tam anlamı ile “ılık” vafına sahip olacağı söylenemez. Böylece her bir aralığa düşen sıcaklık derecelerinin, o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında önemlerini ortaya kıyasla göreceli olarak kaybedeceği sonucuna varılır. Buradan da eğer bir aralıkta önem derecesi diye bir değer düşünülecek olursa bunun en büyük değerlerinin o aralığın ortalarında, en düşük değerlerinin ise uçlarda olacağını söyleyebiliriz. Bu düşünceler bizi Şekil 2.7’de gösterilen bir geometrik gösterime sürükler. Genel olarak, her alt aralığın ayrı üyelik fonksiyonu Şekil 2.7’de gösterildiği gibi olur. Bu fonksiyonların simetrik olması gerekmez. Böylece X_a ve X_b gibi alt ve üst sınırlara sahip X değişkeninin bu aralıktaki her değerine ayrı bir üyelik derecesi, $\bar{U}(x)$, atanmış olur. Bu aralıktaki tüm x değerleri, x değişkeninin $\underline{A}$ alt kümesini teşkil eder.



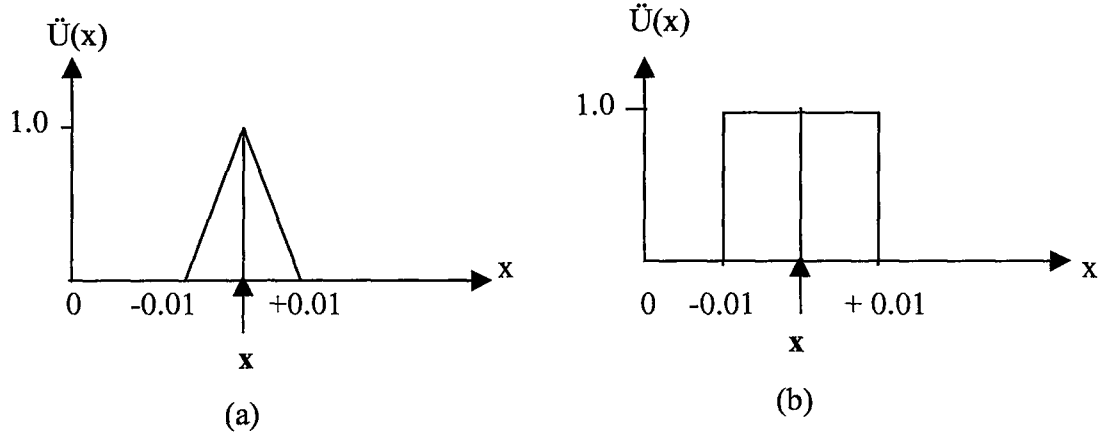
Şekil 2.7 Bulanık küme

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Bunun en önemli özellikleri, alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelerle bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalıklı ve sürekli değiştiği sonucuna varılır. İşte bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin, herbir öğe için değerine üyelik derecesi, bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilir. Böylece, üyelik fonksiyonu şemsiyesi altında toplanan öğeler önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahiptir (Şen, 1999).

2.1.2.1 Bulanıklaştırma

Pratikte genel olarak, klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. İşte böyle olunca da, bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir. Bu belirsizliğin müphem, sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir. Özellikle, bazı cihazların prezisyonu diye tabir edilen durumlarda mesela $\pm \%1$ 'lik hassaslık (prezisyon), ölçülen x büyüklüğünün $x+0.01$ ve $x-0.01$ arasında değişeceği beklentisini ifade eder. Bunun klasik ve bulanık kümelerde gösterimi Şekil 2.8'de verilmiştir.

Buradan bulanık prezisyonun pratikte mantıki olarak daha sağlıklı bir tanım olduğu ortaya çıkar. Böylece, prezisyon kelimesinden ve değerinden bulanık üyelik fonksiyonunun üçgen şeklinde olması akla ilk gelen durumdur (Şen, 1999).



Şekil 2.8 Hassaslık (a) bulanık (b) klasik

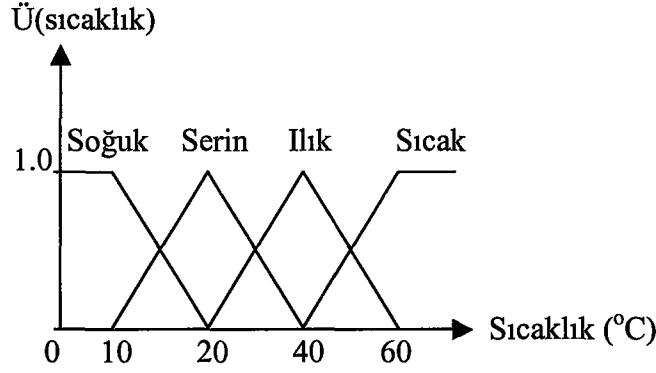
2.1.2.2 Üyelik Derecesi Ataması

İhtimaller hesabında rasgele bir değişkene değişik ihtimal yoğunluk fonksiyonları uydurulabilir. Benzer olarak, bulanık kümelerle daha fazla şekilde üyelik fonksiyonu uydurmak mümkündür. Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile, ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre alınmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerin tümü bu çalışmada gösterilmeyecek kadar fazladır. Başlıcaları:

- a) Sezgi
- b) Çıkarım
- c) Mertebelendirme
- d) Açılı bulanık kümeler
- e) Yapay sinir ağları
- f) Genetik algoritmalar

Bunlardan sezgi fazlaca yöntembilim bilgisi gerektirmemektedir. Zaten bu bölümün başlarında üyelik derecesi ve fonksiyonlarının sezgi ile elde edilmesi konusunda açıklamalar yapılmıştır (Şekil 2.4-2.7). Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışı önemli rol oynar. Buna en basit örnek herkesin, hemen her gün karşı

karşıya kalarak görüş ileriye sürdüğü sıcaklık kelimesinin belirttiği belirsiz alt kümeleri düşünebiliriz. En azından soğuk, serin, ılık ve sıcak gibi dört tane alt küme belirlenebilir. Bu alt kümelerin her biri belirli bir geometrik şekil ile Şekil 2.9’da görüldüğü gibi temsil edilebilir.



Şekil 2.9 Sıcaklık bulanık alt kümeleri

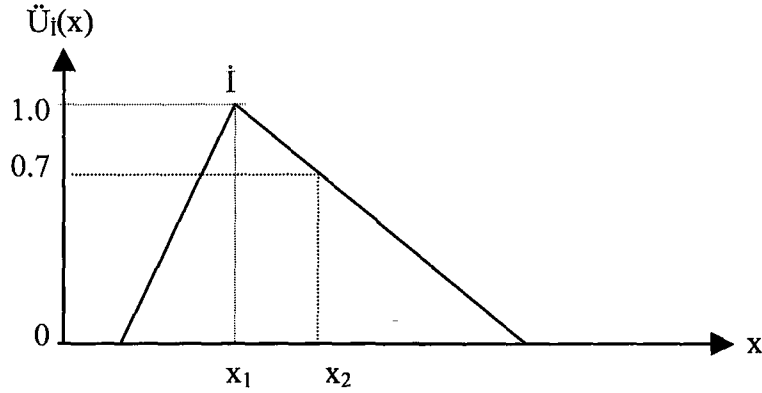
Bu geometrik şekillerin konumları doğal olarak, o yörede yaşayan kişilere göre değişir. Örneğin, kutuplarda yaşayan insanların soğuk kavramı ile tropikal bölgelerde yaşayanlarındaki oldukça farklıdır.

Çıkarım ile bulanık küme üyelik fonksiyonlarının bulunması için mutlaka incelenen olay hakkında bazı temel bilgilere sahip bulunmak gereklidir. Ü’yü üçgenler kümesi olarak düşünelim. Bir üçgenin A, B ve C iç açılarının toplamının 180° olduğunu biliyoruz. İşte bu bilgidен çıkarıma gideceğiz. Üçgenleri eşkenar (E), ikizkenar (İ), dik açılı (D), dik açılı ve eşkenar (DE), ve diğerleri (Dİ) gibi alt kümelere ayırdığımızı düşünelim. Bunların her biri, üçgenler kümesinin bulanık alt kümelerini temsil eder. Sıra bu alt kümelerin her birine birer üyelik fonksiyonunun atanmasına geldiğinde, bilinen bilgilerden yararlanarak bazı üyelik fonksiyonu çıkarımlarının yapılmasına gidilebilir. Örneğin, Şekil 2.10’daki gibi bulanık bir ikiz kenar üçgende $A \geq B \geq C \geq 0$ olmak üzere $A = B$ veya $B = C$ olması durumunda üyelik değerinin $\tilde{U}_I(x) = 1$ olacağı düşünülerek üyelik fonksiyonunun,

$$\tilde{U}_I(A, B, C) = 1 - (1/60^\circ) EK(A-B, B-C) \quad (2.1)$$

olduğu bulunur. $A = 120^\circ$, $B = 60^\circ$ ve $C = 0^\circ$ ise $\tilde{U}_I(x) = 0$ olur. Şekil 2.10’da x_1 , iki açısı birbirine eşit olan üçgenleri, x_2 ise $\tilde{U}_I = 0.7$ olan üçgenleri göstermektedir. Böylece üyelik değeri 1 olan üçgenler tam ikizkenar üçgen olarak nitelendirilirken,

diğer üçgenler de ikizkenarlığa yakınlığı ölçüsünde 0 ile 1 arasında üyelik değerleri alırlar.



Şekil 2.10 Bulanık ikizkenar üçgen

Halbuki bulanık bir dik üçgen için üyelik fonksiyonu

$$\ddot{U}_D(A, B, C) = 1 - (1/90^\circ) | A - 90^\circ | \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Örneğin, $A = 90^\circ$ için dik üçgenin üyelik derecesi $\ddot{U}_D(x) = 1$ ve $A = 180^\circ$ için ise $\ddot{U}_D(x) = 0$ 'dır. Diğer taraftan yaklaşık ikizkenar ve dik üçgen için, bulanık eşkenar üçgen ile bulanık dik üçgenlerin birleşimi olarak iki üyelik fonksiyonundan en küçükleme (EK) ve en büyükleme (EB) işlemleri ile;

$$\ddot{U}_{i\cup D}(A, B, C) = EK[\ddot{U}_i(A, B, C), \ddot{U}_D(A, B, C) = 1 - EB(1/60^\circ) EK(A-B, B-C, (1/90^\circ) | A - 90^\circ |] \quad (2.3)$$

olarak hesaplanabilir. Bulanık eşkenar üçgenin üyelik fonksiyonu ise

$$\ddot{U}_E(A, B, C) = 1 - (1/180^\circ) (A-B) \quad (2.4)$$

dir. $A = B = C$ olduğunda $\ddot{U}_E(A = B = C) = 1$ ancak $A = 180^\circ$ olduğunda da $\ddot{U}_E(A = 180^\circ) = 0$ olur. Diğer üçgenlerin üyelik fonksiyonu ise yukarıdaki bulanık üçgenlerin fonksiyonlarının birleşiminin tamamlayıcısı olarak bulunur. Bunun sonucu

$$\ddot{U}_D(A, B, C) = EK[1 - \ddot{U}_i(A, B, C), 1 - \ddot{U}_E(A, B, C), 1 - \ddot{U}_D(A, B, C)] = (1/180^\circ) EK[3 (A-B), 3 (B-C), 2 | A - 90^\circ |, A-C] \quad (2.5)$$

dir.

Üyelik fonksiyonu atamalarında mertebelendirme yöntemi de kullanılır. Burada bir bulanık değişken hakkında anketler, soruşturmalar veya seçimler yapılarak üyelik derecelerinin atanmasına çalışılır. Her zaman, verilen iki seçenek arasındaki tercihler sayılır veya bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler görülür. Üyelik fonksiyonlarının atanması ile ilgili olarak özellikle yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi yöntemlerin kullanılmasına literatürde sıkça rastlanmaktadır (Şen, 1999).

2.1.2.3 Bulanık Matematik

Bulanık kuralların öncül ve soncul kısımlarında bulunan, mesela, 'hız yüksek' gibi bulanık küme kısımları birer yaklaşıklık ifade eder. Bu bakımdan, 'yaklaşık 3', 'yaklaşık 7', 'aşağı yukarı 9', '5'den büyük ve yaklaşık' gibi ifadelerin hepsi bir bulanık (yaklaşık) sayıyı ifade eder. Bu yaklaşıklıkların herbiri bir bulanık alt kümeye karşı gelir. Bu bulanık sayılarla bildiğimiz aritmetik işlemlerin yapılması durumu karşımıza çıkar ve bunun ayrıntılı olarak öğrenilmesi gerekmektedir.

Bulanık sayılar bazı kısıtlamaların altında tanımlanarak işlemler yapılır. Bir bulanık sayının olabilmesi için bunun $\underline{A}$ gibi bulanık kümesinin normal, dışbükey, sınırlı dayanak ve her üyelik derecesi kesiminde kapalı ve sonlu bir aralığın bulunması gerekir. Bulanık sayıların normal olabilmeleri için bulanık ifadedeki gerçek sayılardan en az birinin üyelik derecesinin 1'e eşit olması gerekir. Yani 'yaklaşık 8' ifadesinde $\tilde{U}(8) = 1$ 'dir.

Genel olarak pratik uygulamalarda kullanılan üçgen ve yamuk olmak üzere iki tane bulanık sayı söz konusudur. $\underline{A}$ bulanık kümesi ile gösterilen bir üçgen bulanık sayının yukarıda söylenenlere göre matematik ifadesi (Şekil 2.11)

$$\tilde{U}_{\underline{A}}(x) = \tilde{U}_{\underline{A}}(x; a, b, c) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b) & \text{eğer } b \leq x < c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2.6)$$

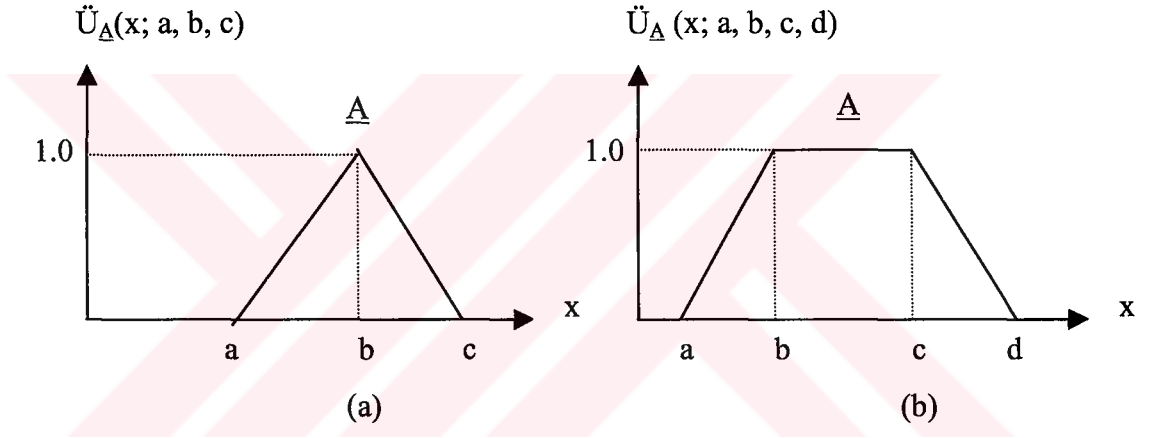
şeklinde. Burada şimdiye kadar alışlagelmiş bir üyelik derecesi gösterimi $\tilde{U}_{\underline{A}}(x; a, b, c)$ şeklinde karşımıza çıkar.

Burada a ve c bulanık küme dayanağının sırası ile alt ve üst sınır değerlerini, b ise tam üyelikli tek sayıyı gösterir. Benzer olarak yamuk sayılar ise bu defa a, b, c ve d

olmak üzere dört tane sayı ile temsil edilir. Bunlardan a ve d yamuk bulanık sayının dayanağının sırası ile alt ve üst sınırlarını, b ve c ise bu iki sayı arasında üyelik derecesi tam olan yamuk sayıların kümesinin sınırlarını gösterir. Yamuk sayının matematik gösterimi ise üçgen sayıya benzer olarak

$$\ddot{U}_A(x) = \ddot{U}_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \leq x < b \\ 1 & \text{eğer } b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eğer } c \leq x < d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Dikkat edilirse b = c olduğu zaman yamuk bulanık sayı üçgen bulanık sayı haline dönüşür. Bu sayıların grafik gösterimleri Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11 Bulanık sayılar a) Üçgen, b) Yamuk

Bir $\underline{A}$ bulanık alt kümesinin λ seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesik bulanık küme

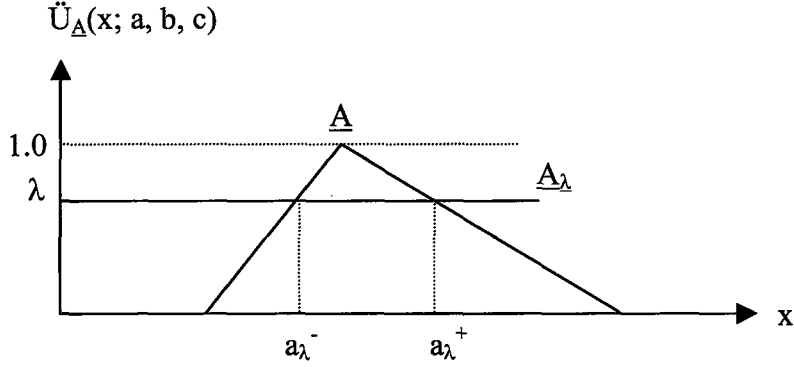
$$\underline{A}_\lambda = \{x \in \underline{A} \mid \ddot{U}_A(x) \geq \lambda\} \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilir. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi bir bulanık kümenin λ seviyesinde kesilmesi ile ortaya çıkan kesilmiş bulanık kümenin a_λ^- ve a_λ^+ gibi bir alt bir de üst sınır küme değerleri elde edilir. Notasyon olarak $\underline{A}$ gibi bulanık bir alt kümenin λ seviyesindeki kesim sınırları cinsinden

$$\underline{A}_\lambda = [a_\lambda^-, a_\lambda^+] \quad (2.9)$$

olarak gösterilecektir.

Şekil 2.13'te gösterildiği gibi kesimleri λ seviyesinde olan $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık alt kümeleri $\underline{A}_\lambda = [a_\lambda^-, a_\lambda^+]$ ve $\underline{B}_\lambda = [b_\lambda^-, b_\lambda^+]$ olsun. Bu iki bulanık alt kümenin $\underline{A} + \underline{B}$ toplamı λ kesim seviyesi cinsinden



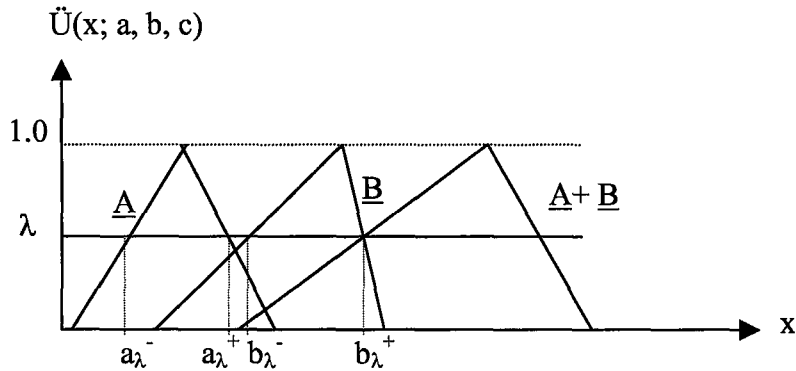
Şekil 2.12 Bulanık sayı kesim seviyeleri

$$(\underline{A} + \underline{B})_\lambda = [a_\lambda^- + b_\lambda^-, a_\lambda^+ + b_\lambda^+] \quad (2.10)$$

şeklinde hesap edilir. Bu toplamın grafik gösterimi Şekil 2.13'te verilmiştir. Benzer olarak iki bulanık alt kümenin birbirinden çıkarılması aşağıdaki gibi tanımlanır (Şekil 2.14).

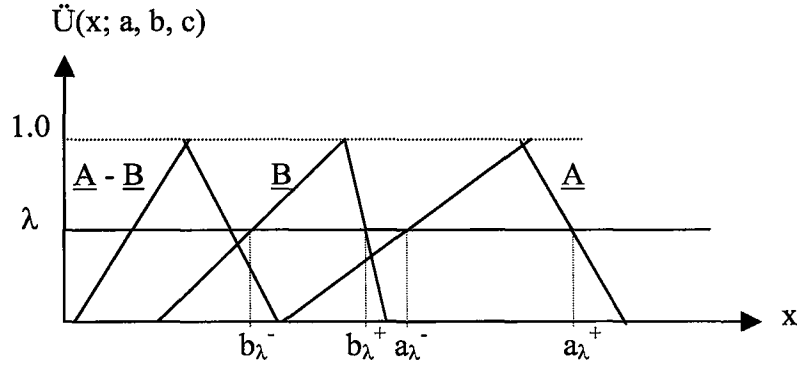
$$(\underline{A} - \underline{B})_\lambda = [EK(a_\lambda^- - b_\lambda^-, a_\lambda^+ - b_\lambda^+), EB(a_\lambda^- - b_\lambda^-, a_\lambda^+ - b_\lambda^+)] \quad (2.11)$$

Bu işlemler her λ seviyesi için geçerlidir.



Şekil 2.13 İki bulanık kümenin toplamı

İki bulanık sayının çarpım ve bölüm işlemlerinin anlaşılması için öncelikle aralık sayılarının bu işlemler karşısında nasıl davranacaklarının izah edilmesinde yarar vardır. Bir aralık sayısı sadece alt ve üst sınır değerleri ile belirlenir. Bunun diğer bir



Şekil 2.14 İki bulanık kümenin çıkarılması

anlamı, alt ve üst sınırlar arasında bulunan bütün sayıların üyelik derecelerinin 1'e eşit olduğu kabul edilirse, yukarıda söylenen üçgen veya yamuk yaklaşık sayıları yerine dikdörtgen bir sayı elde edilir. Aralık sayılarından iki tanesi $A=[a, b]$ ve $B=[c, d]$ olsun. Bunların çarpımı tanım olarak

$$A.B = [EK(ac, ad, bc, bd), EB(ac, ad, bc, bd)] \quad (2.12)$$

şeklinde verilir. Buna benzer olarak aynı iki sayının bölünmesi

$$A/B = [a, b]/[c, d] = [EK(a/c, a/d, b/c, b/d), EB(a/c, a/d, b/c, b/d)] \quad (2.13)$$

şeklinde yapılır ki, buradan bölen sayının sınırlarının sıfıra eşit olmaması gerektiği ortaya çıkar, yani $c \neq 0$ ve $d \neq 0$ olmalıdır.

Bulanık sayıların çarpma ve bölmesi aralık sayılarınkine benzer, çünkü bulanık sayıların λ kesimleri zaten daha önce izah edildiği gibi aralık sayılar gibi gösterilmektedir. λ seviyesinde kesilmiş iki bulanık sayı $\underline{A}_\lambda = [a_\lambda^-, a_\lambda^+]$ ve $\underline{B}_\lambda = [b_\lambda^-, b_\lambda^+]$ ise bunların yine λ seviyesinde geçerli çarpımları

$$(\underline{A} \cdot \underline{B})_\lambda = [EK(a_\lambda^- \cdot b_\lambda^-, a_\lambda^- \cdot b_\lambda^+, a_\lambda^+ \cdot b_\lambda^-, a_\lambda^+ \cdot b_\lambda^+), EB(a_\lambda^- \cdot b_\lambda^-, a_\lambda^- \cdot b_\lambda^+, a_\lambda^+ \cdot b_\lambda^-, a_\lambda^+ \cdot b_\lambda^+)] \quad (2.14)$$

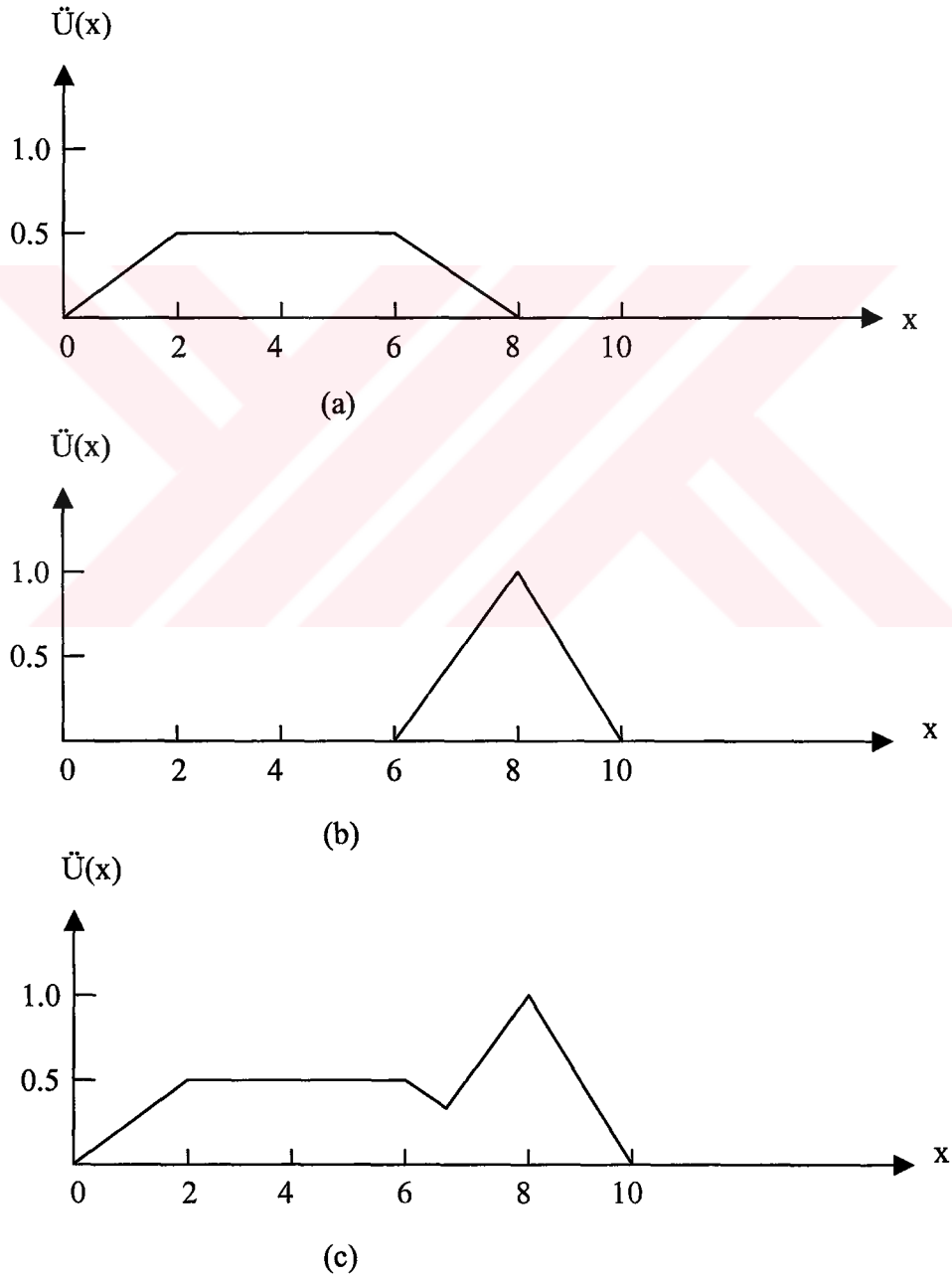
Benzer şekilde bölme işlemi de

$$(\underline{A} / \underline{B})_\lambda = [EK(a_\lambda^- / b_\lambda^-, a_\lambda^- / b_\lambda^+, a_\lambda^+ / b_\lambda^-, a_\lambda^+ / b_\lambda^+), EB(a_\lambda^- / b_\lambda^-, a_\lambda^- / b_\lambda^+, a_\lambda^+ / b_\lambda^-, a_\lambda^+ / b_\lambda^+)] \quad (2.15)$$

olarak tanımlanır (Şen, 1999).

2.1.3 Durulaştırma

Pratik uygulamalarda, özellikle cihaz ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gerek duyulmaktadır. Bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilmesi için bulanık olan bilgilerin durulaştırılması gerekmektedir. İnsanlar için yapay zeka çalışmalarında bulanık değişken, küme, mantık ve sistemler öneme sahip olmasına mukabil, bunların bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline



Şekil 2.15 Tipik bulanık küme çıktısı, (a) bulanık girdi ilk kısım, (b) bulanık girdi ikinci kısım, (c) ikisinin birleşimi

dönüştürülmesi gerekir. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne durulaştırma adı verilir.

Örnek olmak üzere bulanık sonuçlardan bir tanesinin Şekil 2.15a'daki gibi yamuk, diğerinin ise Şekil 2.15b'deki gibi üçgen şeklinde olduğunu düşünelim. Bunların ikisinin birleşimi ise bulanık çıkarım olsun. Şimdi bu dışbükey olmayan bulanık kümeden tek sayılı bir tasarım büyüklüğünün çıkartılması düşünölsün. İşte bunun için durulaştırma işleminin yapılması gerekecektir.

Tabii olarak Şekil 2.15'te, iki tane bulanık kümenin birleşimi sonucunda elde edilen bulanık çıkarım gösterilmiştir. Halbuki, değişik şekilleri olan çarpımların iki veya daha fazla sayıdaki temel bulanık kümelerden çıkması mümkündür.

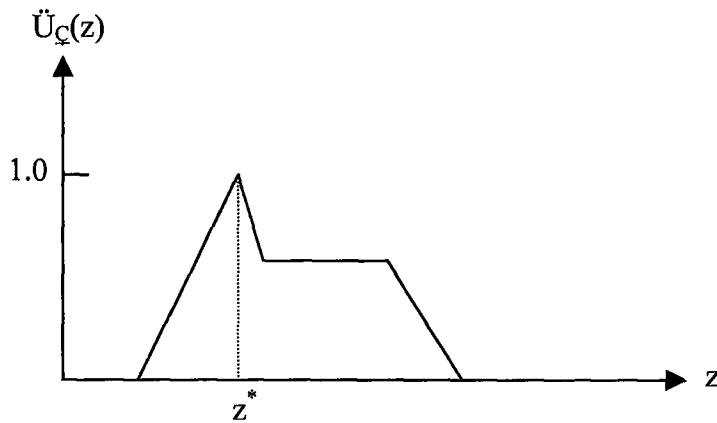
Burada sadece üç çeşit durulaştırma yöntemi verilecektir. Bunların hangisinin kullanılacağına araştırma veya tasarımı yapan mühendisin, elindeki sorunun türüne göre karar vermesi gereklidir. Çıkarım bulanık kümesi Z , öğeleri z ve durulaştırılmış değeri ise z^* ile gösterilmiştir (Şen, 1999).

2.1.3.1 En Büyük Üyelik İlkesi

Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılması için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 2.16'da gösterilen bu durulaştırma işleminin aritmetik notasyon şeklinde gösterimi

$$\ddot{U}_C(z^*) \geq \ddot{U}_C(z), \text{ tüm } z \in Z \quad (2.16)$$

olur (Şen, 1999).



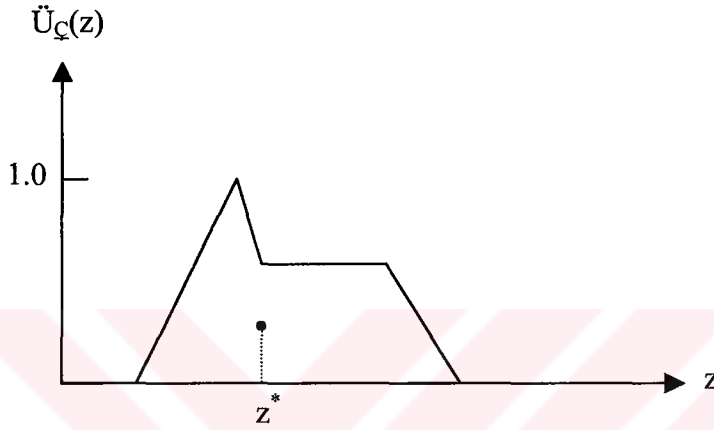
Şekil 2.16 En büyük üyelik derecesi durulaştırması

2.1.3.2 Sentroid (Ağırlık merkezi) yöntemi

Şekil 2.17’de gösterilmiş olan bu durulaştırmanın matematik işlemi aşağıdaki denklem vasıtası ile yapılır (Şen, 1999).

$$z^* = \frac{\int \ddot{U}_{\zeta}(z) \cdot z dz}{\int \ddot{U}_{\zeta}(z) dz} \quad (2.17)$$

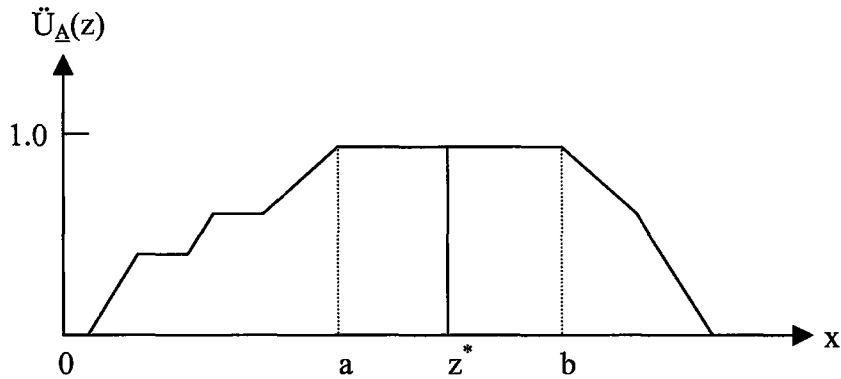
Buradaki integral işareti integrasyon yapılacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 2.17 Sentroid yöntemi ile durulaştırması

2.1.3.3 Ortalama en büyük üyelik

Bu yöntem aynı zamanda en büyüklerin ortası diye de bilinir. Bu bakımdan birinci durulaştırma ilkesine çok yakındır. Ancak, en büyük üyeliğin konumu tekil olmayabilir. Bunun anlamı üyelik fonksiyonunda en büyük üyelik derecesine sahip olan, $\ddot{U}_A(z) = 1$, bir nokta yerine plato gibi düzlük kısmı bulunabilir. Şekil 2.18’de durulaştırma işlemi gösterilmiş olup, matematiksel olarak



Şekil 2.18 Ortalama en büyük üyelik durulaştırması

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilir (Şen, 1999).

2.2 Diferansiyel Evolüsyon (DE)

2.2.1 Giriş

Diferansiyel evolüsyon, bir kayan-nokta (floating-point) evrimsel optimizasyon algoritmasıdır. Literatürde bu metodun bir çok probleme başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir (Lampinen, 2001). DE metodunun çalışma prensiplerine kısaca bir göz atalım.

D boyutlu V parametre vektörüne bağlı optimizasyon (amaç/ölçüt) fonksiyonu en genel şekilde

$$f(V):R^D \rightarrow R \quad (2.19)$$

olarak ifade edilebilir. Burada R reel sayıları göstermektedir. f(V)' nin

$$V=(v_1, \dots, v_D), V \in R \quad (2.20)$$

parametre uzayında minimize veya maksimize edilmesi problemin özünü teşkil etmektedir. Her parametre

$$v_i^{(L)} \leq v_i \leq v_i^{(U)} ; i=1, \dots, D \quad (2.21)$$

gibi alt ve üst sınır kısıtlarına sahip olabilir.

Buna ek olarak optimizasyon fonksiyonu f(V) üzerinde bazı lineer ve/veya nonlinear kısıtlar olabilir. Bu kısıtların sayısı m olmak üzere

$$c_i(V) \leq 0 ; i=1, \dots, m \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edebiliriz.

NP gerçel-değerli vektörden oluşan G' ninci üretilen üyelerin toplumu P_G:

$$P_G = (V_{1,G}, \dots, V_{NP,G}) ; G=0, \dots, G_{\max} \quad (2.23)$$

DE bir fonksiyonu optimize ederken, P_G ' yi oluşturan G 'ninci üretilen üyelerin toplumuna üye olan elemanlar üzerinde işlem yapar. Üye elemanların sayısı NP, optimizasyon süresince sabittir.

$$V_{i,G} = (v_{1,i,G}, \dots, v_{D,i,G}); \quad i=1, \dots, NP \quad G=0, \dots, G_{\max} \quad (2.24)$$

şeklinde gösterilebilir.

Genellikle ilk üyelerin toplumu P_0 ' ın parametreleri, eşitlik (2.21)'deki üst ve alt sınır kısıtlarına uygun olarak rastgele aşağıdaki gibi üretilir:

$$v_{j,i,0} = \text{rand}_j[0,1](v_j^{(U)} - v_j^{(L)}) + v_j^{(L)}; \quad i=1, \dots, NP, \quad j = 1, \dots, D \quad (2.25)$$

Burada $\text{rand}_j[0,1]$, $[0.0, 1.0]$ aralığında rastgele bir sayıdır.

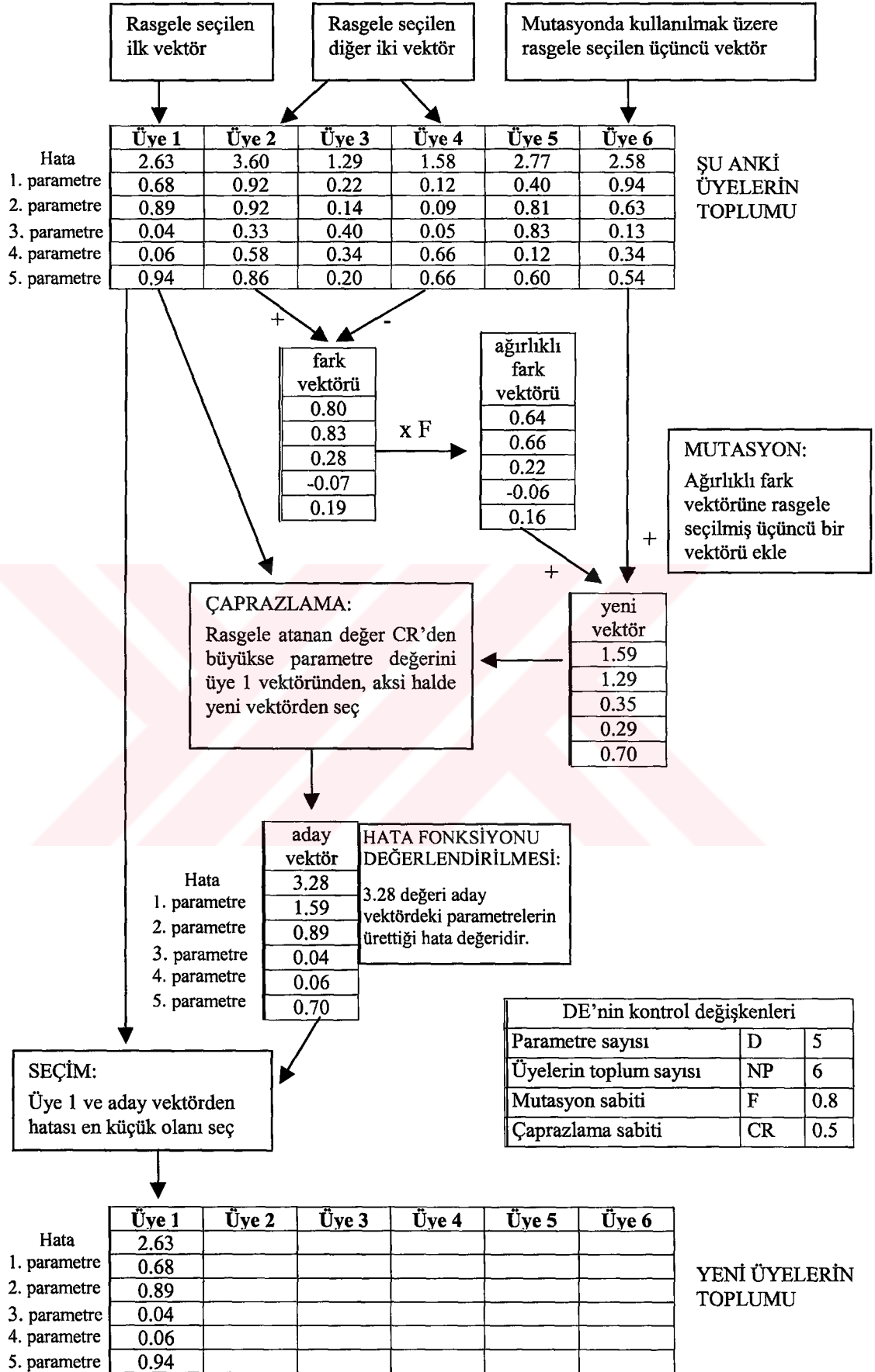
2.2.2 Yeni popülasyonu Üretme Tekniği

P_{G+1} , şimdiki üyelerin toplumu P_G 'den rastgele alınan ve birleştirilen vektörlerden oluşur.

$P'_{G+1} = (U_{1,G+1}, \dots, U_{NP,G+1})$ ile ifade edilen yeni üretime aday üyenin elemanları olan $U_{i,G} = (u_{1,i,G}, \dots, u_{D,i,G})$

$$u_{j,i,G+1} = \left\{ \begin{array}{l} y_{j,i,G+1} = \left\{ \begin{array}{l} v_{j,r3,G} + F(v_{j,r1,G} - v_{j,r2,G}) \text{ Eğer } v_j^{(L)} < y_{j,i,G+1} < v_j^{(U)} \\ \text{rand}_j[0,1](v_j^{(U)} - v_j^{(L)}) + v_j^{(L)} \text{ diğer durumlarda} \end{array} \right\} \\ \text{Eğer } \text{rand}_j[0,1] \leq CR \\ v_{j,i,G} \text{ diğer durumlarda} \end{array} \right\} \quad (2.26)$$

eşitlikleriyle belirlenmektedir. Burada $i = 1, \dots, NP$, $j = 1, \dots, D$ 'dir. $r_1, r_2, r_3 \in \{1, \dots, NP\}$ olmak üzere her i için rastgele olarak seçilmektedir. $CR \in [0,1]$, $F \in (0,1+]$ aralıklarındadır. Her eleman i için yeni rastgele değerler r_1, r_2, r_3 üretilir. Gerçek-değerli değişken, F $((0,0,1.0+])$, çaprazlama değişkeni, CR $([0,1])$ ve popülasyondaki üye sayısı, NP; DE' nin ampirik olarak belirlenen kontrol parametreleridir. Şekil 2.19'da DE algoritmasının nasıl işlediği yeni bir üyeler toplumunun üretilmesi ile gösterilmiştir.



Şekil 2.19 Diferansiyel evölasyon'un işleyişi

2.2.3. Seçim Aşaması

Kısıtlamaların olmadığı durumda, P_{G+1} , şimdiki üyelerin toplumu P_G ve aday üyelerin toplumu, P'_{G+1} ’ den takibeden kurala göre seçilir :

$$V_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G+1} & \text{Eğer } f(U_{i,G+1}) \leq f(V_{i,G}) \\ V_{i,G} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.27)$$

$f(V)$ yi minimize eden vektör bir sonraki üretimde yer alır. Kısıtlamaları da dahil etmede değişik teknikler mevcuttur (Lampinen, 2001). Mesela :

$$f'(V) = f(V) + \sum_{j=1}^m w_j \max(0, C_j(V)) \quad (2.28)$$

eşitliği bunlardan biridir.

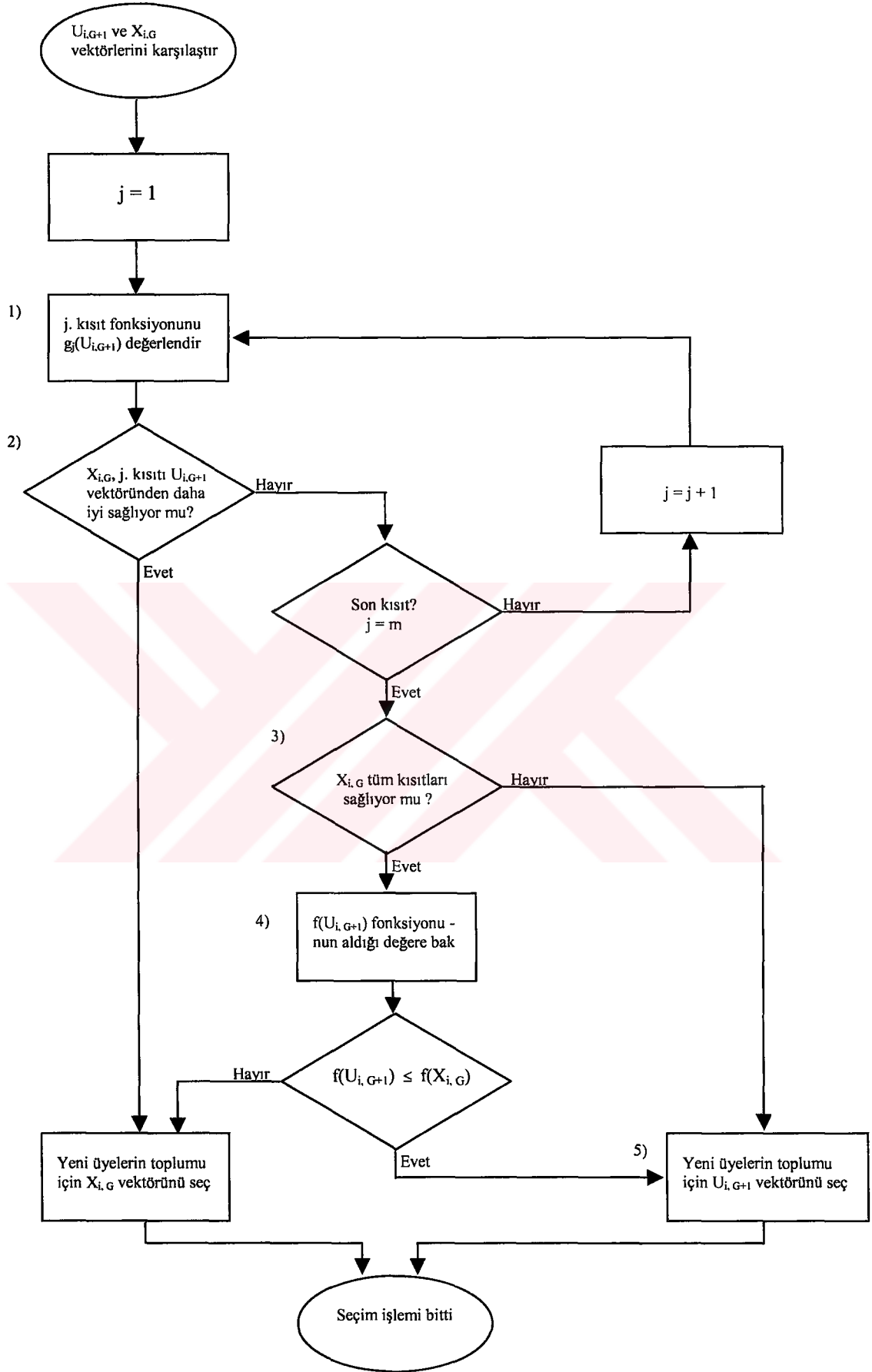
Bu yeni amaç fonksiyonu w gibi yeni kontrol parametreleri içermektedir. Lampinen (2001)’ de kısıtlamalar için yeni bir yaklaşım ele alınmıştır.

Bahsi geçen yayında en uygun parametreleri seçim kuralı :

$$V_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G+1} & \text{eğer} \begin{cases} (\forall j \in \{1, \dots, m\}: C_j(U_{i,G+1}) \leq 0 \wedge C_j(V_{i,G}) \leq 0) \wedge (f(U_{i,G+1}) \leq f(V_{i,G})) \\ (\exists j \in \{1, \dots, m\}: C_j(U_{i,G+1}) > 0) \wedge (\forall j \in \{1, \dots, m\}: \max(C_j(U_{i,G+1}), 0) \leq \max(C_j(V_{i,G}), 0)) \end{cases} \\ V_{i,G} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.29)$$

şeklinde kullanılmıştır. Çalışmada Lampinen tarafından önerilen seçim kuralı kullanılmıştır. Bu seçim kuralı akış diyagramı olarak Şekil 2.20’de verilmiştir. Şekildeki numaralama sırasına göre seçim aşamasında yapılan işlemler aşağıda izah edildiği şekilde yapılmaktadır.

- 1) Gereksiz yere tekrar değerlendirilmemesi için $X_{i,G}$ vektöründeki parametreler için amaç fonksiyonu ve kısıtların aldığı değerler saklanır.



Şekil 2.20 Diferansiyel Evolüsyon'da seçim aşaması

- 2) $X_{i,G}$ vektöründeki parametreler, herhangi bir kısıtı $U_{i,G+1}$ vektöründeki parametrelerden daha iyi sağlıyorsa, diğer kısıtlara bakılmaksızın $U_{i,G+1}$ vektörü anında reddedilir.
- 3) Hem $X_{i,G}$ hem de $U_{i,G+1}$ vektöründeki parametreler tüm kısıtları sağlıyorsa, amaç fonksiyonlarını karşılaştırmak üzere 4. aşamaya geçilir, kısıtlar sağlanmadığı takdirde bir sonraki aşamaya geçilmeden yeni üyelerin toplumu için parametreler vektörü seçilir.
- 4) $X_{i,G}$ ve $U_{i,G+1}$ vektöründeki parametreler için sırasıyla $f(X_{i,G})$ ve $f(U_{i,G+1})$ amaç fonksiyonlarının alacağı değerler hesaplatılır.
- 5) Amaç fonksiyonunun, $X_{i,G}$ ve $U_{i,G+1}$ vektöründeki parametreler için alacağı değerler karşılaştırılır ve amaç fonksiyonu değeri en küçük olan parametre vektörü yeni popülasyon için seçilir.

2.3 Katı Madde Anahtar Eğrileri

Katı madde anahtar eğrisi, akarsuyun herhangi bir kontrol kesitindeki debisi ile katı madde değişimi arasındaki ilişkiyi gösterir ve genellikle

$$S = aQ^b \quad (2.30)$$

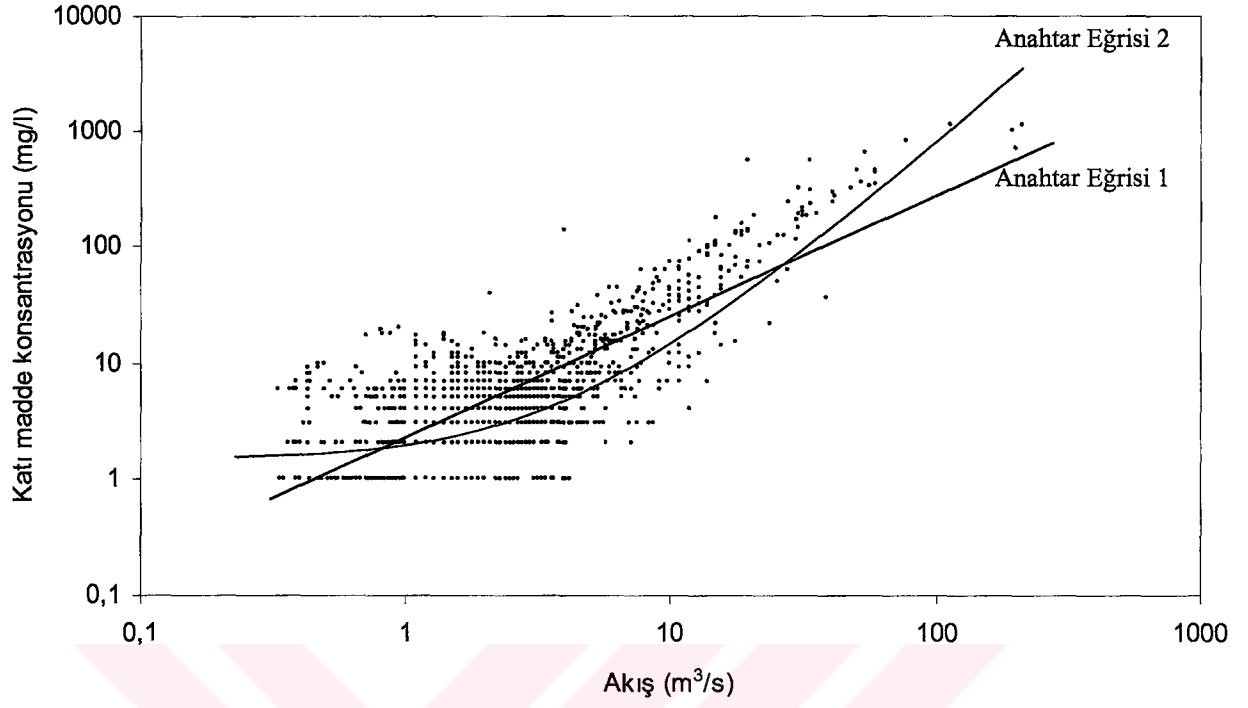
fonksiyonel ilişkisi ile ifade edilir. Burada Q nehir akımı debisini, S katı madde konsantrasyonunu, a ve b ise nehir akımı karakteristiğine bağlı katsayıları göstermektedir. (2.30) eşitliğinde her iki tarafın da logaritması alınır (2.31) eşitliği elde edilir.

$$\log S = \log a + b \cdot \log Q \quad (2.31)$$

Burada a ve b katsayıları, $\log S$ ve $\log Q$ arasında lineer regresyon kurularak elde edilir. Bu çalışmada, 1. katı madde anahtar eğrisi, yukarıda tarif edildiği şekilde bulunmuştur. 2. anahtar eğrisi ise (2.32) eşitliğindeki a , b ve c katsayıları en küçük kareler metoduyla hesaplanarak elde edilmiştir.

$$\log S = a + b \cdot \log Q + c \cdot (\log Q)^2 \quad (2.32)$$

Her iki katı madde anahtar eğrisi de Şekil 2.21’de grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.21 Katı madde anahtar eğrileri

3. BULANIK MANTIĞIN GÜNLÜK GERÇEK ZAMAN KATI MADDE VERİLERİNE UYGULANMASI

3.1 Giriş

Çalışmanın bu bölümünde, Amerika'da Puerto Rico eyaletinde bulunan ve USGS (United States Geological Survey) tarafından işletilen iki istasyonun günlük gerçek zaman akım ve katı madde konsantrasyonu verileri kullanılmıştır. İlk istasyon, drenaj alanı 8.42 km² olan Jagual Havzası'nda bulunan Quebrada Blanca İstasyonu (USGS İstasyon No: 50051150)'dur. İkinci istasyon, drenaj alanı 42.48 km² olan Juncos Havzası'nda bulunan Rio Valenciano İstasyonu (USGS İstasyon No: 50056400)'dur. Veriler USGS'in web sayfasından alınmıştır.

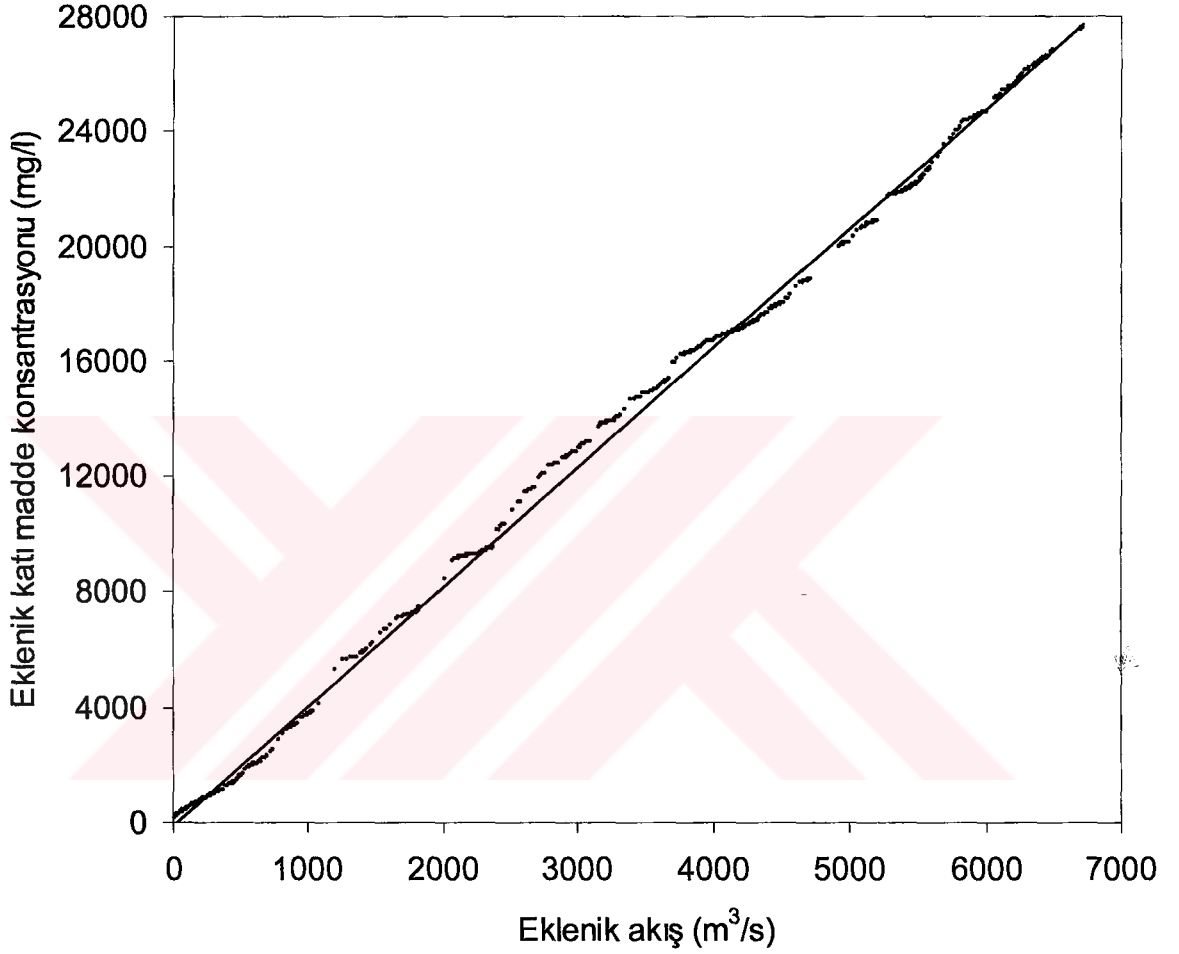
Her iki istasyon için, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları 4'ten 12'ye kadar artırılarak 9 ayrı bulanık mantık-diferansiyel evölüsyon karışımı (bulanık_DE) model kurulmuştur ve katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle en iyi sonucu veren üyelik fonksiyon sayıları da bulunmuştur.

3.2 Bulanık Mantığın Quebrada Blanca İstasyonu Verilerine Uygulanması

İlk olarak günlük gerçek zaman akış ve katı madde konsantrasyonu verileri arasında tektürlülük (homojenlik) olup olmadığına bakmak için verilere çift kütleler sınaması yapılmıştır. Eklenik akış ve katı madde konsantrasyonu verilerinin saçılma diyagramı Şekil 3.1'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi saçılma bir doğru etrafında olmaktadır. Bu da akış ile katı madde değerleri arasında yaklaşık olarak bir tektürlülük olduğunu göstermektedir. Başka bir ifade ile, akış-katı madde olayına dışarıdan olağandışı herhangi bir etki olmamıştır.

Kurulacak olan modelleri eğitime ve test için keyfi olarak iki kısma ayrılmıştır. 1 Ekim 1989'dan 30 Eylül 1990'a kadar (yani 1990 su yılı) olan veriler ve 1 Ekim

1991'den 30 Eylül 1994'e kadar (1992, 1993 ve 1994 su yılı) olan veriler modellerin eğitilmesi için seçilmiş, 1 Ekim 1994'ten 30 Eylül 1995'e kadar (1995 su yılı) olan veriler ise modelleri test etmek için kullanılmıştır. 1991 su yılı, o yıl Quebrada Blanca İstasyonu'nda USGS tarafından ölçüm yapılmadığından dolayı kullanılamamıştır.



Şekil 3.1 Çift kütleler sınaması – Quebrada Blanca İstasyonu

Quebrada Blanca İstasyonu'na ait akış ve katı madde konsantrasyonu verilerinin istatistik parametreleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Tabloda S_x , standart sapmayı, C_{sx} , çarpıklık katsayısını, C_v , değişim katsayısını, r_1 , 1 aralıklı otokorelasyonu göstermektedir. Tablodan da görüldüğü gibi hem eğitim hem de test aşamasındaki akış ve katı madde konsantrasyonu verilerinin standart sapmaları ve çarpıklıkları oldukça büyük. Yani bu istasyon için akış-katı madde olayının çok değişken olduğu söylenebilir. Bu da akış-katı madde olayını modellemeyi zorlaştırmaktadır.

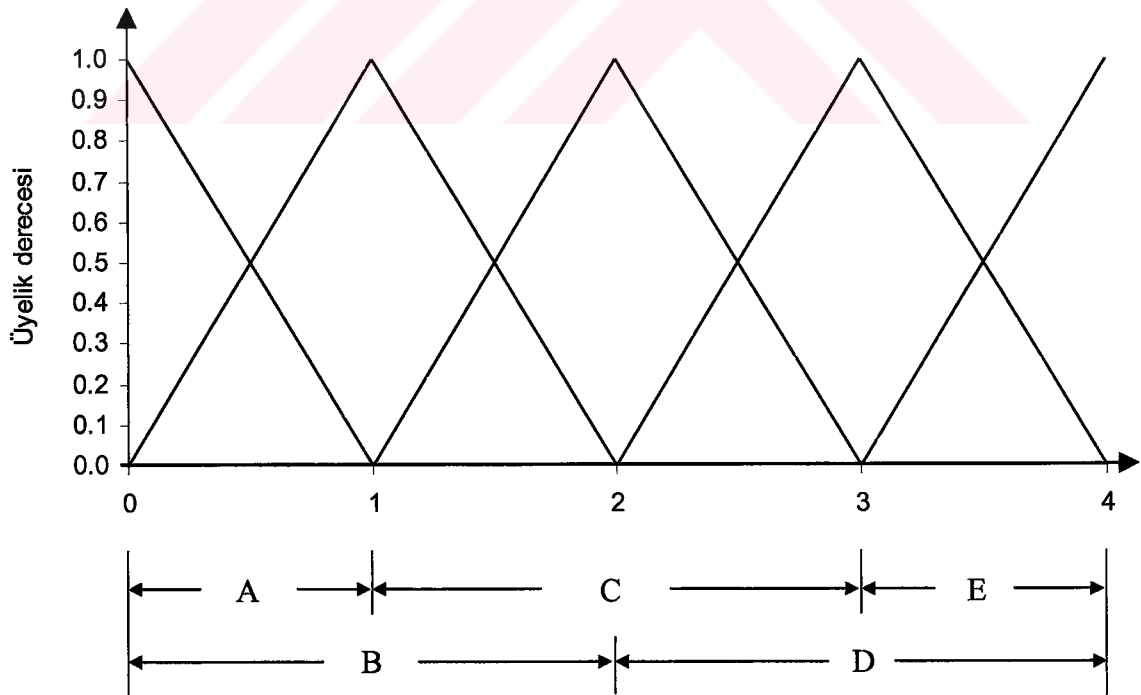
Tablo 3.1 Quabrada Blanca İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri

Değişkenler	Eğitme aşaması						
	Ortalama	Sx	Csx	Cv	r_1	minimum	maksimum
Akış (m^3/s)	4.60	11.62	11.76	2.53	0.29	0.33	213
Katı madde konsantrasyonu (mg/l)	18.88	74.72	9.73	3.95	0.28	1.00	1150
	Test aşaması						
	Ortalama	Sx	Csx	Cv	r_1	minimum	maksimum
Akış (m^3/s)	4.66	9.08	5.44	1.95	0.53	0.40	84
Katı madde konsantrasyonu (mg/l)	20.75	62.97	7.10	3.03	0.33	1.00	635

Bulanık model kurulurken ilk önce akım ve katı madde değişkenlerine Şekil 3.2'deki gibi eşit aralıklı üçgen üyelik fonksiyonları atanmıştır. İşlem kolaylığı sağladığından literatürde de genellikle üçgen üyelik fonksiyonları kullanılır. Pratik uygulamalarda da eşit aralıklı üçgen üyelik fonksiyonları sıkça kullanıldığından her bir model ilk olarak bu şekilde kurulmuştur. Her bir model için,

- Eğer akım az ise sediment de azdır
- Eğer akım çok ise sediment de çoktur

şeklinde bire bir (yani üyelik fonksiyonları sayısı kadar) kural konmuştur.



Şekil 3.2 Bulanık üyelik fonksiyonlarının genel gösterimi

Daha sonra eğitme için ayrılan veriler kullanılarak bulanık modellerin üyelik fonksiyonlarının aralıkları diferansiyel evölüsyon algoritması ile ayarlanmıştır.

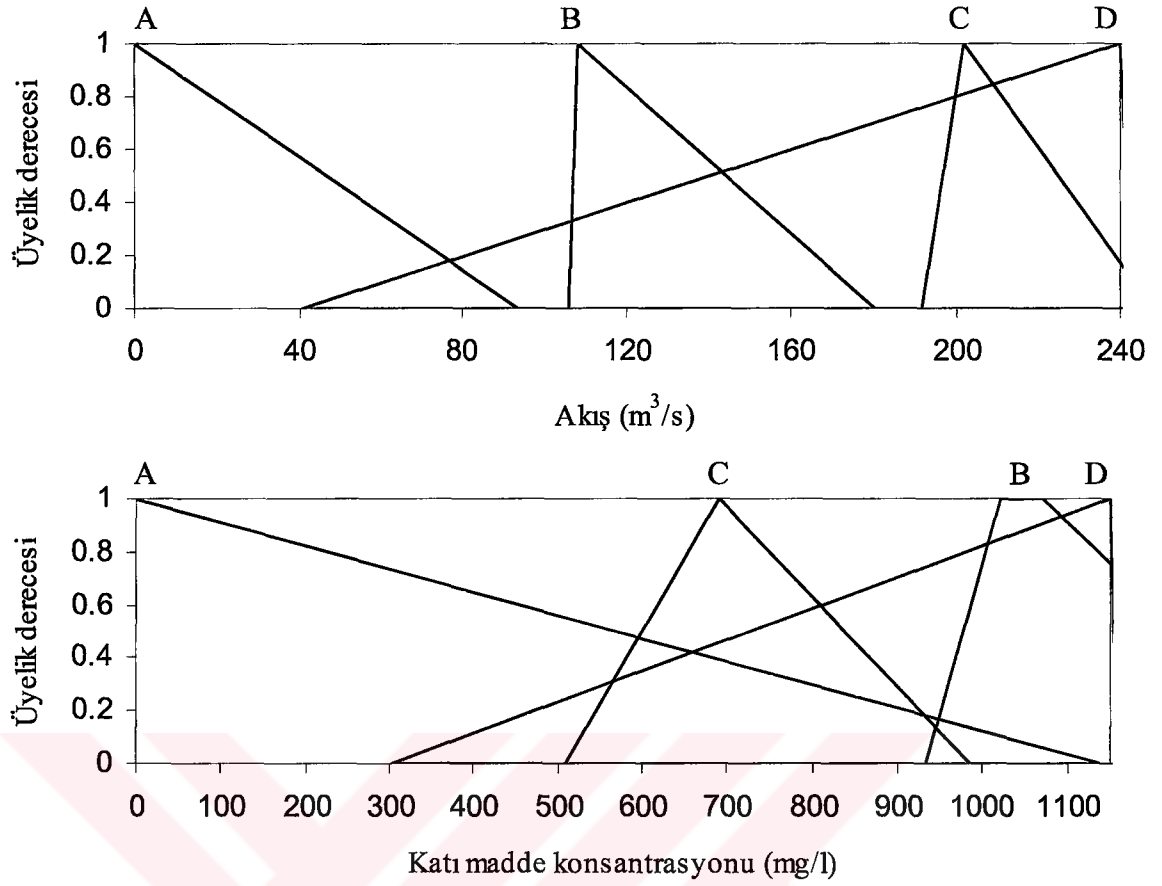
Bulanık_DE modelleri ile katı madde anahtar eğrileri Tablo 3.2’de literatürde sıkça kullanılan ortalama karekök toplam karesel hata (OKTKH) kriterine göre karşılaştırılmıştır. N kullanılan toplam veri sayısı olmak üzere, OKTKH,

$$OKTKH = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_{i_{gözlenn}} - Y_{i_{tah\ min}})^2} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Tablodan da görüldüğü gibi gerek eğitme gerekse test aşamasında bulanık_DE modellerinin OKTKH değerleri katı madde anahtar eğrilerinkilere göre çok daha düşüktür. İki yöntemin de eğitme aşamasında en iyileri olan bulanık_DE 4 modeli ile, 1. anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH fark eğitme aşamasında % 53, test aşamasında % 43’tür. Başka bir ifade ile, anahtar eğrisinin hatası bulanık_DE modelininkinden neredeyse iki kat daha fazladır. Bulanık_DE 4 modelinin eğitmeden sonraki üyelik fonksiyonları Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Bunun eşit aralıklı modelden çok farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.2 Bulanık_DE modelleri ve katı madde anahtar eğrilerinin OKTKH değerleri - eğitme ve test aşaması (Quebrada Blance İstasyonu)

Modeller	OKTKH (mg/l)	
	Eğitme aşaması	Test aşaması
Bulanık_DE 4	0.647	1.353
Bulanık_DE 5	0.656	1.334
Bulanık_DE 6	0.659	1.568
Bulanık_DE 7	0.662	1.408
Bulanık_DE 8	0.659	1.527
Bulanık_DE 9	0.665	1.381
Bulanık_DE 10	0.666	1.542
Bulanık_DE 11	0.659	1.389
Bulanık_DE 12	0.653	1.334
Anahtar eğrisi 1	1.375	2.362
Anahtar eğrisi 2	10.67	1.858



Şekil 3.3 Eğitildikten sonraki akış ve katı maddenin üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 4)

Bulanık_DE 4 ve 1. anahtar eğrisi ile elde edilen ve gözlenen katı madde konsantrasyonu değerlerinin istatistik parametreleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE 4 modeli ile elde edilen katı madde konsantrasyonu değerlerinin istatistik parametreleri gözlenen değerlerin parametrelerine anahtar eğrisiyle elde edilen değerlerinkilerden daha yakın.

Tablo 3.3 Bulanık_DE 4 ve 1. anahtar eğrisi ile elde edilen ve gözlenen katı madde konsantrasyonu değerlerinin istatistik parametreleri

Katı madde konsantrasyonu (mg/l)	Eğitme aşaması				Test aşaması			
	Ortalama	Sx	Csx	Cv	Ortalama	Sx	Csx	Cv
Gözlenen	18.88	74.72	9.73	3.95	20.75	62.97	7.10	3.03
Bulanık_DE 4	23.96	68.44	10.49	2.86	30.57	72.13	6.50	2.36
Anahtar eğrisi 1	10.16	26.64	12.01	2.62	10.29	20.56	5.51	2.00

Tablo 3.4'te bulanık_DE 4 modeli ile 1. anahtar eğrisinin test aşamasında katı madde konsantrasyonu değer tahminleri karşılaştırılmıştır. Bulanık modelin katı madde

konsantrasyonu değerlerini tahmini, anahtar eğrisine göre küçük değerlerde çok iyi olmamakla birlikte bk değerlerde oldukça iyidir.

Tablo 3.4 Bulanık_DE 4 ve 1. anahtar eğrisinin katı madde konsantrasyonu değer tahminleri-test aşaması

Gözlenen katı madde konsantrasyonu değerleri (mg/l)	Bulanık_DE 4 tahmin (mg/l)	Anahtar eğrisi 1 tahmin (mg/l)	Rölatif hata (%)	
			Bulanık_DE 4	Anahtar eğrisi 1
1	9,1	3,4	810	243
2	9,1	3,4	355	71
3	8,6	2,3	187	-22
4	8,1	1,9	103	-53
5	7,5	1,4	51	-72
6	9,3	4,5	56	-25
7	7,4	1,3	6	-81
8	8,1	1,9	2	-76
9	9,3	4,5	4	-50
10	13,0	6,5	30	-35
11	10,4	5,2	-6	-53
12	13,0	6,5	8	-46
13	9,1	3,9	-30	-70
14	14,8	7,2	6	-49
15	16,1	8,0	7	-46
16	16,4	9,1	2	-43
17	9,3	4,5	-45	-73
18	16,3	8,9	-9	-50
19	10,0	5,0	-47	-74
20	27,6	11,1	38	-44
27	58,9	19,6	118	-27
30	61,7	24,3	106	-19
39	60,5	21,6	55	-45
46	60,8	22,0	32	-52
51	27,6	11,1	-46	-78
71	64,3	31,0	-9	-56
100	61,7	24,3	-38	-76
112	216,1	53,6	93	-52
137	215,8	58,2	57	-58
169	215,2	67,3	27	-60
170	242,9	71,8	43	-58
183	215,2	67,3	18	-63
219	319,8	87,8	46	-60
237	347,6	94,7	47	-60
250	288,4	81,0	15	-68
417	369,6	156,7	-11	-62
540	779,2	191,4	44	-65
567	369,9	142,9	-35	-75
635	669,9	161,3	5	-75

Tablo 3.5'te bulanık_DE 4 modeli ile 1. anahtar eğrisi toplam katı madde miktarını tahminde karşılaştırılmıştır. Tablodaki % de rölatif hatalar (3.2) eşitliği ile hesaplanmıştır.

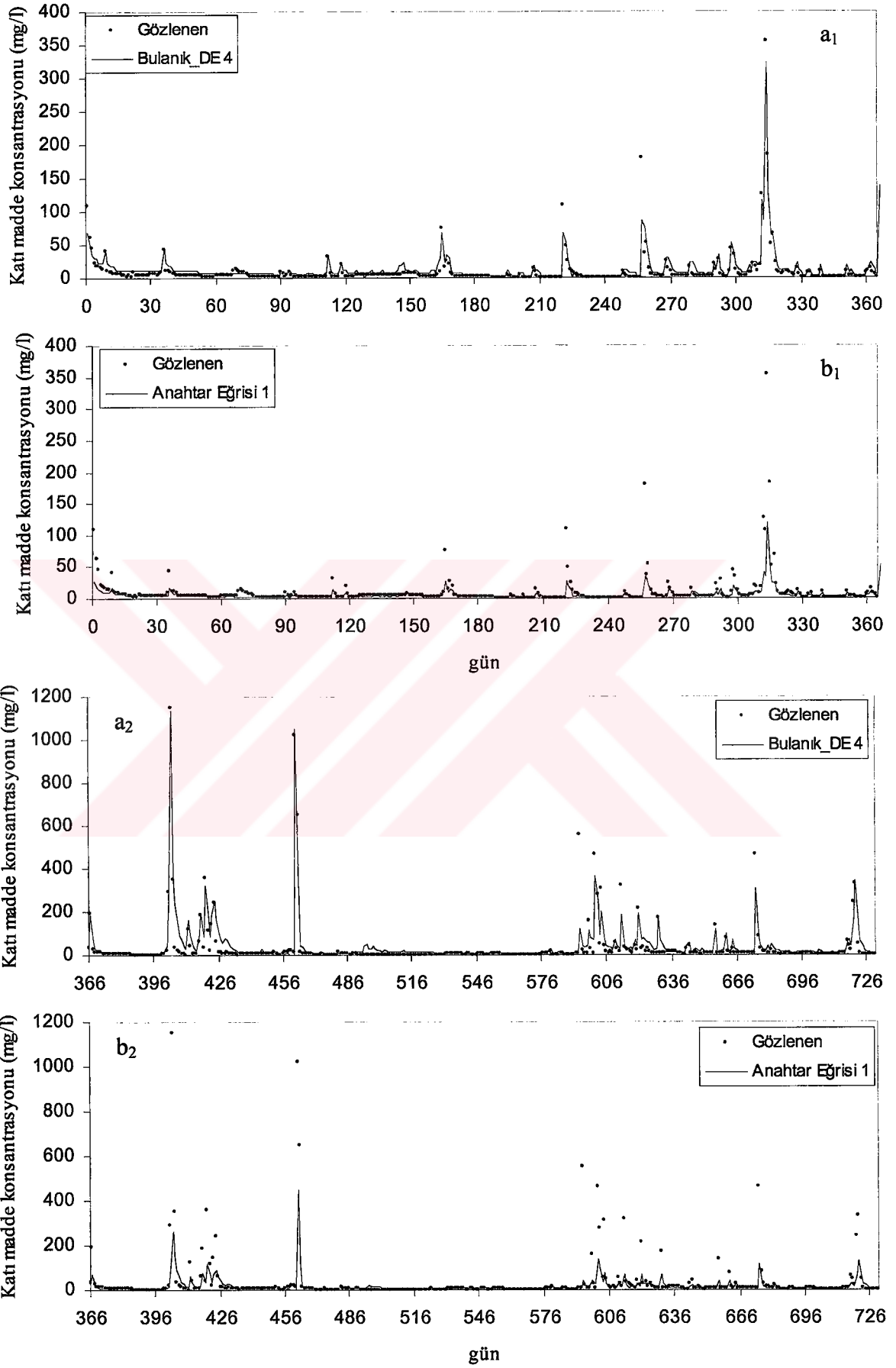
$$Rölatif\ hata(\%) = \frac{Y_{tahmin} - Y_{gözlenen}}{Y_{gözlenen}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE 4 modeli toplam katı madde miktarını anahtar eğrisine göre çok daha iyi tahmin etmiştir. Anahtar eğrisinin tahmini gözlenen değerden çok uzak kalmıştır.

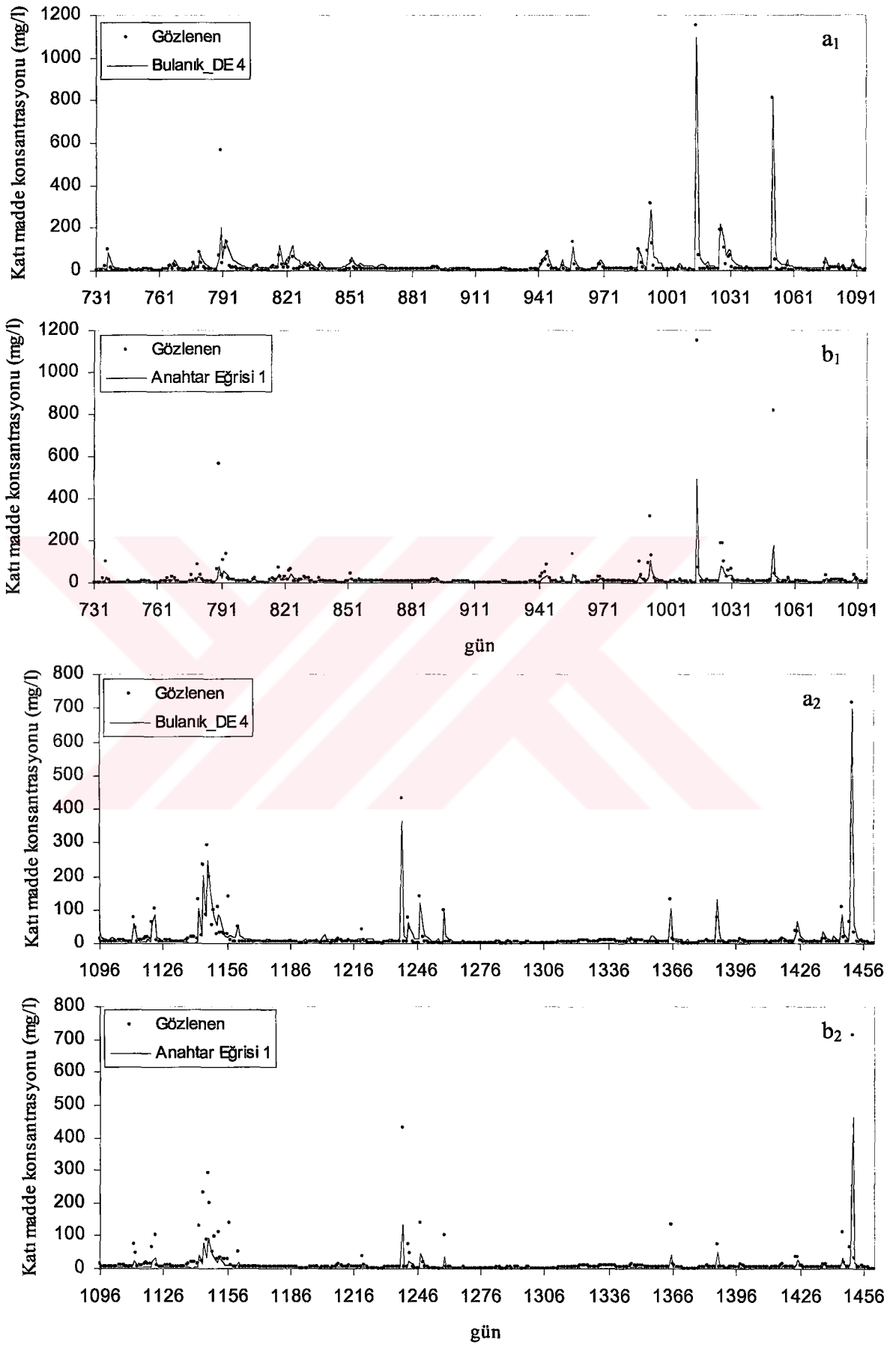
Tablo 3.5 Bulanık_DE 4 ve 1. anahtar eğrisi ile elde edilen ve gözlenen toplam katı madde miktarları

	Toplam katı madde miktarı (ton)		Rölatif hata (%)	
	Eğitme aşaması	Test aşaması	Eğitme aşaması	Test aşaması
Gözlenen	110341	20061	-	-
Bulanık_DE 4	109858	24482	-0.4	22
Anahtar eğrisi 1	45001	7385	-59	-63

Eğitme aşaması için bulanık model ve anahtar eğrisi tahminleri ile gözlenmiş günlük gerçek zaman askı malzemesi konsantrasyonu değerleri Şekil 3.4 ve 3.5'te gösterilmiştir. Şekil 3.5, Şekil 3.4'ün devamını göstermektedir. Şekil 3.4'te a_1 ve a_2 bulanık_DE 4 modeli için, b_1 ve b_2 ise 1. anahtar eğrisi için sırasıyla 1990 ve 1992 su yılı eğitme aşamalarını göstermektedir. Yine Şekil 3.5'te de a_1 , a_2 , b_1 ve b_2 her iki yöntem için sırasıyla 1993 ve 1994 su yılı eğitme aşamalarını göstermektedir. Her iki şekil de incelendiğinde bulanık modelin eğitme aşamasında gözlenen değerlere özellikle piklerde oldukça yaklaştığı, anahtar eğrisinin ise pikleri tahminlerde yetersiz kaldığı görülmektedir.

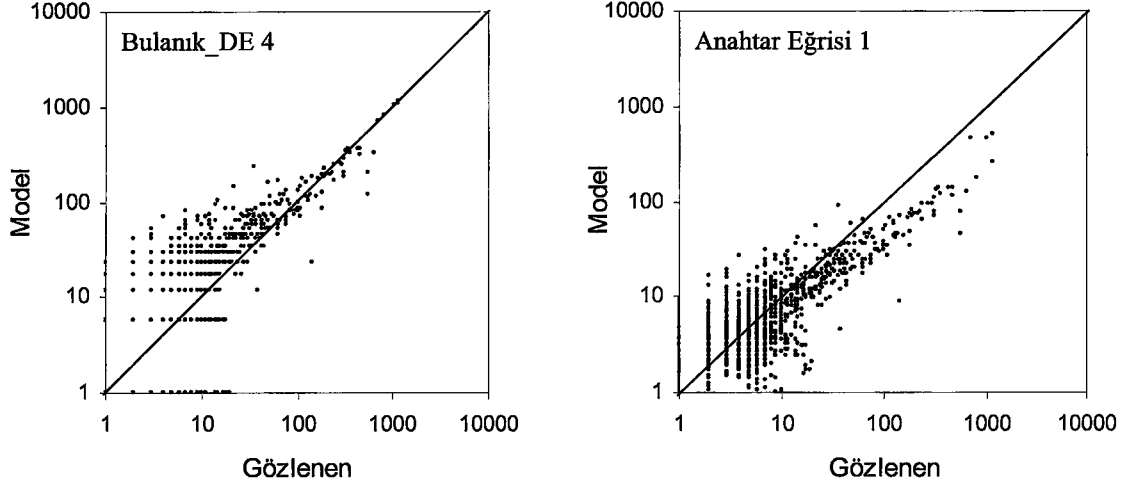


Şekil 3.4 Gözlenen ve hesaplanan kıyma madde konsantrasyonu değerleri-Eğitme aşaması

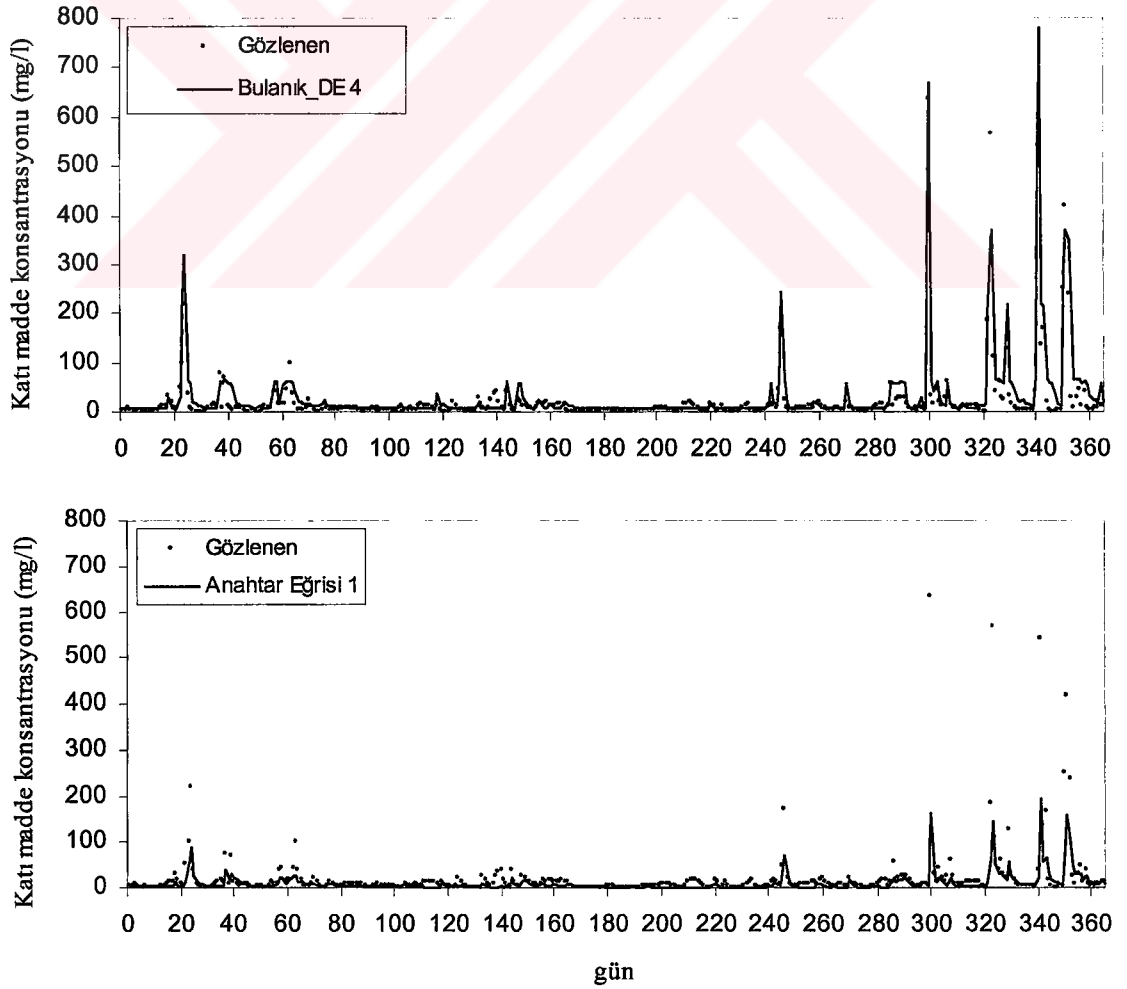


Şekil 3.5 Gözlenen ve hesaplanan kati madde konsantrasyonu değerleri-Eğitme aşaması (Şekil 3.4'ün devamı)

Her iki modelin de eğitme aşamasındaki tahminleri, saçılma diyagramı olarak Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Veriler içerisinde küçük değerlerle büyük değerler arasında çok büyük farklar olduğundan diyagramlar çifte logaritmik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu (mg/l) değerlerini gösteren saçılma diyagramları - Eğitim aşaması

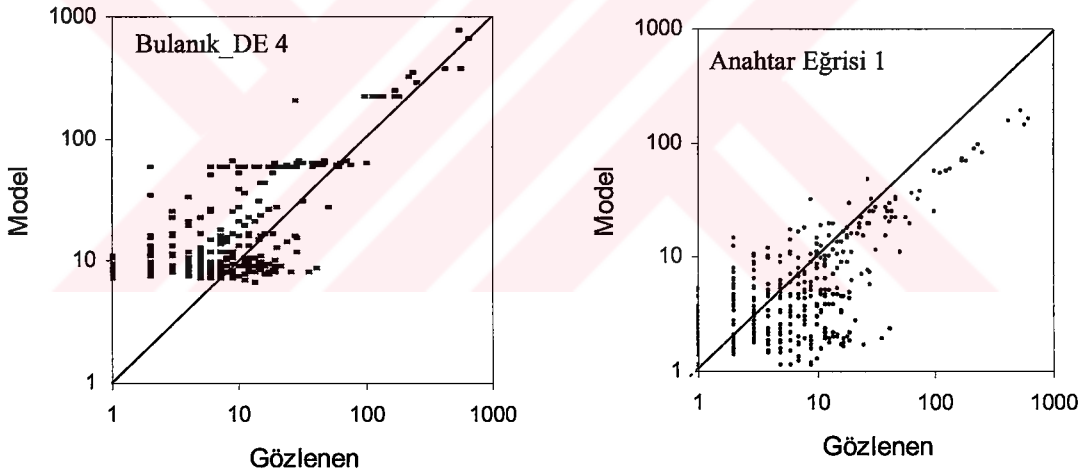


Şekil 3.7 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerleri-Test aşaması

Şekilden, küçük değerlerde (< 100 mg/l) bulanık modelin performansının pek iyi olmadığı, büyük değerlerde ise (>100 mg/l) bulanık model tahminlerinin gözlenen değerlere oldukça yaklaştığı görülmektedir. 1. anahtar eğrisinin büyük değerleri iyi tahmin edemediği açıktır.

Şekil 3.7’de test aşamasındaki bulanık model ve anahtar eğrisi tahminleri ile gözlenmiş günlük gerçek zaman askı malzemesi konsantrasyonu değerleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde bulanık modelin katı madde anahtar eğrisine göre çok daha başarılı olduğu, anahtar eğrisinin büyük değerleri tahminde yetersiz kaldığı görülmektedir. Grafikler Tablo 3.4’teki bilgileri desteklemektedir.

Bulanık_DE 4 ve anahtar eğrisi 1 modellerinin test aşamasındaki tahminleri, saçılma diyagramı olarak Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bulanık modelin küçük değerleri tahminleri pek de iyi değildir. Ama büyük değerlerde bulanık model anahtar eğrisine göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 3.8 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu (mg/l) değerlerini gösteren saçılma diyagramları - Test aşaması

3.3 Bulanık Mantığın Rio Valenciano İstasyonu Verilerine Uygulanması

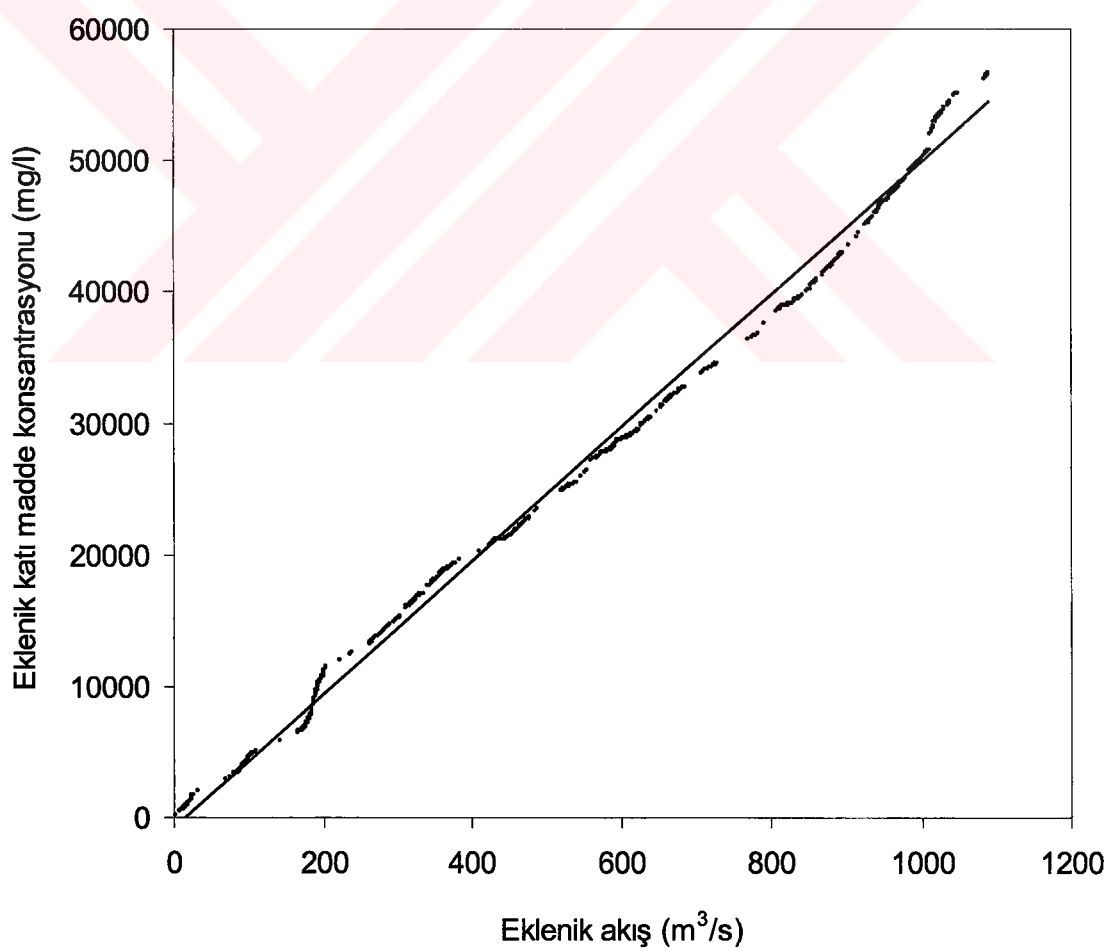
Bu istasyonunu eklenik akış ve katı madde konsantrasyonu saçılma diyagramı Şekil 3.9’da verilmiştir. Rio Valenciano’nun akış ve katı madde verileri arasında ilk istasyona göre daha az tektürlülük olduğu açıkça görülmektedir.

Bu istasyon için 1 Ekim 1991’den 30 Eylül 1994’e kadar (yani 1992, 1993 ve 1994 su yılı) olan veriler modellerin eğitilmesi için seçilmiş, 1 Ekim 1994’ten 30 Eylül 1995’e kadar (1995 su yılı) olan veriler ise modelleri test etmek için kullanılmıştır.

Tablo 3.6’da Rio Valenciano İstasyonu’na ait akış ve katı madde konsantrasyonu verilerinin istatistik parametreleri verilmiştir. Tablodan akış ve katı madde verilerinin S_x ve C_{sx} katsayılarının büyük olduğu görülmektedir. Bu istasyon için de akış-katı madde olayı çok değişken bir yapıya sahiptir.

Tablo 3.6 Rio Valenciano İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri

Değişkenler	Eğitme aşaması						
	Ortalama	S_x	C_{sx}	C_v	r_1	minimum	maksimum
Akış (m^3/s)	1	3.05	9.02	3.06	0.27	0.04	40.49
Katı madde konsantrasyonu (mg/l)	51.6	124	7.28	2.40	0.25	2.00	1780
	Test aşaması						
	Ortalama	S_x	C_{sx}	C_v	r_1	minimum	maksimum
Akış (m^3/s)	1.04	2.46	5.75	2.36	0.42	0.05	24.64
Katı madde konsantrasyonu (mg/l)	71.30	147.2	4.32	2.07	0.55	4.00	1090



Şekil 3.9 Çift kütleler sınaması – Rio Valenciano İstasyonu

Eğitme sonucu elde edilen bulanık_DE modellerinin ve anahtar eğrilerinin hem eğitme hem de test aşamasındaki OKTKH değerleri Tablo 3.7’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi gerek eğitme gerekse test aşamasında bulanık_DE modelleri katı madde anahtar eğrilerinkilere göre çok daha düşük OKTKH değerleri vermiştir. İki yönteminde eğitme aşamasında en iyileri olan Bulanık_DE 5 modeli ile, 1. anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH fark eğitme aşamasında % 29, test aşamasında ise % 41’dir. Şekil 3.10’da bulanık_DE 5 modelinin eğitmeden sonraki üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.

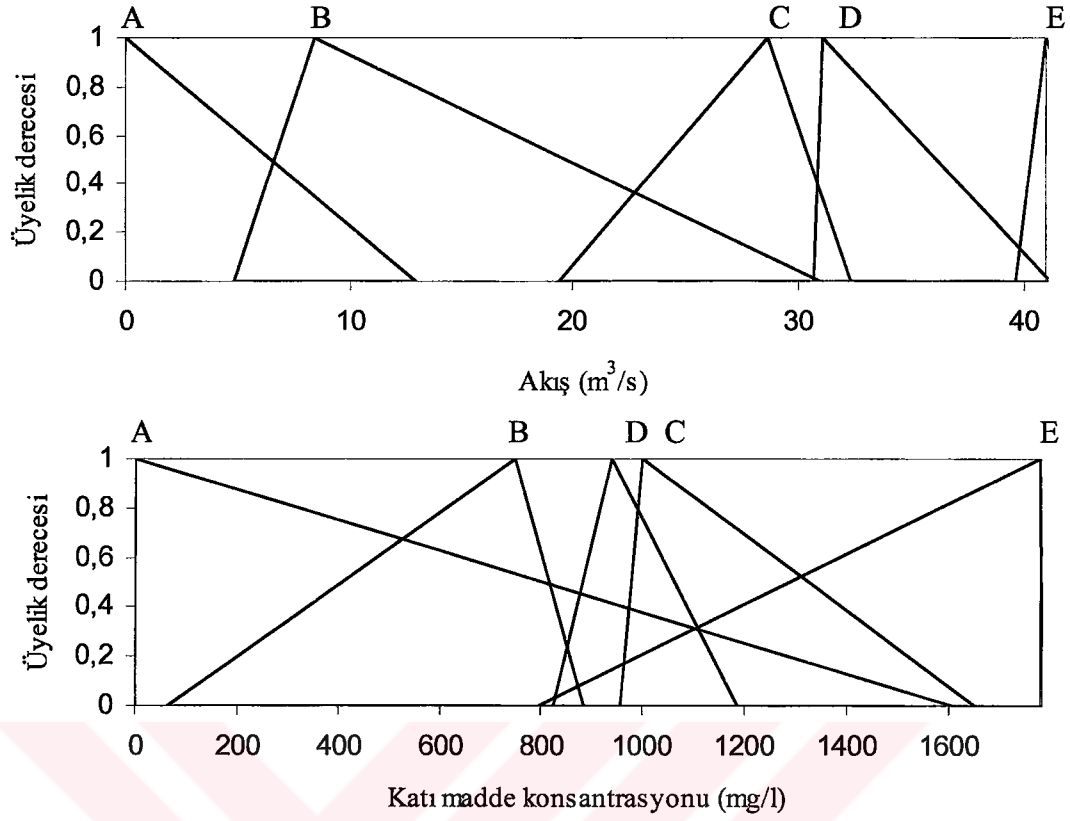
Tablo 3.7 Bulanık_DE modelleri ve katı madde anahtar eğrilerinin OKTKH değerleri - eğitme ve test aşaması (Rio Valenciano İstasyonu)

Modeller	OKTKH (mg/l)	
	Eğitme aşaması	Test aşaması
Bulanık_DE 4	1.572	3.447
Bulanık_DE 5	1.555	3.008
Bulanık_DE 6	1.616	3.484
Bulanık_DE 7	1.628	3.104
Bulanık_DE 8	1.556	3.327
Bulanık_DE 9	1.598	3.542
Bulanık_DE 10	1.826	3.323
Bulanık_DE 11	1.625	3.900
Bulanık_DE 12	1.581	3.365
Anahtar eğrisi 1	2.192	5.107
Anahtar eğrisi 2	3.134	3.890

Tablo 3.8’de Bulanık_DE 5 modeli ile 1. anahtar eğrisinin test aşamasında katı madde konsantrasyonu değer tahminleri karşılaştırılmıştır. Bulanık modelin gerek küçük gerekse pik değerleri anahtar eğrisine göre çok daha iyi tahmin ettiği görülmektedir.

Tablo 3.8 Bulanık_DE 5 ve anahtar eğrisinin pik değerleri tahminleri-test aşaması

Gözlenen katı madde konsantrasyonu değerleri (mg/l)	Bulanık_DE 5 tahmin	Anahtar eğrisi 1 tahmin	Rölatif hata (%)	
			Bulanık_DE 5	Anahtar eğrisi 1
8	18	17	123	-3
9	9	15	-1	64
10	18	21	78	18
12	18	19	48	4
19	18	19	-6	4
23	18	17	-23	-3
34	18	22	-48	25
40	169	99	323	-42
55	36	30	-35	-16
64	45	34	-30	-23
77	45	38	-42	-14
81	53	39	-34	-26
92	53	40	-42	-24
107	107	70	0	-34
117	71	53	-39	-25
127	71	49	-44	-31
137	89	62	-35	-30
145	80	54	-45	-33
152	125	77	-18	-38
162	89	61	-45	-31
176	36	32	-80	-10
191	169	98	-11	-42
200	134	83	-33	-38
214	160	95	-25	-40
221	187	106	-15	-43
238	151	90	-36	-40
243	151	90	-38	-40
268	721	282	169	-61
276	116	75	-58	-36
285	223	122	-22	-45
309	196	110	-37	-44
323	223	123	-31	-45
338	338	168	0	-50
364	240	129	-34	-46
390	320	163	-18	-49
409	356	176	-13	-57
435	747	243	72	-44
521	364	181	-30	-65
522	649	209	24	-60
690	712	298	3	-57
712	721	286	1	-61
755	712	303	-6	-60
831	614	471	-26	-43
936	721	286	-23	-69
971	614	197	-37	-80
1020	641	415	-37	-59
1090	1139	559	5	-49



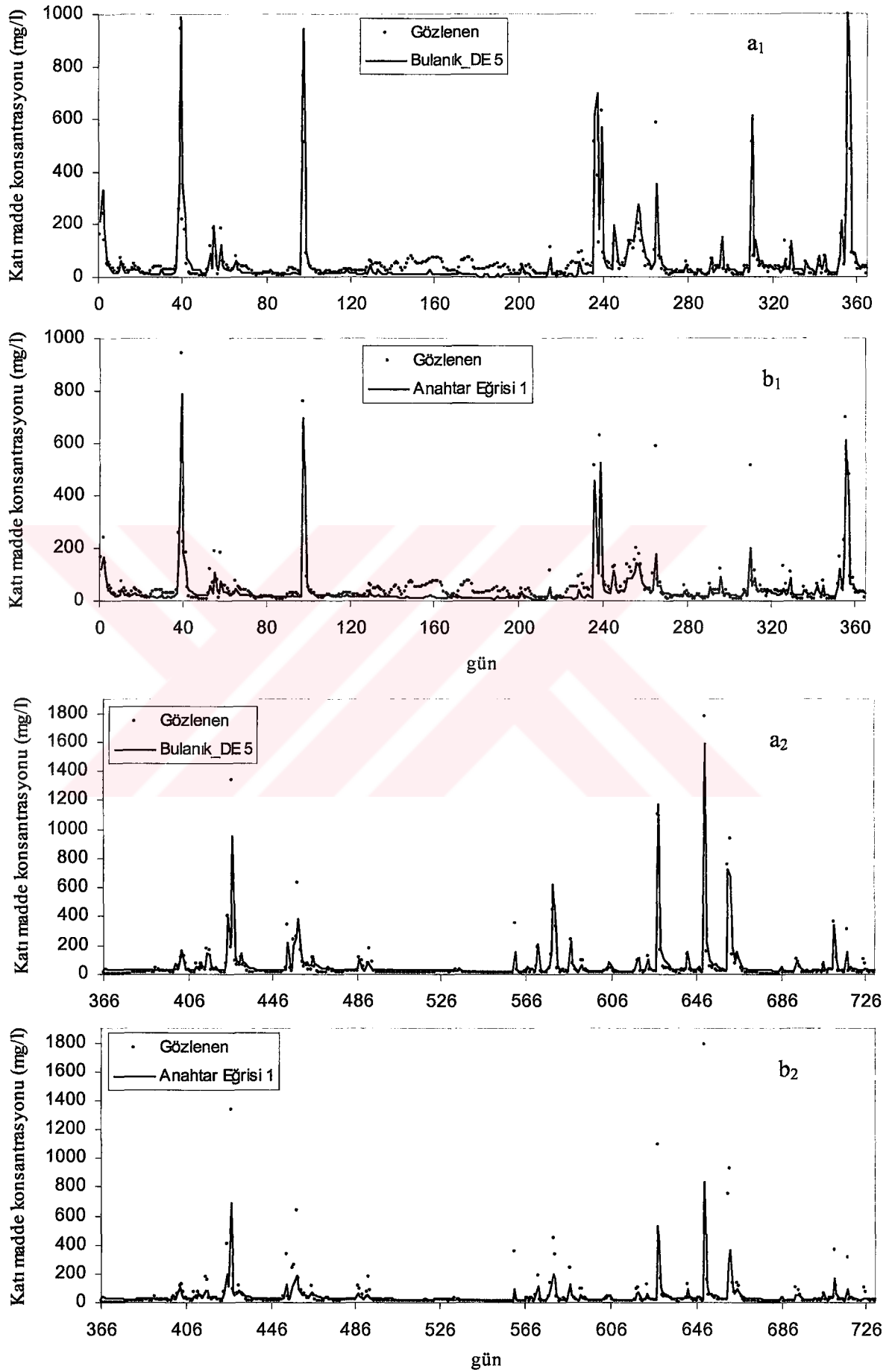
Şekil 3.10 Eğitimden sonraki akış ve katı maddenin üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 5)

Tablo 3.9’da gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu değerlerinin istatistik parametreleri verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi bulanık_DE 5 modeli ile elde edilen katı madde değerlerinin istatistik parametrelerinin gözlenen değerlerin parametrelerine oldukça yakındır. Ortalama olarak da bulanık modelin anahtar eğrisine göre çok daha iyi olduğu görülmektedir.

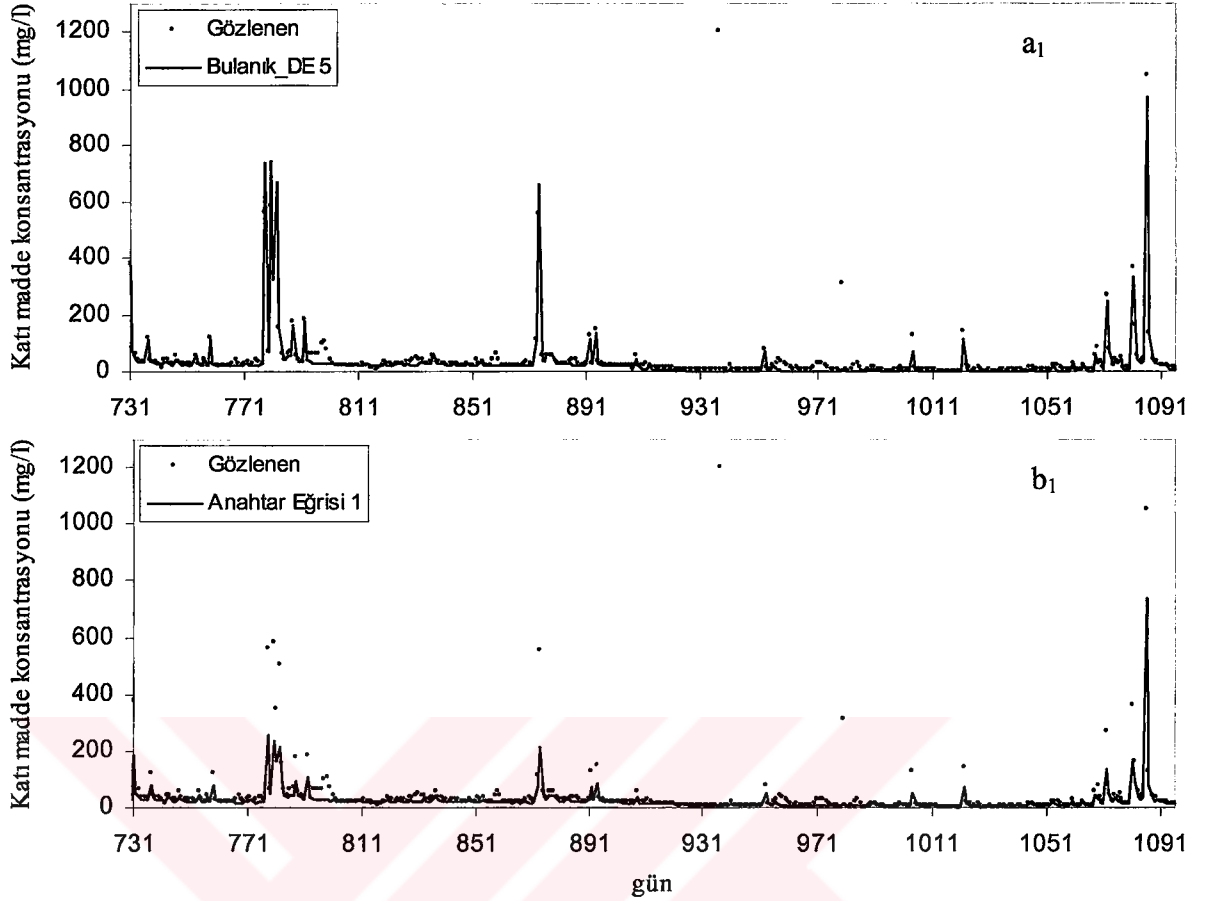
Tablo 3.9 Bulanık_DE 5 ve 1. anahtar eğrisi ile elde edilen ve gözlenen katı madde konsantrasyonu değerlerinin istatistik parametreleri

Katı madde konsantrasyonu (mg/l)	Eğitme aşaması				Test aşaması			
	Ortalama	Sx	Csx	Cv	Ortalama	Sx	Csx	Cv
Gözlenen	51.61	124	7.28	2.40	71.30	147	4.32	2.07
Bulanık_DE 5	49.67	120	6.62	2.42	58.59	136	4.52	2.33
Anahtar eğrisi 1	36.65	68.3	7.57	1.87	38.31	62.1	4.71	1.62

Şekil 3.11 ve 3.12’de eğitim aşaması için gözlenen ve tahmin edilen günlük gerçek zaman askı malzemesi konsantrasyonu değerleri verilmiştir. Şekil 3.12, Şekil 3.11’in devamını göstermektedir. Şekil 3.11’de a_1 ve a_2 bulanık_DE 5 modeli için, b_1 ve b_2



Şekil 3.11 Gözlenen ve tahmin edilen kıyma madde konsantrasyonu (mg/l) değerleri - Eğitme aşaması



Şekil 3.12 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu (mg/l) değerleri-
Eğitime aşaması (Şekil 3.11'in devamı)

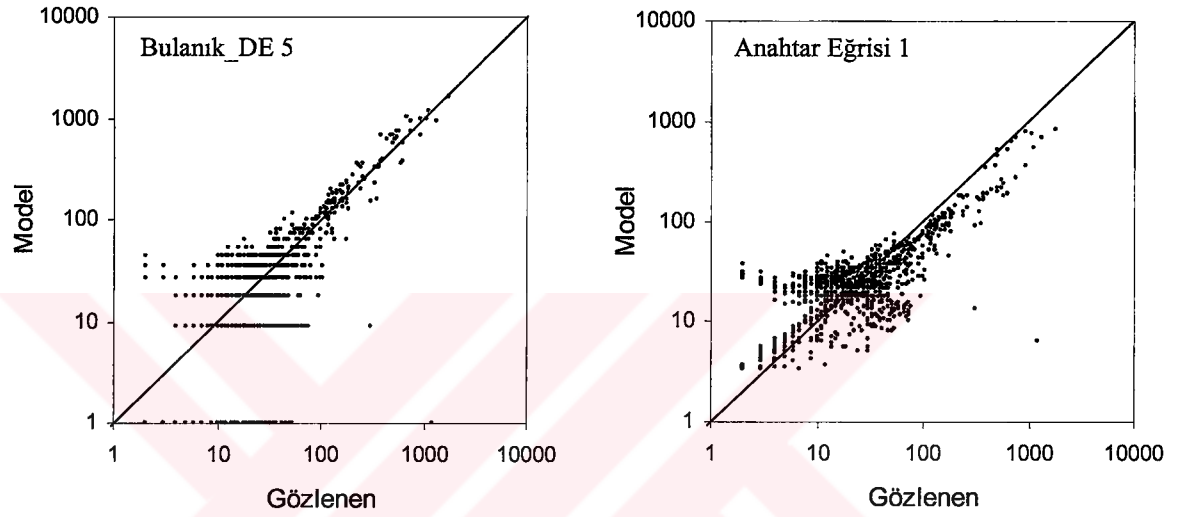
ise 1. anahtar eğrisi için sırasıyla 1992 ve 1993 su yılı eğitime aşamalarını göstermektedir. Şekil 3.12'de a_1 ve b_1 her iki yöntem için 1994 su yılı eğitime aşamalarını göstermektedir. Şekiller incelendiğinde bulanık modelin eğitime aşamasında gözlenen değerlere anahtar eğrisine göre daha çok yaklaştığı görülmektedir.

Bulanık_DE 5 modeli ile 1. anahtar eğrisinin toplam katı madde miktarını tahminleri Tablo 3.10'da verilmiştir. Tablodan bulanık_DE 5 modelinin toplam katı madde miktarını anahtar eğrisine göre çok daha iyi tahmin ettiği görülmektedir. Anahtar eğrisi gözlenen değerden çok daha düşük tahmin vermiştir.

Şekil 3.13'te Her iki modelin de eğitime aşamasındaki tahminleri saçılma diyagramı olarak gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bulanık_DE 5 modelinin tahminleri genel itibarıyla anahtar eğrisine göre $y=x$ doğrusuna daha yakındır.

Tablo 3.10 Gözlenen ve tahmin edilen toplam katı madde miktarları

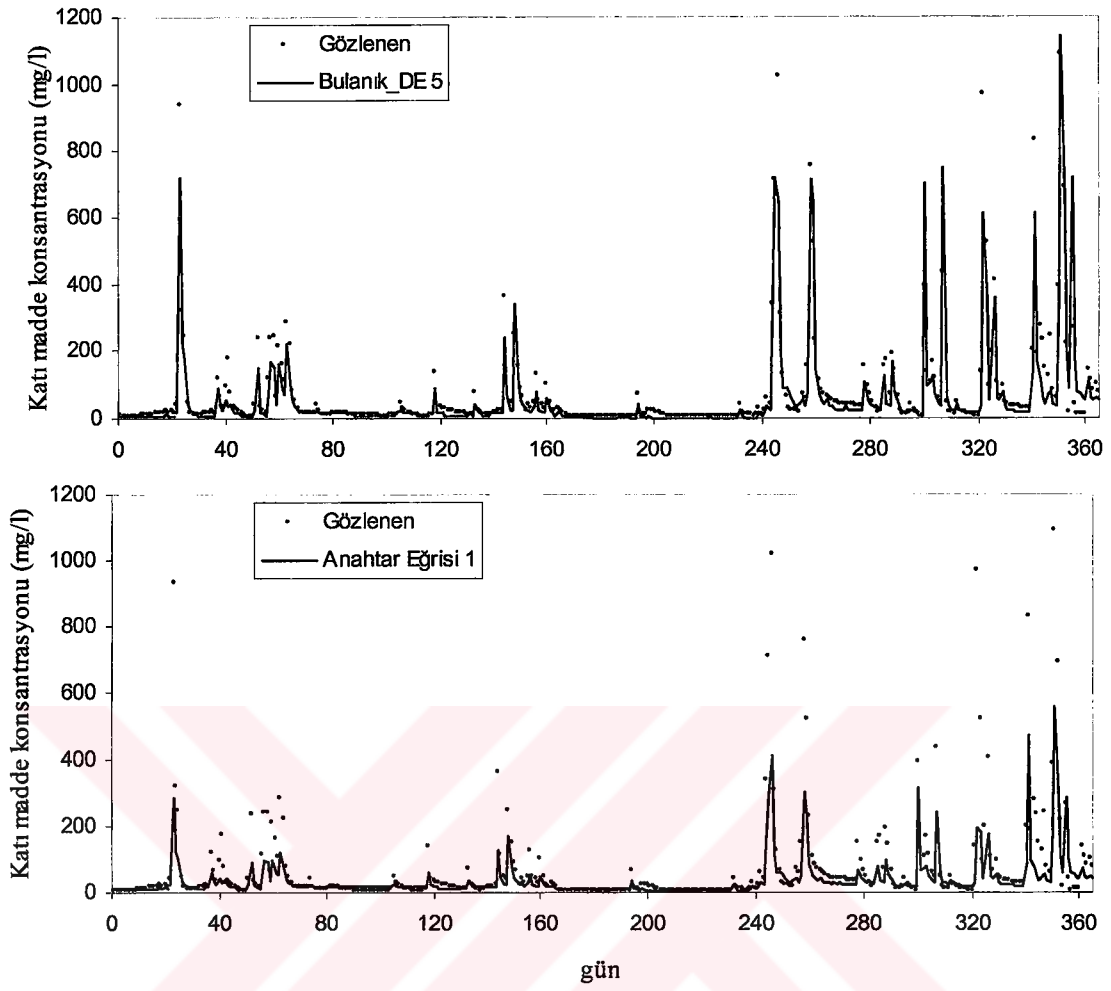
	Toplam katı madde miktarı (ton)		Rölatif hata (%)	
	Eğitme aşaması	Test aşaması	Eğitme aşaması	Test aşaması
Gözlenen	36057	12783	-	-
Bulanık_DE 5	36797	11978	2	-6
Anahtar eğrisi 1	22976	6032	-36	-53



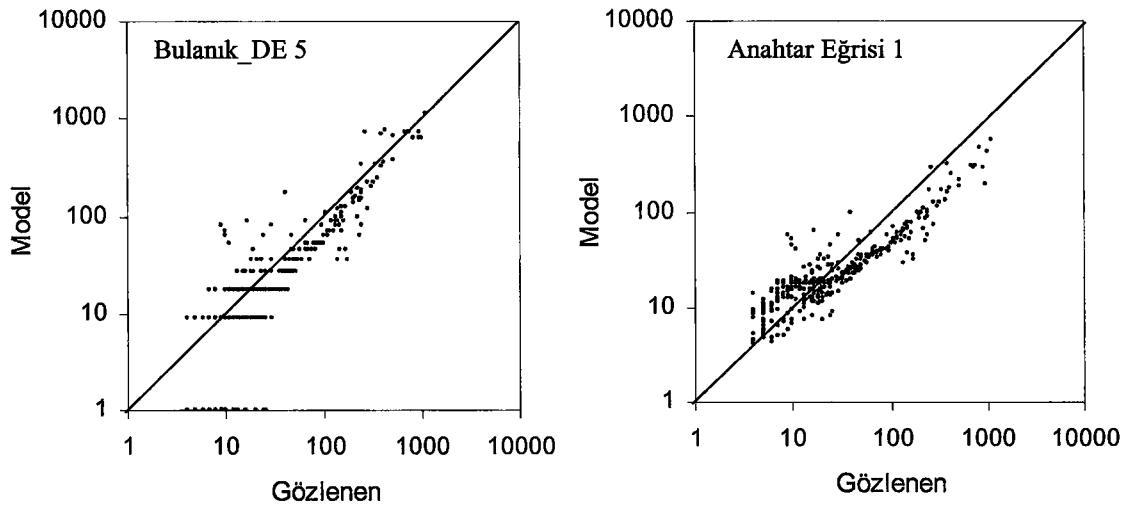
Şekil 3.13 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde konsantrasyonu (mg/l) değerlerini gösteren saçılma diyagramları - Eğitim aşaması

Şekil 3.14'te test aşamasında gözlenen ve tahmin edilen günlük gerçek zaman askı malzemesi konsantrasyonu değerleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde bulanık modelin katı madde anahtar eğrisine göre çok daha başarılı olduğu, anahtar eğrisinin özellikle büyük değerleri tahminde yetersiz kaldığı görülmektedir. Grafikler Tablo 3.8'deki bilgileri desteklemektedir.

Bulanık_DE 5 ve 1. anahtar eğrisinin test aşamasındaki tahminleri, saçılma diyagramı olarak Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Şekilden bulanık modelin katı madde konsantrasyonu değerlerini tahminde anahtar eğrisine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14 Gözlenen ve tahmin edilen kıyıda madde konsantrasyonu değerleri-Test aşaması



Şekil 3.15 Gözlenen ve tahmin edilen kıyıda madde konsantrasyonu (mg/l) değerlerini gösteren saçılma diyagramları - Test aşaması

4. BULANIK MANTIĞIN TÜRKİYE SEDİMENT VERİLERİNE UYGULANMASI

4.1 Giriş

Çalışmanın bu bölümünde ise bulanık mantık, Türkiye Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) tarafından işletilen, farklı havzalarda bulunan üç istasyonun aylık sediment verilerine uygulanmıştır. Aylık askı maddesi ve debi değerleri her ayın belli bir günü ölçülmüş olup aylık ortalama değerleri temsil etmemektedir. İlk istasyon, net drenaj alanı 319 km² olan Sakarya Havzası'nda bulunan Ova Çayı-Eybek (EİE İstasyon No: 1239) istasyonudur. Sediment gözlem süresi 25.10.1967 ile 19.12.1990 arasındır. İkinci istasyon, net drenaj alanı 27251 km² olan Meriç Havzası'nda bulunan Meriç Nehri-Meriç Köprüsü (EİE İstasyon No: 103) istasyonudur. Sediment gözlem süresi 03.04.1971 ile 12.12.1990 arasındır. Üçüncü istasyon, net drenaj alanı 1677 km² olan Kızılırmak Havzası'nda bulunan Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı (EİE İstasyon No: 1539) istasyonudur. Sediment gözlem süresi 21.01.1973 ile 24.12.1990 arasındır. Veriler EİE tarafından yayınlanan “Türkiye Akarsularında Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları” raporundan alınmıştır.

EİE, her ayın belli bir günü ölçülmüş katı madde konsantrasyonu (mg/l) değerlerini yine aynı gün ölçülmüş debi (m³/s) değerleriyle çarparak katı madde debisi (ton/gün) değerlerine geçmektedir. EİE, daha sonra debi ve katı madde debisi değerlerini kullanarak herbir istasyon için anahtar eğrileri belirlemektedir. Anahtar eğrileri elde edilirken tüm verileri kullanılmıştır. Bundan dolayı, EİE'nin “Türkiye akarsularında sediment gözlemleri ve sediment taşınım miktarları” raporunda vermiş olduğu anahtar eğrileriyle birebir karşılaştırma yapabilmek için, bulanık modeller akış ve katı madde verilerinin tümüyle eğitilmiştir. Yani bu bölümde test aşaması yoktur.

Herbir istasyon için, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları 4'ten 10'a kadar artırılarak 7 ayrı bulanık-diferansiyel evölüsyon karışımı (bulanık_DE) model kurulmuştur ve

EİE'nin bu istasyonlar için belirlemiş olduğu katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Bir önceki bölümde 4 ve 5 üyelik fonksiyonlu bulanık modeller en iyi sonucu vermişti. Bu yüzden bu bölümde çıktı üyelik fonksiyonları sayısı 12'ye kadar arttırılmamıştır.

4.2 Bulanık Mantığın Ova Çayı-Eybek İstasyonu Verilerine Uygulanması

Bir önceki bölümde olduğu gibi bulanık model kurulurken ilk önce akım ve sediment değişkenlerine eşit aralıklı üçgen üyelik fonksiyonları atanmıştır. Yine herbir model için,

- Eğer akım az ise sediment de azdır
- Eğer akım çok ise sediment de çoktur

şeklinde bire bir (yani üyelik fonksiyonları sayısı kadar) kural konmuştur. Daha sonra veriler kullanılarak bulanık modellerin üyelik fonksiyonlarının aralıkları diferansiyel evolüsyon algoritması ile ayarlanmıştır.

Ova Çayı-Eybek İstasyonu'nun akış ve katı madde verilerinin istatistik parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablodan akış ve katı madde verilerinin standart sapmaları ve çarpıklıklarının oldukça büyük olduğu görülmektedir. Her ayın herhangi bir günü ölçülmüş değerler olduğundan değişim katsayısının çok büyük çıkması normaldir. Tablodaki parametreler akış-katı madde olayının modellenmesinin zorluğunu göstermektedir.

Tablo 4.1 Ova Çayı-Eybek İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri

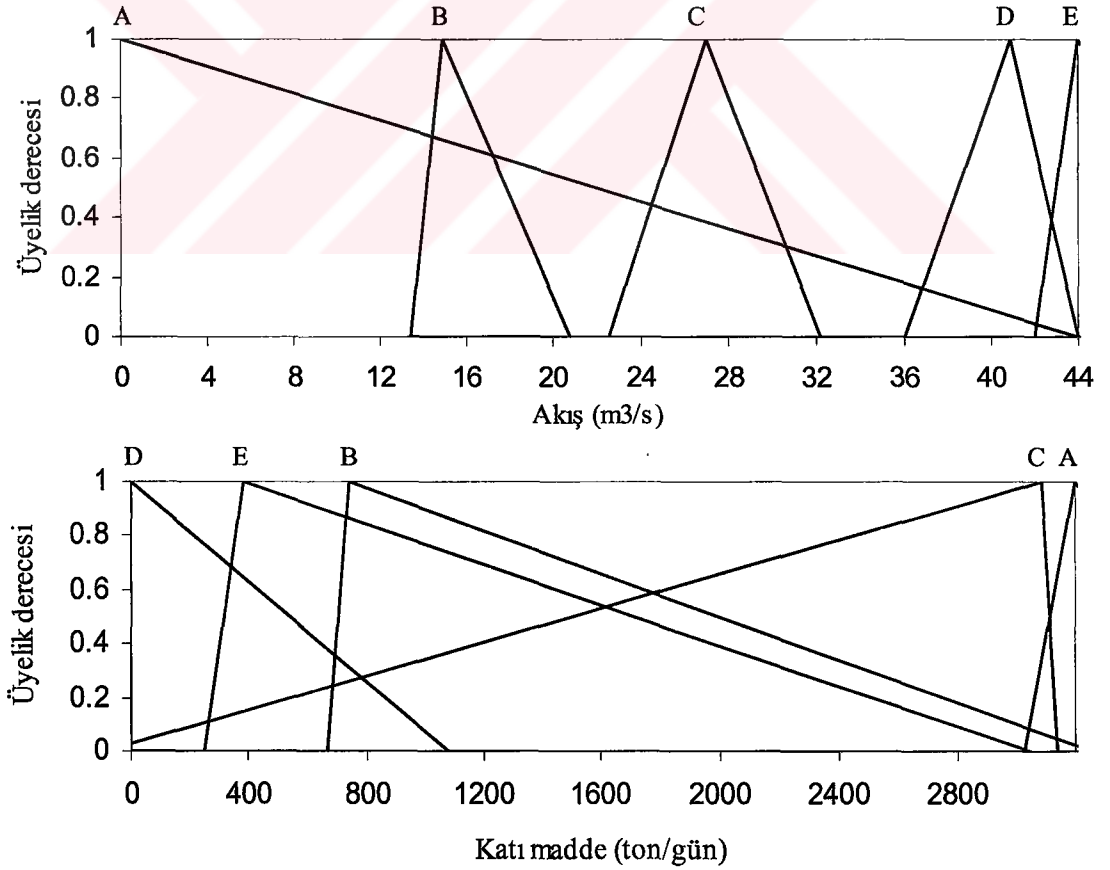
Değişkenler	Ortalama	Sx	Csx	Cv	r_1	minimum	maksimum
Akış (m ³ /s)	2.88	5.15	4.19	1.79	0.30	0.04	43.95
Katı madde (ton/gün)	72.3	311	7.42	4.31	0.04	0.10	3196

Bulanık_DE modelleri Tablo 4.2'de EİE tarafından belirlenen katı madde anahtar eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak da yine OKTKH esas alınmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE modellerinin OKTKH değerleri katı madde anahtar eğrisininkine göre çok daha düşüktür. Bulanık modellerden en iyisi olan Bulanık_DE 5 modeli ile, anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH farkı % 74'tür. Başka bir ifade ile, anahtar eğrisinin hatası bulanık_DE modelininkinin nerde ise 4 katı kadardır. Bulanık_DE 5 modelinin eğitildikten sonraki üyelik fonksiyonları

Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bunun eşit aralıklı modelden çok farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2 Bulanık_DE modelleri ve katı madde anahtar eğrisinin OKTKH değerleri
- Ovaçayı-Eybek İstasyonu

Modeller	OKTKH (ton/gün)
Bulanık_DE 4	6.171
Bulanık_DE 5	5.989
Bulanık_DE 6	7.928
Bulanık_DE 7	8.299
Bulanık_DE 8	9.937
Bulanık_DE 9	9.588
Bulanık_DE 10	8.933
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	22.84



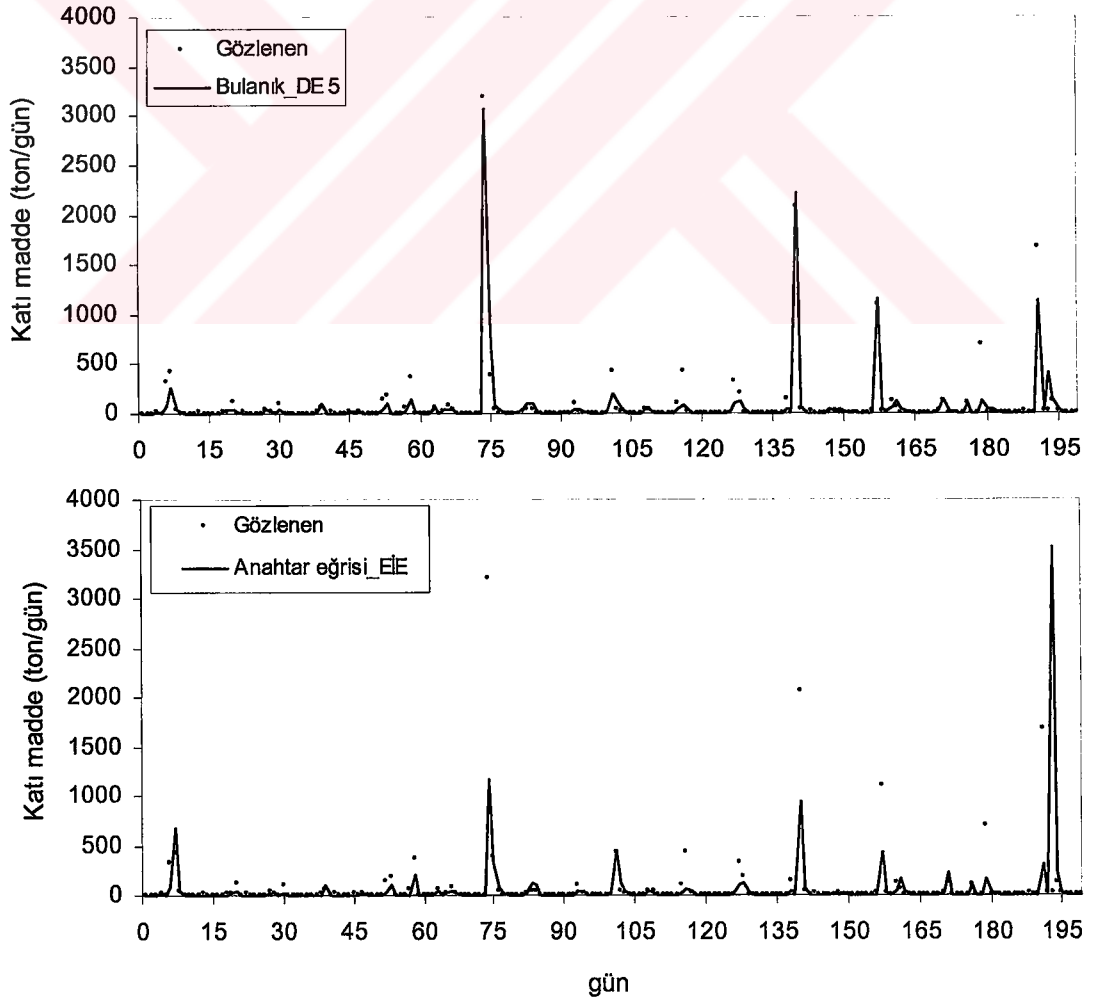
Şekil 4.1 Eğitimden sonraki akış ve katı maddenin üyelik fonksiyonları
(Bulanık_DE 5)

Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE 5 modeli ile elde edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri gözlenen değerlerin parametrelerine anahtar eğrisiyle elde edilen değerlerinkilerden çok daha yakın. Ortalamada da bulanık modelin daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri

Katı madde (ton/gün)	Ortalama	Sx	Csx	Cv
Gözlenen	72.31	311	7.42	4.31
Bulanık_DE 5	64.32	295	7.91	4.60
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	56.48	277	10.34	4.91

Gözlenen ve bulanık_DE 5 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Grafiklerdeki gün değerleri her ayın belli bir



Şekil 4.2 Gözlenen ve bulanık_DE 5 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerleri

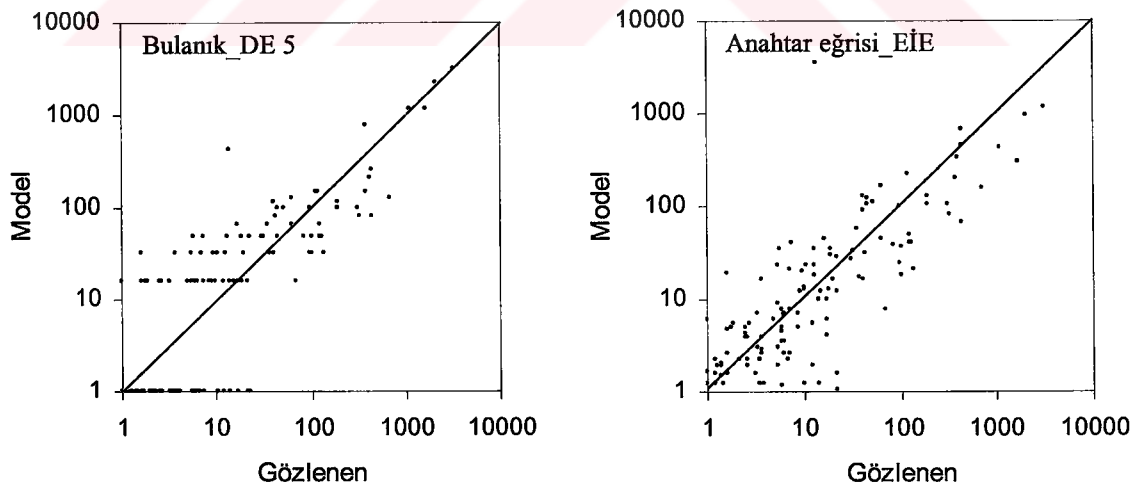
günü ölçülmüş değerlerdir. Yani herbir gün değeri bulunduğu ayı temsil etmektedir. Şekilden bulanık modelin gözlenen değerlere özellikle piklerde oldukça yaklaştığı, anahtar eğrisinin ise pikleri tahminlerde yetersiz kaldığı görülmektedir.

Tablo 4.4'te bulanık_DE 5 modeli ile EİE'nin anahtar eğrisi toplam katı madde miktarını tahminde karşılaştırılmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE 5 modeli toplam katı madde miktarını anahtar eğrisine göre çok daha iyi tahmin etmiştir.

Tablo 4.4 Gözlenen ve tahmin edilen toplam katı madde miktarları

	Toplam katı madde miktarı (ton)	Rölatif hata (%)
Gözlenen	431702	-
Bulanık_DE 5	384015	-11
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	337156	-22

Bulanık_DE 5 ve anahtar eğrisi_EİE modellerinin tahminleri, saçılma diyagramı olarak Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bulanık model küçük değerlerde pek de iyi olmayıp büyük değerlerde anahtar eğrisine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 4.3 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde (ton/gün) değerlerini gösteren saçılma diyagramları

4.3 Bulanık Mantığın Meriç Nehri-Meriç Köprüsü İstasyonu Verilerine Uygulanması

Tablo 4.5'te Meriç Nehri-Meriç Köprüsü İstasyonu'nun akış ve katı madde verilerinin istatistik parametreleri verilmiştir. Bu istasyonun da akış ve katı madde verilerinin standart sapmaları ve çarpıklıkları oldukça büyüktür.

Tablo 4.5 Meriç Nehri-Meriç Köprüsü İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri

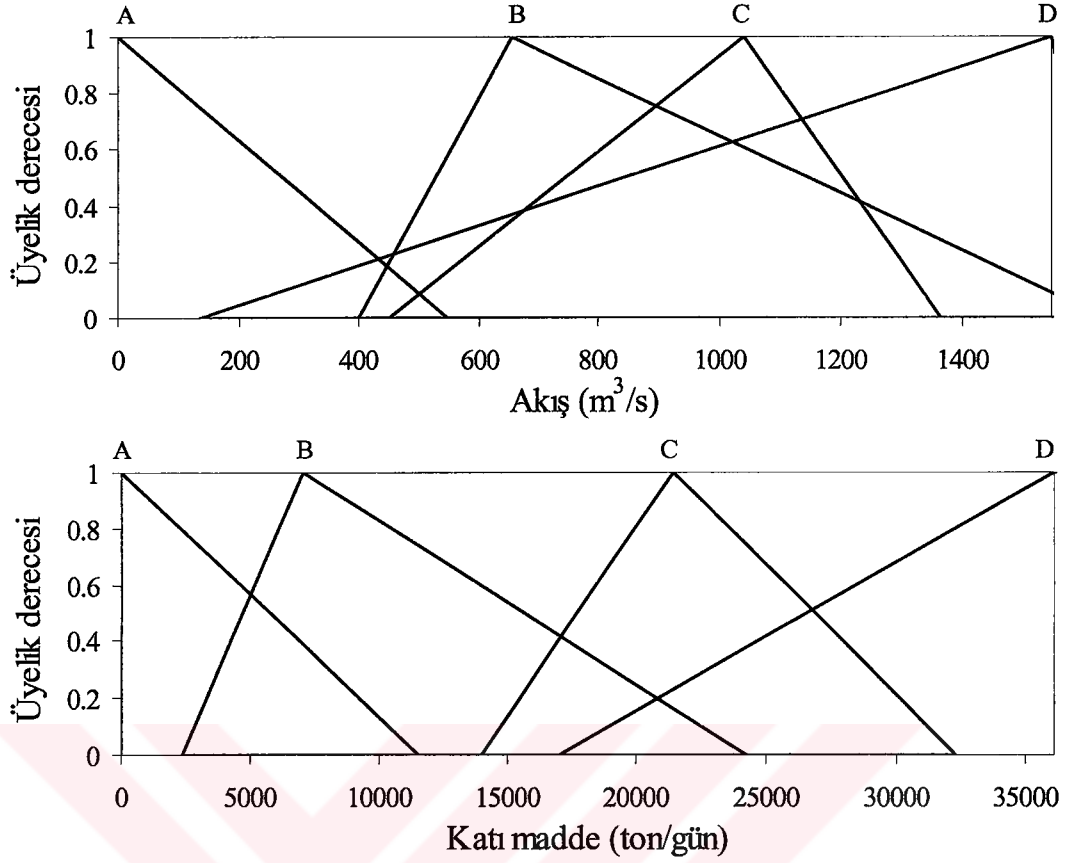
Değişkenler	Ortalama	Sx	Csx	Cv	r_1	minimum	maksimum
Akış (m ³ /s)	180	180	3.82	1.00	0.37	5.06	1547
Katı madde (ton/gün)	2220	4861	4.54	2.19	0.23	4.37	36102

Elde edilen bulanık_DE modellerinin ve EİE tarafından belirlenen katı madde anahtar eğrisinin OKTKH değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE modelleri katı madde anahtar eğrisine göre daha düşük OKTKH değerleri vermiştir. Bulanık modellerden en iyisi olan Bulanık_DE 4 modeli ile anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH fark % 33'tür. Bulanık_DE 4 modelinin eğitmeden sonraki üyelik fonksiyonları Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Bulanık mantık ve EİE'nin anahtar eğrisinin OKTKH değerleri - Meriç Nehri-Meriç Köprüsü İstasyonu)

Modeller	OKTKH (ton/gün)
Bulanık_DE 4	144.7
Bulanık_DE 5	152.8
Bulanık_DE 6	153.5
Bulanık_DE 7	157.1
Bulanık_DE 8	159.8
Bulanık_DE 9	154.3
Bulanık_DE 10	159.3
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	216.4

Tablo 4.7'de gözlenen ve her iki yöntemle hesaplanan katı madde değerlerinin istatistik parametreleri verilmiştir. Tablodan bulanık_DE 4 modeli ile elde edilen katı madde değerlerinin istatistik parametrelerinin gözlenen değerlerin parametrelerine anahtar eğrisine göre çok daha yakın olduğu görülmektedir. Ortalamada bulanık modelin tahmini gözlenene çok yakınken anahtar eğrisininki çok düşük bulunmuştur.



Şekil 4.4 Eğitildikten sonraki akış ve katı madde üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 4)

Tablo 4.7 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri

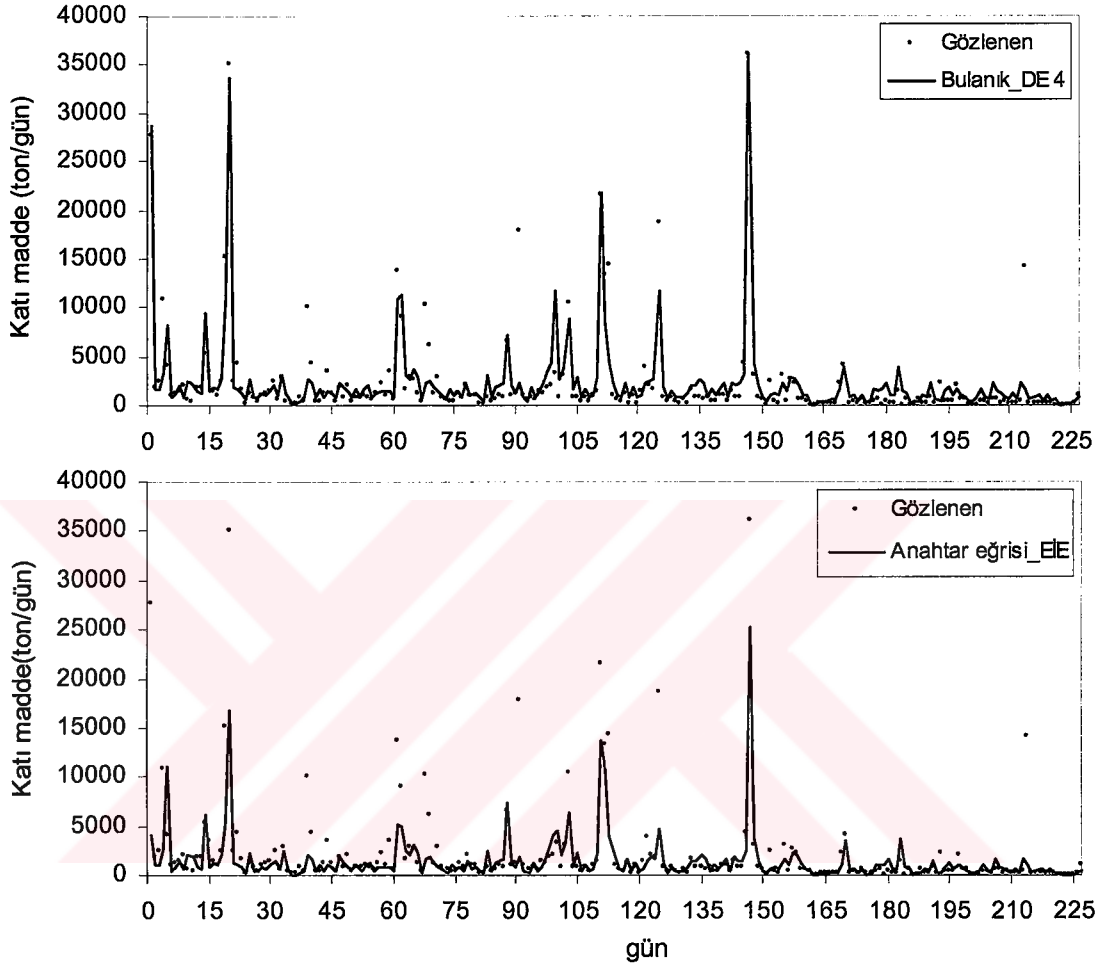
Katı madde (ton/gün)	Ortalama	Sx	Csx	Cv
Gözlenen	2220	4861	4.54	2.19
Bulanık_DE 4	2313	4270	5.68	1.85
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	1473	2554	5.72	1.73

Bulanık_DE 4 modeli ile EİE'nin anahtar eğrisi toplam katı madde miktarını tahminde Tablo 4.8'de karşılaştırılmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE 4 modeli ile hesaplanan toplam katı madde miktarı gözlenen değere çok yakın olduğu halde anahtar eğrisinin verdiği değer oldukça düşük çıkmıştır.

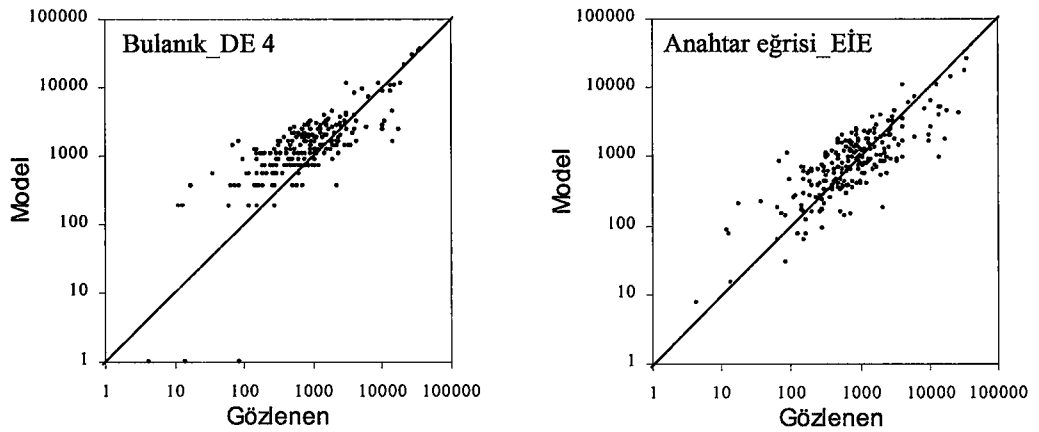
Tablo 4.8 Gözlenen ve tahmin edilen toplam katı madde miktarları

	Toplam katı madde miktarı (ton)	Rölatif hata (%)
Gözlenen	15119432	-
Bulanık_DE 4	15754260	4
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	10032230	-34

Gözlenen ve bulanık_DE 5 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekilden bulanık modelin gözlenen değerlerin gidişatını daha iyi yakaladığı görülmektedir.



Şekil 4.5 Gözlenen ve bulanık_DE 4 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerleri



Şekil 4.6 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde (ton/gün) değerlerini gösteren saçılma diyagramları

Şekil 4.6’da Bulanık_DE 4 ve anahtar eğrisi_EİE modelleri ile hesaplanan katı madde değerleri saçılma diyagramı olarak gösterilmiştir. Şekilden hangi modelin daha iyi sonuç verdiği tam olarak anlaşılmamaktadır. Ama Tablo 4.7 ve 4.8’deki her iki modelin de ortalama ve toplamdaki durumlarına bakılırsa bulanık modelin çok daha iyi sonuçlar verdiği görülebilir.

4.4 Bulanık Mantığın Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu Verilerine Uygulanması

Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu’nun akış ve katı madde verilerinin istatistik parametreleri Tablo 4.9’da verilmiştir. Yine bu istasyon için de akış ve katı madde verilerinin standart sapmaları ve çarpıklıklarının oldukça büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.9 Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu verilerinin istatistik parametreleri

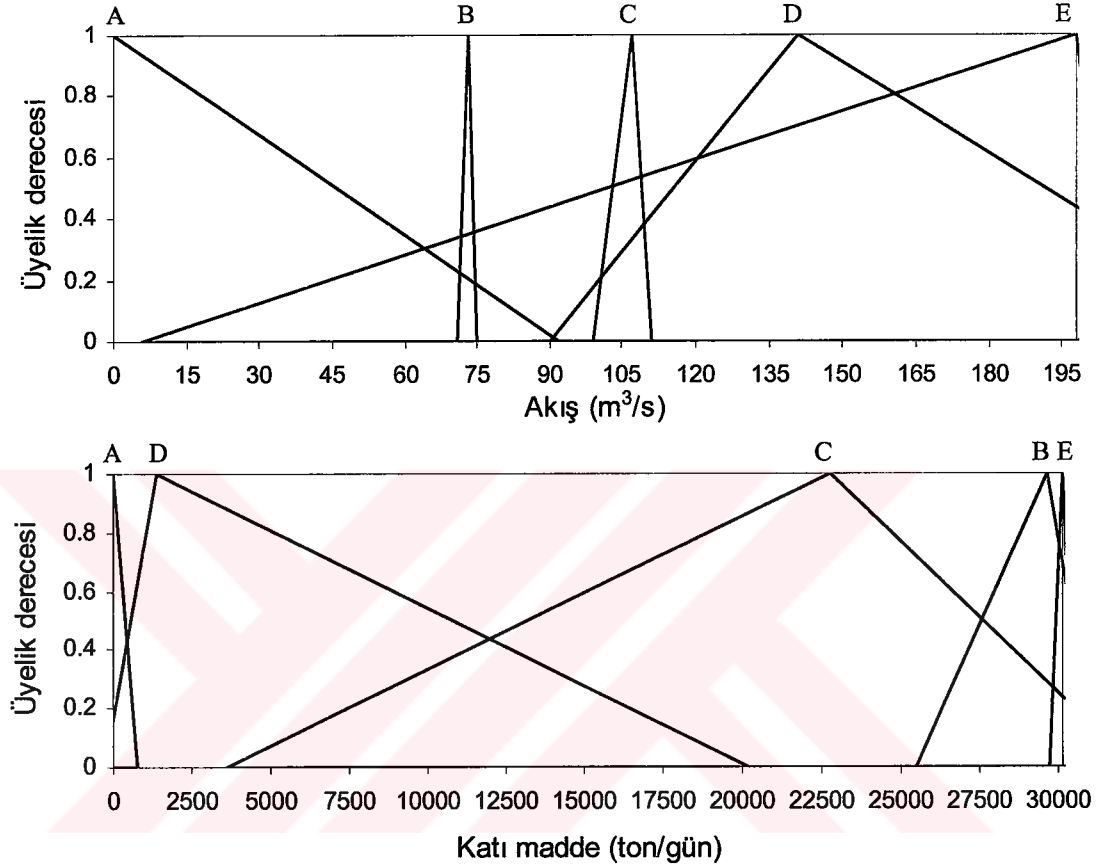
Değişkenler	Ortalama	Sx	Csx	Cv	r_1	minimum	maksimum
Akış (m ³ /s)	15.74	24.86	3.07	1.58	0.30	0.36	198
Katı madde (ton/gün)	1656	4171	4.12	2.52	0.15	0.51	30138

Tablo 4.10’da bulanık_DE modelleri ile EİE tarafından belirlenen katı madde anahtar eğrisi OKTKH kriterine göre karşılaştırılmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE modellerinin OKTKH değerleri katı madde anahtar eğrisininkine göre

Tablo 4.10 Bulanık_DE modelleri ve katı madde anahtar eğrisinin OKTKH değerleri - Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu)

Modeller	OKTKH (ton/gün)
Bulanık_DE 4	172.9
Bulanık_DE 5	141.5
Bulanık_DE 6	160.0
Bulanık_DE 7	173.5
Bulanık_DE 8	178.5
Bulanık_DE 9	173.2
Bulanık_DE 10	173.2
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	291.8

çok daha düşüktür. Bulanık modellerden en iyisi olan Bulanık_DE 5 modeli ile, anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH farkı % 51'dir. Şekil 4.7'de bulanık_DE 5 modelinin eğitildikten sonraki üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



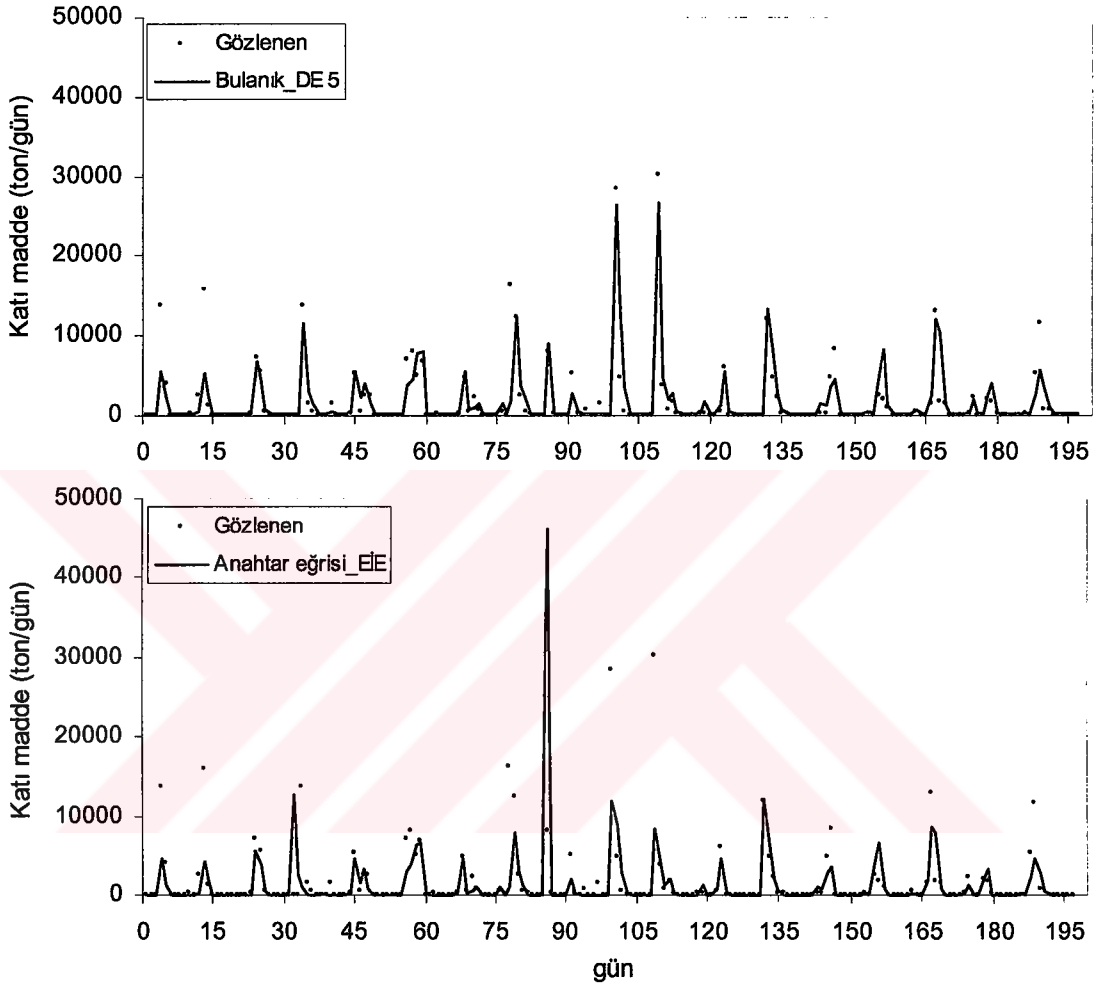
Şekil 4.7 Eğitildikten sonraki akış ve katı maddenin üyelik fonksiyonları (Bulanık_DE 5)

Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri Tablo 4.11'de verilmiştir. Tabloya bakıldığında bulanık_DE 5'in EİE'nin anahtar eğrisine göre ortalamada daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Tablo 4.11 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde değerlerinin istatistik parametreleri

Katı madde (ton/gün)	Ortalama	Sx	Csx	Cv
Gözlenen	1656	4171	4.12	2.52
Bulanık_DE 5	1707	3650	4.16	2.14
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	1351	3980	7.95	2.95

Gözlenen ve bulanık_DE 5 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Şekilden bulanık modelle elde edilen değerlerin gözlenen değerlere özellikle piklerde anahtar eğrisine göre daha çok yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.8 Gözlenen ve bulanık_DE 5 ve EİE'nin anahtar eğrisi ile hesaplanan katı madde değerleri

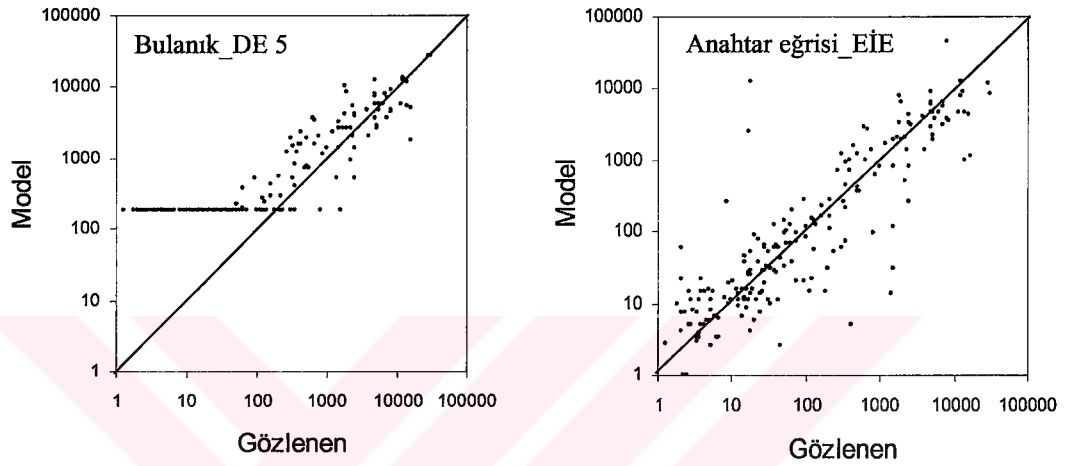
Tablo 4.12'de bulanık_DE 5 modeli ile EİE'nin anahtar eğrisi toplam katı madde miktarını tahminde karşılaştırılmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi bulanık_DE 5

Tablo 4.12 Gözlenen ve tahmin edilen toplam katı madde miktarları

	Toplam katı madde miktarı (ton)	Rölatif hata (%)
Gözlenen	9784922	-
Bulanık_DE 5	10089900	3
Katı madde anahtar eğrisi_EİE	7984073	-18

modeli ile hesaplanan toplam katı madde miktarı gözlenen değere oldukça yakındır. Anahtar eğrisi ise gözlenen değerden çok daha küçük bir tahmin vermiştir.

Bulanık_DE 5 ve anahtar eğrisi_EİE modelleri ile elde edilen katı madde değerleri saçılma diyagramı olarak Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bulanık model küçük değerleri tahminde iyi olmamakla birlikte büyük değerlerde anahtar eğrisine göre daha iyidir.



Şekil 4.9 Gözlenen ve tahmin edilen katı madde (ton/gün) değerlerini gösteren saçılma diyagramları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, nehir enkesitindeki askı malzemesi miktarının belirlenmesi için bulanık mantığa dayalı modeller geliştirilmiştir.

Bulanık modeller ilk olarak, Amerika'da United States Geological Survey (USGS)'in işlettiği Quebrada Blance ve Rio Valenciano istasyonlarına ait günlük gerçek zaman askı malzemesi konsantrasyonu ve debi verilerine uygulanmıştır. Modellerin kalibre edilmesi için diferansiyel evölüsyon algoritması (DE) kullanılmış ve böylece ortaya çıkan yeni model yapısı bulanık_DE olarak nitelendirilmiştir. Her iki istasyon için, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları 4'ten 12'ye kadar artırılarak 9 ayrı bulanık_DE modeli kurulmuş ve klasik katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Böylece bulanık_DE modellerinin en iyi sonucu veren üyelik fonksiyonu sayıları da belirlenmiştir.

İlk istasyon için bulanık mantığa dayalı modeller arasında en iyi sonucu giriş ve çıkışı 4 üyelik fonksiyonuna sahip bulanık_DE 4 modeli vermiştir. Anahtar eğrileri içerisinde en iyi sonucu veren 1. anahtar eğrisi ile bulanık_DE 4 arasındaki rölatif OKTKH farkı eğitime aşamasında % 53, test aşamasında % 43 bulunmuştur. Test aşamasında, toplam katı madde miktarını tahminde bulanık modelin rölatif hatası % 22 iken anahtar eğrisinin % 63 bulunmuştur.

İkinci istasyon için bulanık_DE modelleri arasında en iyi sonucu giriş ve çıkışı 5 üyelik fonksiyonuna sahip bulanık_DE 5 modeli vermiştir. Anahtar eğrileri içerisinde en iyi sonucu veren 1. anahtar eğrisi ile bulanık_DE 5 arasındaki rölatif OKTKH farkı eğitime aşamasında % 29, test aşamasında % 41 bulunmuştur. Yine test aşamasında bulanık model toplam katı madde miktarını % 6 rölatif hata ile tahmin ederken anahtar eğrisi % 53 hata ile hesaplamıştır.

Her iki istasyon için de bulanık_DE modellerinin hem eğitime hem de test aşamasında OKTKH değerleri katı madde anahtar eğrilerinininkilere göre çok daha

düşük bulunmuştur. Toplam katı madde miktarını tahminde de yine Bulanık_DE modelleri gözlenen değerlere anahtar eğrilerine göre daha çok yaklaşmıştır. Gerek tablolardan gerekse grafiklerden katı madde anahtar eğrilerinin, günlük gerçek zaman askı malzemesi konsantrasyonunun tahmininde bulanık_DE modellerine göre oldukça yetersiz kaldıkları sonucuna varılmıştır.

Bulanık modeller ikinci olarak, Türkiye’de Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) tarafından işletilen, farklı havzalarda bulunan Ova Çayı-Eybek, Meriç Nehri-Meriç Köprüsü ve Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı istasyonlarının aylık askı maddesi verilerine uygulanmıştır. Herbir istasyon için girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları 4’ten 10’a kadar artırılarak 7 ayrı bulanık_DE modeli kurulmuş ve EİE tarafından bu istasyonlar için elde edilen katı madde anahtar eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

EİE tarafından herbir istasyon için elde edilen katı madde anahtar eğrileri kullanılarak her gözlem istasyonu için günlük debi değerlerine karşı gelen günlük katı madde miktarı değerleri elde edilmektedir. Bu değerler yardımıyla her bir gözlem istasyonu için, gerek akım gözlem süresi ve gerekse sediment gözlem süresi boyunca taşınan ortalama katı madde miktarı belirlenmektedir. Hatta bu katı madde anahtar eğrileri kullanılarak her bir gözlem istasyonunun drenaj alanının birim alanından gelebilecek yıllık katı madde miktarı da (ton/yıl/km²) olarak belirlenmektedir (EİE, 1993). Böylece ölçüm yapılmamış olan havzalar için de havzadan gelebilecek ortalama katı madde miktarları da tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Ova Çayı-Eybek İstasyonu için bulanık mantık temelli modellerden en iyi sonucu bulanık_DE 5 vermiştir. Bulanık_DE 5 modeli ile EİE’nin bulduğu anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH farkı % 74 bulunmuştur. Başka bir ifade ile klasik anahtar eğrisinin karesel hatası bulanık_DE 5 modelinininkinin yaklaşık 4 katıdır. Toplam katı madde miktarını belirlenmesinde ise bulanık modelin rölatif hatası % 11, anahtar eğrisinin ise % 22’dir.

Meriç Nehri-Meriç Köprüsü İstasyonu için bulanık_DE 4 modeli, bulanık modeller arasında en iyisi olarak bulunmuştur. Bulanık_DE 4 modeli ile EİE’nin bu istasyon için elde ettiği anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH farkı % 33 bulunmuştur. Bulanık model toplam katı madde miktarını % 4 rölatif hata ile hesaplarken anahtar eğrisi % 34 hata ile gözlenen değere oldukça uzak kalmıştır.

Kızılırmak Nehri-Bulakbaşı İstasyonu için bulanık_DE 5 modeli, bulanık modeller arasında en iyisi olarak bulunmuştur. Bulanık_DE 5 modeli ile EİE'nin bu istasyon için elde ettiği anahtar eğrisi arasındaki rölatif OKTKH farkı % 51 bulunmuştur. Başka bir ifade ile anahtar eğrisinin karesel hatası bulanık_DE 5 modelinin 2 katından daha fazla bulunmuştur. Toplam katı madde miktarını belirlemede bulanık modelin rölatif hatası % 3 iken anahtar eğrisindeki % 18'dir.

Her üç istasyon için de bulanık_DE modellerinin OKTKH değerleri EİE tarafından bu istasyonlar için elde edilen katı madde anahtar eğrilerinkilere göre çok daha düşük bulunmuştur. Toplam katı madde miktarının belirlenmesinde de bulanık_DE modellerinin anahtar eğrilerine göre çok daha başarılı olduğu görülmektedir. Tablo ve grafiklerden EİE'nin tarafından kullanılan anahtar eğrilerinin, askı maddesi miktarlarının belirlenmesinde oldukça yetersiz kaldıkları ortaya çıkmıştır.

Katı madde anahtar eğrileri askı maddesi ile debi arasında üssel bir ilişki olduğu varsayımını yapmakta, olayı iki veya üç parametre ile ifade etmeye çalışmaktadır. Bundan dolayı anahtar eğrileri çok değişken bir yapıya sahip akış-katı madde olayını modellemede yetersiz kalabilmektedir. Bulanık_DE modellerinde ise herhangi bir kabul yapılmamaktadır. Bu modeller birçok parametre ve kurallar takımı içerdiği için anahtar eğrilerine göre çok daha esnek bir yapıya sahiptirler ve akış-sediment olayı gibi çok değişken olayları modellemede başarı ile kullanılabilir.

Bu çalışma sonucu geliştirilen bulanık_DE modelleri pratik açıdan da oldukça kullanışlıdır. Geliştirilen program, girilen verilere en uygun bulanık modeli istenilen bir hata kriterine göre bulabilmektedir.

Uygulamalar sonucu 4 ve 5 üyelik fonksiyonlarına sahip bulanık modeller en iyi sonuçları vermişlerdir, ama buradan bir genelleme yapmak çok zordur. Her istasyon için bulanık modellerin üyelik fonksiyonu sayıları optimize edilmelidir.

Sonuç olarak, nehir enkesitindeki askı malzemesi miktarının belirlenmesi için geliştirilen bulanık mantığa dayalı modeller, katı madde anahtar eğrilerine göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Katı madde anahtar eğrileri yerine bulanık mantığa dayalı bulanık_DE modelleri önerilmektedir.

Daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler:

Bulanık modellerde üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Daha değişik üyelik fonksiyonları (sinüzoidal, yamuk vb.) kullanılabilir.

Bulanık modellerin kalibrasyonu için DE yerine yapay sinir ağları gibi değişik algoritmalar denenebilir.

Ortalama en büyük üyelik durulaştırma metodu kullanılmıştır, daha değişik durulaştırma teknikleri denenebilir.



KAYNAKLAR

- Agricultural Research**, 1994. New soil erosion model erodes farmer's patience, *Science*, **264**, 1661-1670.
- Ahsan, M., and O'Connor, K. M.**, 1994. A simple non-linear rainfall-runoff model based on the concept of a variable gain factor, *J. Hydrology*, **155**, 151-183.
- Amorocho, J.**, 1967. The nonlinear prediction problem in the study of runoff cycle, *Water Resour. Res.*, **3(3)**, 861-880.
- Amorocho, J.**, 1973. Nonlinear hydrologic analysis. *Advances in hydroscience*, **9**, 203-251.
- Asselman, N. E. M.**, 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves, *J. of Hydrology*, **234**, 228-248.
- Bayazit, M.**, 1971. Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bayazit, M.**, 1994. Su Kaynakları Sistemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Chang, F. J., Chen, Y. C.**, 2001. A counterpropagation fuzzy-neural network modeling approach to real time streamflow prediction, *J. of Hydrology*, **245**, 153-164.
- Chaturvedi, M. C.**, 1992. Water Resources Systems Planning and Management, Tata McGraw-Hill Publ. Company Limited, New Delhi.
- Chow, V.T.**, 1964. Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- Crawford, C.G.**, 1991. Estimation of suspended-sediment rating curves and mean suspended-sediment loads, *J. Hydrology*, **129**, 331-348.
- Demiröz, E.**, 1989. Sediment sampling activities in Turkey, *Fourth International Symposium on River Sedimentation*, Beijing, China, Nov.1-5.
- EİE**, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, 1993. Türkiye akarsularında sediment gözlemleri ve sediment taşınım miktarları, Ankara.
- Erkek, C., Ağralıoğlu, N.**, 1994. Su Kaynakları Mühendisliği, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.

- Ferro, V., Porto, P.,** 2000. Sediment delivery distributed model, *Journal of Hydrologic Engineering*, **5**, 411-422.
- Graf, W.H.,** 1971. Hydraulics of Sediment Transport, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- Güldal, V., Müftüoğlu, R. F.,** 2001. 2D unit sediment graph theory, *J. Hydrologic Eng.*, **6**, 132-140.
- Hasnain, S. I., Thayyen, R. J.,** 1999. Discharge and suspended sediment concentration of meltwaters, draining from the Dokriani Glacier, Garhwal Himalaya, *India J. of Hydrology*, **218**, 191-198.
- Hellendoorn, H. ve Driankov, D.,** 1997. Fuzzy Model Identification, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Kleinhans, M. G., Brinke, W. B. M. T.,** 2001. Accuracy of cross-channel sampled sediment transport in large sand-gravel-bed rivers, *J. of Hydraulics Engineering*, **127**, 258-269.
- Kothyari, U. C., Tiwari, A. K., and Singh, R.,** 1997. Estimation of temporal variation of sediment yield from small catchments through the kinematic method, *J. Hydrology*, **203**, 39-57.
- Krishnaswamy, J., Halpin, P. N., Richter, D. D.,** 2001. Dynamics of sediment discharge in relation to land use and hydro-climatology in a humid tropical watershed in Costa Rica, *J. Hydrology*, **253**, 91-109.
- Krone, R. B.,** 1999. Effects of bed structure on erosion of cohesive sediments, *J. Hydraulics Engineering*, ASCE, **125**, 1297-1301.
- Kumar, S., Rastogi, R.A.,** 1987. A conceptual catchments model for estimating suspended sediment flow, *J. Hydrology*, **95**, 155-163.
- Laguna, A., and Giraldez, J. V.,** 1993. The description of soil erosion through a kinematic wave model, *J. Hydrology*, **145**, 65-82.
- Lampinen, J.,** 2001. Solving problems subject to multiple nonlinear constraints by the differential evolution, *7th International Conference on Soft Computing*, June 6, 50-57.
- Loureiro, N. S., Coutinho, M. A.,** 2001 A new procedure to estimate the RUSLE EI_{30} index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve Region, Portugal, *J. Hydrology*, **250**, 12-18.
- Mizumura, K.,** 1989. Hydrologic approach to prediction of sediment yield, *J. Hydraulics Engineering*, ASCE, **115**, 529-535.

- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., Iverson, L. R., 1995.** Modeling topographic potential for erosion and deporition using GIS, *J. of GIS*, 1-16.
- Müftüoğlu, R. F., 1973.** A cybernetic model of an automatic hydrological system based upon the Kolmogorov-Gabor predictor, *PhD thesis*, University of London, London.
- Müftüoğlu, R. F., 1979.** Black-box models in catchment simulation, *Tech. Rep.*, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Müftüoğlu, R. F., 1980.** Akarsu Yapıları, Cilt 1, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Müftüoğlu, R. F., 1984.** New models for nonlinear catchment analysis, *J. Hydrology*, **73**, 335–357.
- Müftüoğlu, R. F., 1991.** Monthly runoff generation by non-linear models, *J. Hydrology*, **125**, 277–291.
- Özelkan, E. C., ve Duckstein, L., 2001.** Fuzzy conceptual rainfall-runoff models., *J. of Hydrology*, **253**, 41-68.
- Picoet, C., Hingray, B., Olivry, J. C., 2001.** Emprical and conceptual modeling of the suspended sediment dynamics in large tropical African River: The Upper Niger River Basin, *J. Hydrology*, **250**, 19-39.
- Refsgaard, J. C., 1997.** Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models, *J. Hydrology*, **198**, 69–97.
- Renard, K.G., Laursen, E.M., 1975.** Dynamic behaviour model of ephemeral stream, *J. Hydr. Div., ASCE*, **101**, 511-528.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., Porter, J. P., 1991.** RUSLE-revised universal soil loss equation, *J. Soil and Water Conservation*, **46(1)**, 30-33.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., 1992.** Predicting soil erosion by water-A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE), US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, draft 6/92.
- Rendon-Herrero, O., 1974.** Estimation of washload produced on certain small watersheds, *J. Hydraulics Div., ASCE*, **100**, 835-848.
- Rendon-Herrero, O., 1978.** Unit sediment graph, *Water Resources Research*, **14**, 889-901.
- Salas, J. D., Shin, H. S., 1999.** Uncertainty analysis of reservoir sedimentation, *J. Hydraulics Engineering*, ASCE, **125**, 339-350.

- Sharma, T.C., Dickinson, W.T.**, 1979. Discrete dynamic model of watershed sediment yield, *J. Hydraulics Div.*, ASCE, **105**, 555-571.
- Simons, D.B., Şentürk, F.**, 1992. Sediment Transport Technology, Water and Sediment Dynamics, *Water Resources. Public.*, Littleton, Colorado, U.S.A.
- Stefano, C. D., Ferro, V., Porto, P., and Tusa, G.**, 2000. Slope curvature influence on soil loss erosion and deposition processes, *Water Resour. Res.*, **36**, 607-617.
- Sugeno, M. ve Kank, G.T.**, 1988. Structure identification of fuzzy model, *Fuzzy Sets and Systems*, **28**, 15-33.
- Şen, Z.**, 1999. Mühendislikte Bulanık Modelleme İlkeleri. İTÜ, İnşaat Fak, İnşaat Müh. Böl., Hidrolik A.B.D., İstanbul.
- Takagi, K.I. ve Sugeno, M.**, 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybern.*, **15**(1), 116-132.
- Thomas, R. B.**, 1985. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling, *Water Resources Research*, **21**, 1381-1388.
- Vansickle, J., Beschta, R.L.**, 1983. Supply-based models of suspended sediment transport in streams, *Water Res. Res.*, **19**, 768-778.
- Walling, D.E., Teed, A.**, 1971. A simple pumping sampler for research into suspended sediment transport in small catchments, *J. Hydrology*, **13**, 325-337.
- Walling, D.E.**, 1977. Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin, *Water Res. Res.*, **13**, 531-538.
- Wicks, J. M., and Bathurst, J. C.**, 1996. SHESED: A physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modeling system, *J. Hydrology*, **175**, 213-238.
- Williams, J.R.**, 1972. Sediment yield computed with universal equation, *J. Hydraulics Div.*, ASCE, **98**, 2087-2098.
- Williams, J.R.**, 1978. A sediment graph model based on an instantaneous unit sediment graph, *Water Resour. Res.*, **14**, 659-664.
- Williams, G.P.**, 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers, *J. Hydrology*, **111**, 89-106.
- Xia, J., O'Connor, K. M., Kachroo, R. K., and Liang, G. C.**, 1997. A non-linear perturbation model considering catchment wetness and its application in river flow forecasting, *J. Hydrology*, **200**, 164-178.

- Xiong, L., Shamseldin, A. Y., O'Connor, K. M.**, 2001. A non-linear combination of the forecasts of rainfall-runoff models by the first-order Takagi-Sugeno fuzzy system., *J. of Hydrology*, **245**, 196-217.
- Yu, P. S. ve Yang, T. C.**, 2000. Fuzzy multi-objective function for rainfall-runoff model calibration. *J. of Hydrology*, **238**, 1-14.
- Zadeh, L.**, 1973. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **3**, 28-44 .





EKLER

EK A

ANA PROGRAM

```
function [x]=run_fuzzy_de1;
global fismat;global inputs;global outputs;
global inputn;global inputmf;global outputmf;
inputn=1,inputmf=7,outputmf=inputmf^inputn
load sedegitme.dat;
inputs=sedegitme(:,1);
outputs=sedegitme(:,2);
VTR = 1.e-6;
%inch=2.54;pi=3.141592;%pi=2*1.571;
name1='vell_sim';
name2='fuzzy_output_eval';
fismat = readfis('mamdani7mom');
params=[];
for i=1:inputn % giris sayisi
    for j=1:inputmf % her giris icin uyelik fonksiyonu sayisi
        params=[params getfis(fismat,'input',i,'mf',j,'params')];
    end
end
pause
end
for i=1:outputmf % giris sayisi
    params=[params getfis(fismat,'output',1,'mf',i,'params')];
end
end
param_size=size(params,2)
[hata,cst]=fuzzy_output_eval(params)
maxparams=max(params),minparams=min(params)
'max min'
pause
```

```
        y=[];
        NP = 8;
        itermax = 10;
        F = 0.8;
        CR = 0.8;
        strategy = 7;
        refresh = 1000;
XVmax(1:1)=(ones(1,1)*-5)';
XVmin(1:1)=(ones(1,1)*(-1))';
XVmax(2:2)=(ones(1,1)*0)';
XVmin(2:2)=(ones(1,1)*0)';
XVmax(3:19)=(ones(17,1)*44)';
XVmin(3:19)=(ones(17,1)*(-10))';
XVmax(20:20)=(ones(1,1)*44)';
XVmin(20:20)=(ones(1,1)*44)';
XVmax(21:21)=(ones(1,1)*55)';
XVmin(21:21)=(ones(1,1)*45)';
XVmax(22:22)=(ones(1,1)*(-5))';
XVmin(22:22)=(ones(1,1)*(-1))';
XVmax(23:23)=(ones(1,1)*0)';
XVmin(23:23)=(ones(1,1)*0)';
XVmax(24:40)=(ones(17,1)*3441)';
XVmin(24:40)=(ones(17,1)*(-10))';
```

```

XVmax(41:41)=(ones(1,1)*3441)';
XVmin(41:41)=(ones(1,1)*3441)';
XVmax(42:42)=(ones(1,1)*3500)';
XVmin(42:42)=(ones(1,1)*3442)';
[x,f,nf,cst_best]=devec_fuzzy1(name2,VTR,param_size,XVmin,XVmax,y,NP,itermax,F,CR,strategy,
refresh,params)

```

DİFERANSİYEL EVOLÜSYON

```

function [bestmem,bestval,nfeval,cst_best] =
devec_fuzzy1(fname,VTR,D,XVmin,XVmax,y,NP,itermax,F,CR,strategy,refresh,params);
global fismat;global input1;global outputs;global input2;
global inputn;global inputmf;global outputmf;
err=[];
if nargin<1, error('devec3 1st argument must be function name'); else
    if exist(fname)<1; err(1,length(err)+1)=1; end; end;
if nargin<2, VTR = 1.e-6; else
    if length(VTR)~=1; err(1,length(err)+1)=2; end; end;
if nargin<3, D = 2; else
    if length(D)~=1; err(1,length(err)+1)=3; end; end;
if nargin<4, XVmin = [-2 -2];else
    if length(XVmin)~=D; err(1,length(err)+1)=4; end; end;
if nargin<5, XVmax = [2 2]; else
    if length(XVmax)~=D; err(1,length(err)+1)=5; end; end;
if nargin<6, y=[]; end;
if nargin<7, NP = 10*D; else
    if length(NP)~=1; err(1,length(err)+1)=7; end; end;
if nargin<8, itermax = 200; else
    if length(itermax)~=1; err(1,length(err)+1)=8; end; end;
if nargin<9, F = 0.8; else
    if length(F)~=1; err(1,length(err)+1)=9; end; end;
if nargin<10, CR = 0.5; else
    if length(CR)~=1; err(1,length(err)+1)=10; end; end;
if nargin<11, strategy = 7; else
    if length(strategy)~=1; err(1,length(err)+1)=11; end; end;
if nargin<12, refresh = 10; else
    if length(refresh)~=1; err(1,length(err)+1)=12; end; end;
if length(err)>0
    fprintf(stdout,'error in parameter %d\n', err);
    usage('devec3 (string,scalar,scalar,vector,vector,any,integer,integer,scalar,scalar,integer,integer)');
end
if (NP < 5)
    NP=5;
    fprintf(1,' NP increased to minimal value 5\n');
end
if ((CR < 0) | (CR > 1))
    CR=0.5;
    fprintf(1,'CR should be from interval [0,1]; set to default value 0.5\n');
end
if (itermax <= 0)
    itermax = 200;
    fprintf(1,'itermax should be > 0; set to default value 200\n');
end
refresh = floor(refresh);
pop = zeros(NP,D); %initialize pop to gain speed
devam=1; %eski havuzdan devam etmek icin devam 1 olması lazim.
if(devam)
    load all

```

```

else
    for i=1:NP
        for ii=1:inputn*inputmf
            pop(i,(ii-1)*3+1) = XVmin((ii-1)*3+1) + rand(1,1).*(XVmax((ii-1)*3+1) - XVmin(((ii-1)*3+1)));
            pop(i,(ii-1)*3+2) = pop(i,(ii-1)*3+1) + rand(1,1).*(XVmax((ii-1)*3+2) - pop(i,(ii-1)*3+1));
            pop(i,(ii-1)*3+3) = pop(i,(ii-1)*3+2) + rand(1,1).*(XVmax((ii-1)*3+3) - pop(i,(ii-1)*3+2));
        end
        for iii=inputn*inputmf+1:inputn*inputmf+outputmf
            rand(1,(D-(inputn*inputmf*3))).*(XVmax(inputn*inputmf*3+1:D) - XVmin((inputn*inputmf*3+1:D))); %Bu Sugeno tipi icindi
            pop(i,(iii-1)*3+1) = XVmin((iii-1)*3+1) + rand(1,1).*(XVmax((iii-1)*3+1) - XVmin(((iii-1)*3+1)));
            pop(i,(iii-1)*3+2) = pop(i,(iii-1)*3+1) + rand(1,1).*(XVmax((iii-1)*3+2) - pop(i,(iii-1)*3+1));
            pop(i,(iii-1)*3+3) = pop(i,(iii-1)*3+2) + rand(1,1).*(XVmax((iii-1)*3+3) - pop(i,(iii-1)*3+2));
        end
    end
end
pop;
popold = zeros(size(pop)); % toggle population
val = zeros(1,NP); % create and reset the "cost array"
bestmem = zeros(1,D); % best population member ever
bestmemit = zeros(1,D); % best population member in iteration
nfeval = 0; % number of function evaluations
cst=zeros(D+1,NP);
bestval = 1000000; % best objective function value so far
bestvalold=bestval;
cst_best=cst(:,1);
for i=1:NP % check the remaining members
    [val(i),cst(:,i)] = feval(fname,pop(i,:));
    %pause
    nfeval = nfeval + 1;
    if ((isreal(val(i)))&((sum(cst(:,i)<0))==0)&(val(i) < bestval));
        ibest = i; % save its location
        bestmemit = pop(ibest,:); % best member of current iteration
        bestvalold=bestval;
        bestval = val(i);
        bestvalit = bestval; % best value of current iteration
        cst_best=cst(:,i);
    end
end
bestmem = bestmemit; % best member ever
'ilk hesap'
bestval,val
pause
pm1 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 1
pm2 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 2
pm3 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 3
pm4 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 4
pm5 = zeros(NP,D); % initialize population matrix 5
bm = zeros(NP,D); % initialize bestmember matrix
ui = zeros(NP,D); % intermediate population of perturbed vectors
mui = zeros(NP,D); % mask for intermediate population
mpo = zeros(NP,D); % mask for old population
rot = (0:1:NP-1); % rotating index array (size NP)
rotd= (0:1:D-1); % rotating index array (size D)
rt = zeros(NP); % another rotating index array
rtd = zeros(D); % rotating index array for exponential crossover
a1 = zeros(NP); % index array
a2 = zeros(NP); % index array

```

```

a3 = zeros(NP);          % index array
a4 = zeros(NP);          % index array
a5 = zeros(NP);          % index array
ind = zeros(4);
iter = 1;
while ((iter < itemax)) % & ((bestvalold-bestval)>0.0001))
    popold = pop;          % save the old population
    ind = randperm(4);      % index pointer array
    a1 = randperm(NP);      % shuffle locations of vectors
    rt = rem(rot+ind(1),NP); % rotate indices by ind(1) positions
    a2 = a1(rt+1);          % rotate vector locations
    rt = rem(rot+ind(2),NP);
    a3 = a2(rt+1);
    rt = rem(rot+ind(3),NP);
    a4 = a3(rt+1);
    rt = rem(rot+ind(4),NP);
    a5 = a4(rt+1);
    pm1 = popold(a1,:);     % shuffled population 1
    pm2 = popold(a2,:);     % shuffled population 2
    pm3 = popold(a3,:);     % shuffled population 3
    pm4 = popold(a4,:);     % shuffled population 4
    pm5 = popold(a5,:);     % shuffled population 5
    for i=1:NP              % population filled with the best member
        bm(i,:) = bestmemit; % of the last iteration
    end

    bm;
    mui = rand(NP,D) < CR;   % all random numbers < CR are 1, 0 otherwise
    if (strategy > 5)
        st = strategy-5;     % binomial crossover
    else
        st = strategy;       % exponential crossover
        mui=sort(mui');       % transpose, collect 1's in each column
        for i=1:NP
            n=floor(rand*D);   if n > 0
                rtd = rem(rotd+n,D);
                mui(:,i) = mui(rtd+1,i); %rotate column i by n
            end
        end
        mui = mui';          % transpose back
    end
    mpo = mui < 0.5;         % inverse mask to mui
st;
    if (st == 1)             % DE/best/1
        ui = bm + F*(pm1 - pm2); % differential variation
        ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
    elseif (st == 2)         % DE/rand/1
        ui = pm3 + F*(pm1 - pm2); % differential variation
        ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
        for i=1:NP          % limit disinda olanlar icin random
            atama yapıyor.
            temp_mem(i,:) = XVmin + rand(1,D).*(XVmax - XVmin);
        end
        for i=1:NP
            ui_mask(i,:)=ui(i,:)<(XVmin);
            ui_mask(i,:)=ui_mask(i,:)+(ui(i,:)>XVmax);
            temp_mem(i,:)=temp_mem(i,:).*ui_mask(i,:);
            ui_mask1(i,:)=ui_mask(i,:)<0.5;
            ui(i,:)=ui(i,:).*ui_mask1(i,:);
            ui(i,:)=ui(i,:)+temp_mem(i,:);

```

```

        for ii=1:inputn*inputmf
            if(ui(i,(ii-1)*3+1)>ui(i,(ii-1)*3+2)|ui(i,(ii-1)*3+2)>ui(i,(ii-1)*3+3))
                ui(i,(ii-1)*3+1) = XVmin((ii-1)*3+1) + rand(1,1).*(XVmax((ii-1)*3+1) - XVmin((ii-1)*3+1));
                ui(i,(ii-1)*3+2)= ui(i,(ii-1)*3+1) + rand(1,1).*(XVmax((ii-1)*3+2) - ui(i,(ii-1)*3+1));
                ui(i,(ii-1)*3+3) = ui(i,(ii-1)*3+2) + rand(1,1).*(XVmax((ii-1)*3+3) - ui(i,(ii-1)*3+2));
            end
        end
        for iii=inputn*inputmf+1:inputn*inputmf+outputmf
            if(ui(i,(iii-1)*3+1)>ui(i,(iii-1)*3+2)|ui(i,(iii-1)*3+2)>ui(i,(iii-1)*3+3))
                ui(i,(iii-1)*3+1) = XVmin((iii-1)*3+1) + rand(1,1).*(XVmax((iii-1)*3+1) - XVmin((iii-1)*3+1));
                ui(i,(iii-1)*3+2)= ui(i,(iii-1)*3+1) + rand(1,1).*(XVmax((iii-1)*3+2) - ui(i,(iii-1)*3+1));
                ui(i,(iii-1)*3+3) = ui(i,(iii-1)*3+2) + rand(1,1).*(XVmax((iii-1)*3+3) - ui(i,(iii-1)*3+2));
            end
        end

        %pause
    end

elseif (st == 3)                % DE/rand-to-best/1
    ui = popold + F*(bm-popold) + F*(pm1 - pm2);
    ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
elseif (st == 4)                % DE/best/2
    ui = bm + F*(pm1 - pm2 + pm3 - pm4); % differential variation
    ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
elseif (st == 5)                % DE/rand/2
    ui = pm5 + F*(pm1 - pm2 + pm3 - pm4); % differential variation
    ui = popold.*mpo + ui.*mui; % crossover
end

for i=1:NP

    [tempval tmp_cs] = feval(fname,ui(i,:)); % check cost of competitor
    nfeval = nfeval + 1;
    tempval,
    if (((tempval <= val(i))),i))|(((sum(tmp_cs<0))==0)&((sum(cst(:,i)<0))>0))) % if competitor is
    better than value in "cost array"
        pop(i,:) = ui(i,:); % replace old vector with new one (for new iteration)
        val(i) = tempval; % save value in "cost array"
        cst(:,i)=tmp_cs;
        if ((isreal(tempval))&(tempval < bestval)) ever
            bestvalold=bestval;
            bestval = tempval; % new best value
            bestmem = ui(i,:); % new best parameter vector ever
            cst_best=cst(:,i);
        end
    end
end %---end for imember=1:NP

bestmemit = bestmem; % freeze the best member of this iteration for the coming
cst_best=cst_best; % iteration. This is needed for some of the strategies.
if (refresh > 0)
    if (rem(iter,refresh) == 0)
        fprintf(1,'Iteration: %d, Best: %f, Mean: %f, \n',iter,bestval,mean(val));
        %for n=1:D

```

```

    % fprintf(1,'best(%d) = %f\n',n,bestmem(n));
    save all.mat cst val bestmem pop ; % her refresh yaptiginda sonuclari kaydediyor.
end
end
iter = iter + 1;
end %---end while ((iter < itermax) ...

*****
AMAÇ FONKSİYONU DEĞERLENDİRİLİYOR
*****

function [hata, cst]=fuzzy_output_eval(parameters);
global fismat;global inputs;global outputs;
global inputn;global inputmf;global outputmf;
z=0;
p_n_i=3;p_n_o=3;
for i=1:inputn % giris sayisi
    for j=1:inputmf % her giris icin uyelik fonksiyonu sayisi
        k=(i-1)*inputmf*p_n_i+(j-1)*p_n_i+1;
        l=(i-1)*inputmf*p_n_i+j*p_n_i;
        if(parameters(k)>parameters(k+1)||parameters(k+1)>parameters(l))
            parameters(k:l);
            z=1;
        end
        fismat=setfis(fismat,'input',i,'mf',j,'params',parameters(k:l));
    end
end
for ii=1:outputmf % giris sayisi
    k=inputn*inputmf*p_n_i+(ii-1)*p_n_o+1;
    l=inputn*inputmf*p_n_i+ii*p_n_o;
    if(parameters(k)>parameters(k+1)||parameters(k+1)>parameters(l))
        parameters(k:l);
        z=1
    end
    fismat=setfis(fismat,'output',1,'mf',ii,'params',parameters(k:l));
end
if(z==0)
    output_fuzzy=evalfis(inputs,fismat);
    hata=((sum((outputs-output_fuzzy).^2))^0.5)/size(inputs,1);
else
    cst=-1;
    hata=1000;
end
cst=0;

```

ÖZGEÇMİŞ

Özgür Kişi, 1976 Kars doğumludur. İlköğrenimini 1986'da İstanbul Paşa Mahallesi İlkokulu'nda, orta öğrenimini 1992'de İstanbul Büyükçekmece Lisesi'nde tamamladı. Mezun olduğu yıl Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1 yıl İngilizce hazırlık görerek 1997 tarihinde mezun oldu. Mezun olduğu yıl Erciyes Üniversitesi'nde yüksek lisansa başladı. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü araştırma görevliliği sınavını da kazanarak, 1998'de göreve başladı. Daha sonra Mühendislik Fakültesi dekanlık araştırma görevliliği sınavıyla dekanlık kadrosuna geçti. 1999'da yüksek lisansını tamamlayarak İTÜ İnşaat Fakültesi Su Mühendisliği programında doktora başladı.

