

SULAMA SUYU KALİTESİNİN KÜMELEMeye  
DAYALI BULANIK SİSTEM İLE  
SINIFLANDIRILMASI

MURAT AY

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
2010

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SULAMA SUYU KALİTESİNİN KÜMELEMeye DAYALI  
BULANIK SİSTEM İLE SINIFLANDIRILMASI

MURAT AY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI  
YRD. DOÇ.DR. M. LEVENT KOÇ

SİVAS  
2010

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.../.../2010

Başkan : Doç. Dr. Hanhüseyin TAĞIZADE

Üye : Yrd. Doç. Dr. Dilek İMREN

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. M. Levent KOÇ

#### ONAY

Bu tez çalışması, .../.../2010 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sezai ELAGÖZ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 9 sayılı kararı ile kabul edilen "Cumhuriyet Üniversitesi Fen/Sağlık Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu" adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım sırasında yardımlarını eksik etmeyen çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. M. Levent KOÇ'a sonsuz teőekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca, Ziraat Yüksek Mühendisi Ekrem YALÇIN'a ve adlarını burada anamadığım Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) çalışanlarına verdikleri destekler için teőekkürlerimi sunuyorum.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 SULAMA SUYU KALİTESİ.....	3
3 BULANIK MANTIK SİSTEMLERİ VE BULANIK C-ORTALAMALAR YÖNTEMİ.....	6
3.1 Bulanık Mantık Sistemleri.....	6
3.1.1 Bulanıklaştırma.....	6
3.1.2 Bulanık Kural Tabanı ve Bulanık Genelleme.....	7
3.1.3 Durulaştırma.....	8
3.2 Bulanık c-ortalamlar Yöntemi.....	8
4 BULANIK C-ORTALAMALAR VE BULANIK SİSTEM İLE SULAMA SUYU KALİTESİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	10
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	23
KAYNAKLAR.....	24
EKLER	
EK.1 Eğitim Verisinden Kural Çıkarım Algoritması.....	29
ÖZGEÇMİŞ.....	31

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 Kızılırmak havzasında yer alan Yamula gözlem istasyonu (EİEİ, 2009).....	11
Şekil 4.2 Sıcaklık, pH ve bor konsantrasyonu için bulanık kümeleme.....	12
Şekil 4.3 Sıcaklık, klorür ve toplam tuz konsantrasyonu için bulanık kümeleme sonucu.....	13
Şekil 4.4 Sıcaklık, sülfat ve sodyum adsorbsiyon oranı için bulanık kümeleme sonucu.....	13
Şekil 4.5 pH, klorür ve değişebilir sodyum yüzdesi için bulanık kümeleme sonucu.....	14
Şekil 4.6 pH, klorür ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) için bulanık kümeleme sonucu.....	14
Şekil 4.7 Sıcaklık parametresi için kutu grafiği.....	15
Şekil 4.8 pH parametresi için kutu grafiği.....	15
Şekil 4.9 Elektriksel iletkenlik parametresi için kutu grafiği.....	15
Şekil 4.10 Klorür parametresi için kutu grafiği.....	16
Şekil 4.11 Sülfat parametresi için kutu grafiği.....	16
Şekil 4.12 Değişebilir Sodyum yüzdesi parametresi için kutu grafiği.....	16
Şekil 4.13 Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) parametresi için kutu grafiği.....	17
Şekil 4.14 Toplam tuz konsantrasyonu parametresi için kutu grafiği.....	17
Şekil 4.15 Bor konsantrasyonu parametresi için kutu grafiği.....	17
Şekil 4.16 Küme 1' e ait üyelik fonksiyonu.....	18
Şekil 4.17 Küme 2' ye ait üyelik fonksiyonu.....	18
Şekil 4.18 Küme 3' e ait üyelik fonksiyonu.....	18
Şekil 4.19 Küme 4' e ait üyelik fonksiyonu.....	18
Şekil 4.20 Küme 5' e ait üyelik fonksiyonu.....	18
Şekil 4.21 pH parametresi için üyelik fonksiyonları.....	19
Şekil 4.22 Sıcaklık parametresi için üyelik fonksiyonları.....	19
Şekil 4.23 Elektriksel iletkenlik parametresi için üyelik fonksiyonları.....	19
Şekil 4.24 Klorür parametresi için üyelik fonksiyonları.....	19
Şekil 4.25 Sülfat parametresi için üyelik fonksiyonları.....	20
Şekil 4.26 Değişebilir sodyum yüzdesi parametresi için üyelik fonksiyonları.....	20
Şekil 4.27 Sodyum adsorbsiyon oranı parametresi için üyelik fonksiyonları.....	20
Şekil 4.28 Bor konsantrasyonu parametresi için üyelik fonksiyonları.....	20
Şekil 4.29 Toplam tuz konsantrasyonu için üyelik fonksiyonu.....	21
Şekil 4.30 Bulanık sistemin çıktısına ait üyelik fonksiyonları.....	21
Şekil 4.31 1. çok iyi, 2. iyi, 3. orta, 4. kötü ve 5. çok kötü olmak üzere bulanık sistemin test aşamasına ait dağılım diyagramı.....	21

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan kalite parametreleri (Anonim, 1991).....	4
---	---



## SİMGELER DİZİNİ

A	$\tilde{x}$ için bulanık alt küme
B	$\tilde{y}$ için bulanık alt küme
c	Küme sayısı
Ca <sup>+2</sup>	Kalsiyum, meq/L
Cl <sup>-</sup>	Klorür, meq/L
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Karbonat, meq/L
$c_j$	j. kümenin merkezi
$d_{ij}$	i. veri vektörü ( $x_i$ ) ile j. kümenin merkezi ( $c_j$ ) arasındaki öklid mesafesi
ha	Hektar
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat, meq/L
K <sup>+2</sup>	Potasyum, meq/L
m	Bulanıklık indeksi
mg/L	miligram/Litre
meq/L	milieşdeğer gram/Litre
mm	milimetre
m <sup>3</sup> /sn	metreküp/saniye
Mg <sup>+2</sup>	Magnezyum, meq/L
n	Veri vektörü sayısı
Na <sup>+</sup>	Sodyum, meq/L
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat, mg/L
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amonyum, mg/L
pH	Hidrojen iyonu konsantrasyonu
$\tilde{R}_b$	Bulanık kural tabanı
$\tilde{R}$	Bulanık bir kural
$\tilde{R}_{i(x,y)}$	Değişkenler arasındaki ilişki
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Sülfat, meq/L
$U$	Üyelik matrisi
$u_{ij}$	i. veriye ait üyelik derecesi
$\tilde{x}$	Sözel değişken
$\tilde{y}$	Sözel değişken
$y'$	Bulanık sisteme ait çıktının kesin değeri
$\tilde{\mu}$	Üçgen üyelik fonksiyonu
$\tilde{\mu}_y$	Çıktıya ait üyelik fonksiyonu
$\mu_A(x)$	A alt kümesinin üyelik fonksiyonu
$\tilde{\mu}_{i(x,y)}$	Değişkenler arasındaki üyelik fonksiyonu
°C	Santigrad derece

## KISALTMALAR DİZİNİ

ÇDR	Çevresel Durum Raporu
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Örgütü)
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
PC	Partition Coefficient (Bölünme Katsayısı)
RSC	Residual Sodium Carbonate (Sodyum Karbonat Kalıntısı)
SAFE	Strategic Assesment of Florida' s Environmental (Florida' nın Çevre Stratejik Değerlendirmesi)
SAR	Sodium Adsorption Rate (Sodyum Adsorbsiyon Oranı)
WEP	Water and Environmental Programs (Su ve Çevre Programları)

## 1. GİRİŞ

Yüzey sularının amacına uygun ve güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi su kalitesinin belirlenmesini gerektirir. Su kalitesinin tayini, klasik olarak, suyun kullanım alanına göre fiziko-kimyasal veya biyolojik faktörler dikkate alınarak ulusal veya uluslararası standartlar çerçevesinde (EPA, 1994; SAFE, 1995; WEP, 1996; Anonim, 2004) sınıflandırılmasına dayanır. Örneğin, sulama amacıyla kullanılacak suyun, toplam tuz konsantrasyonu, sodyum adsorbsiyon oranı, klor yüzdesi, sıcaklık gibi fiziko-kimyasal parametrelere göre sınıflandırılması suyun bitki ve toprak üzerindeki olası zararlı/zararsız etkilerini ortaya koyar. Ancak, bu klasik sınıflandırma yönteminin, çok sayıda değişkenin birlikte değerlendirilmesi nedeniyle karar verme aşamasında yarattığı belirsizlikler (Cude, 2001; Dahiya vd., 2007; Ramesh vd., 2010; Córdoba vd., 2010) bu alanda yeni yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bulanık mantık (Zadeh, 1997; Zadeh, 1999) bu tür belirsizliklerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yapay zekâ tekniği olup son yıllarda su kalitesinin bulanık sistemlerle sınıflandırılması (Duque vd., 2006; Içaga, 2007; Lermontov vd., 2009), su kalitesi gözlemlerinin (bulanık) kümelemesi (Chang vd., 2001; Wu vd., 2009; Liu vd., 2010) ve su kalitesi yönetimi (Lee ve Wen, 1997; Karmakar ve Mujumdar, 2007; Qin vd., 2007; Rehana ve Mujumdar, 2009) gibi alanlarda değişik biçimlerde kullanılmıştır.

Bulanıklığın, genel olarak kesinlik içermeyen bilgiyi başka bir deyişle belirsizliği ifade ettiği söylenebilir. Bulanık mantık ise, sözel (linguistik) değişkenler kullanarak kesinlikler yerine belirsizliklerle çalışan bir yapay zekâ tekniği olarak tanımlanabilir. Bulanık mantığın klasik matematiksel yöntemlerden farkı, kesinliklerle çalışılmaması ve niteliksel tanımlamalara olanak sağlamasıdır. Belirsizliklerin matematiksel olarak ifade edilebilmesi, karmaşık sistemlerin modellenmesine bulanık mantığın getirdiği en büyük kolaylık olarak değerlendirilebilir (Balas vd., 2004). Bulanıklaştırma, bulanık kural tabanı ve durulaştırma, bulanık sistemler yardımıyla modellemenin genel aşamalarını oluşturmaktadır. Bulanık sistemler, sözel değişkenler yardımıyla oluşturulan bulanık kural tabanı ile belirsizlikleri (doğal dili) işleyen sistemler olup klasik modelleme yöntemlerinde kullanılmayan deneyime ve sezgiye dayanan uzman bilgisinden yararlanılmasını amaçlamaktadır. Ancak, bulanık kural tabanının yalnızca uzman bilgisine dayalı olarak oluşturulmasının getirdiği zorluklar (Lin ve Lee, 1991; Iyatomi ve

Hagiwara, 2004) bulanık sistem uygulamalarında karşılaşılan temel sorunlardan biridir. Bu nedenle, bulanık sistemlerin veriye dayalı tekniklerle birlikteliği (Lin ve Lee, 1991; Ishubichi vd., 1995; Linkens ve Chen, 1999; Mitra ve Hayashi, 2000; Rojas vd., 2000; Kasabov ve Song, 2002; Angelov ve Filev, 2004; Er ve Zhou, 2008; Dimitriou vd., 2008; Sánchez vd., 2009; Berlanga vd., 2010) uygulamada önemli yararlar sağlar ve bu tekniklere örnek olarak bulanık kümeleme algoritmaları verilebilir (Pouzols ve Barros, 2010). Bulanık kümeleme, bir nesnenin birden fazla kümeye belli bir üyelik derecesi ile ait olabilmesi olarak tanımlanabilir. Bu tip bir kümeleme, klasik kümeleme yöntemlerinin aksine, küme üyeliklerindeki belirsizliği (karasızlığı) ele aldığından daha gerçekçi kümeleme biçimlerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Goktepe vd., 2005; Salski, 2007; Lucieer ve Lucieer, 2009; Budayan vd., 2009). Bulanık kümeleme algoritmaları içinde en yaygın kullanılan algoritmalarından biri bulanık c-ortalamlar (fuzzy c-means) algoritmasıdır (Bezdek, 1980).

Bu çalışmada, Kızılırmak nehri üzerinde bulunan Yamula gözlem istasyonuna (Kızılırmak havzası) ait veriler kullanılarak sulama suyu kalitesinin sınıflandırılması için kümelemeye dayalı bulanık sistem geliştirilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasını su kalitesi gözlem verilerinin bulanık c-ortalamlar algoritması ile kümelemesi oluştururken bulanık kural tabanının kümelemiş veriler yardımıyla çıkarımı ikinci aşamayı oluşturmuştur; üçüncü aşama ise bulanık sınıflandırma sisteminin kurulmasından oluşmuştur. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak ileriki bölümlerde verilmiş olup çalışma, su kalitesi sınıflandırma problemlerinin çözümünde geniş bir uygulama potansiyeli bulunan klasik bulanık sistemlerin yeni bir yaklaşımla geliştirilmesini ve bu yolla sınıflandırma problemlerinin daha etkin ve güvenilir çözümüne katkıda bulunmayı da hedeflemiştir.

Bu tez kapsamında, sulama suyu kalitesi ile ilgili temel bilgiler ikinci bölümde verilmiş; söz konusu bulanık mantık teknikleri üçüncü bölümde özetlenmiştir; dördüncü bölümü kümelemeye dayalı bulanık sistemin geliştirilmesi oluşturmuştur; elde edilen sonuç ve öneriler ise beşinci bölümde ortaya konmuştur.

## 2. SULAMA SUYU KALİTESİ

Bitki gelişimi için gerekli olan suların toprağa verilmesi olayına sulama denir. Sulamada kullanılan suların sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerin toprak kalitesine ve bitki gelişimine zarar vermeyecek seviyelerde olması gerekir (FAO, 1985; Oster, 1994; Fipps, 1994; Minhas vd., 1998; Solís vd., 2006; Bauder vd., 2007). Bu durum sulamada kullanılacak suların (yüzey ve yüzeyaltı) kalitesinin belirlenmesini gerektirir ve sulama suyunun kalitesi, genel olarak, toplam tuz konsantrasyonu, sodyum adsorbsiyon oranı, klor yüzdesi, toksik iyonlar, sulama suyunun sıcaklığı ve pH gibi fiziko-kimyasal parametreler esas alınarak (Savcı, 1999) ulusal ve uluslararası yönetmeliklere göre saptanır (EPA, 1994; SAFE, 1995; WEP, 1996; Anonim, 2004). Türkiye’de sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan kalite parametreleri Çizelge 2.1’ de (Anonim, 1991) verilmiş olup bu parametreler aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

### a) Toplam tuz konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik

Tuzlar bitki tarafından kolaylıkla alınabilmekte ve bitki bünyesine giren tuz bileşikleri, belirli bir konsantrasyonu aştıkları zaman bitkiye toksik etki yapmaktadırlar (Savcı, 1999). Bu nedenle tuzların bitki kök bölgesinde birikmesiyle bitkilerin gelişmesi, verimi ve ürün kalitesi azalmaktadır. Toplam tuz konsantrasyonu, elektriksel iletkenlik değerinin 0,64 değeri ile çarpılmasıyla bulunmaktadır.

### b) Sodyum adsorbsiyon oranı

Sodyum adsorbsiyon oranının (SAR) belli bir değeri aşması halinde toprağın yapısı bozularak geçirgenliği azalır. SAR değeri, sulama suyunda bulunan  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  kanyonları (meq/L) dikkate alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanır (Savcı, 1999):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{+2} + Mg^{+2}} / 2} \quad [2.1]$$

Çizelge 2.1 Sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan kalite parametreleri (Anonim, 1991)

Kalite parametreleri	Sulama suyu sınıfı				
	I. Sınıf su (Çok iyi)	II. Sınıf su (İyi)	III. Sınıf su (Kullanılabilir)	IV. Sınıf su (İhtiyatla kullanılmalı)	V. Sınıf su (Zararlı, uygun değil)
Elektriksel iletkenlik (µS/cm)	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000
Değişebilir sodyum (Na) yüzdesi	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80
Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)	< 10	10-18	18-26	> 26	-
Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) (meq/L)	> 1,25	1,25-2,5	> 2,5	-	-
(mg/L)	< 66	66-133	> 133	-	-
Klorür (Cl <sup>-</sup> ) (meq/L)	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
(mg/L)	0-142	142-249	249-426	426-710	> 710
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (meq/L)	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
(mg/L)	0-192	192-336	336-575	575-960	> 960
Toplam tuz konsantrasyonu (mg/L)	0-175	175-525	525-1400	1400-2100	> 2100
Bor konsantrasyonu (mg/L)	0-0,5	0,5-1,12	1,12-2,0	> 2,0	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> veya NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50
Fekal koliform (1/100 mL)	0-2	2-20	20-100	100-1000	> 1000
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9	6 > veya > 9
Sıcaklık (°C)	<30	30	35	40	>40

#### c) NO<sub>3</sub><sup>-</sup> veya NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Bileşikleri

Azotun nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) veya amonyum (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) bileşikleri, bitki büyümesi için besin niteliğindedir. Ancak, bu bileşiklerin yüksek konsantrasyonlarında bitkinin gelişimi olumsuz etkilenebilir (FAO, 1985).

#### d) Klorür (Cl<sup>-</sup>) ve Sülfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Klorürlü sular sulamada kullanıldığı zaman bitki yapraklarında birikerek yaprakların yapısını bozmaktadır. Sülfat ise bütün doğal sularda bulunur ve başlıca kaynağı jips (CaSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O) ve anhidrit (CaSO<sub>4</sub>) bileşikleridir. Yüksek konsantrasyonlarda sülfat iyonu bitkilere toksik etki yapar (Savcı, 1999).

#### e) Değişebilir sodyum yüzdesi

Değişebilir sodyum (Na) yüzdesi %50' den yüksek olduğunda, toprağın fiziksel özellikleri kötüleşebilmekte ve bitki gelişimi olumsuz yönde etkilenmektedir. Değişebilir sodyum yüzdesinin değeri,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  ve  $\text{K}^+$  kanyonları (meq/L) dikkate alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanır (Savcı, 1999):

$$\text{Na} = \frac{\text{Na}^+ \times 100}{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ + \text{Na}^+} \quad [2.2]$$

#### f) pH değeri

pH değeri 7' den küçük sulara asitli sular; 7' den büyük olan sulara ise alkali sular denir. pH değeri, bitkilerin en iyi şekilde yetişebilmeleri için 6,6-7,3 arasında olması gerekir (Savcı, 1999).

#### g) Su sıcaklığı

Sulama sularının sıcaklık derecesi bitkilerin yetişmesinde önemli bir faktör olup sulama suyu sıcaklığının  $20^\circ\text{C}$  -  $25^\circ\text{C}$  arasında olması istenir (Savcı, 1999).

#### h) Sodyum karbonat kalıntısı

Sodyum karbonat kalıntısı (RSC) değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır ve suyun RSC değerinin 2,5' ten büyük olması durumunda sulamada kullanılması uygun değildir (Shainberg ve Oster, 2000).

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) \quad [2.3]$$

#### ı) Fekal koliform

Suyun bakteriyolojik açıdan insan veya sıcakkanlı hayvanların idrar, dışkı ve kalıntılarının miktarını tanımlayan parametredir. Bu miktarın yüksek seviyelerde olmaması istenir.

### 3. BULANIK MANTIK SİSTEMLERİ VE BULANIK C-ORTALAMALAR YÖNTEMİ

#### 3.1 Bulanık Mantık Sistemleri

Bulanık mantık sistemleri, bir sistemi bulanık kural veya kurallar yardımıyla modelleyen sistemlerdir. Bulanık kurallar, sistemin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiyi sözel değişkenlere bağlı olarak ve eğer-ise şeklinde ortaya koyan ifadelerdir. Bulanık bir kural ( $\tilde{R}$ ),  $\tilde{x}$ : sözel değişken,  $\tilde{y}$ : sözel değişken, A:  $\tilde{x}$  için bulanık alt küme, B:  $\tilde{y}$  için bulanık alt küme olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\tilde{R}: \text{EĞER } \tilde{x} \text{ A İSE } \tilde{y} \text{ B dir.} \quad [3.1]$$

Bulanık sistemler, bulanıklaştırma, bulanık kural tabanı, bulanık genelleme ve durulaştırma aşamalarından oluşan bulanık algoritmalar kapsamında oluşturulurlar.

#### 3.1.1 Bulanıklaştırma

Bulanık sistemlerde, sözel değişkenlerin tipik değerleri bulanık alt kümelerle temsil edilir ve her alt küme bir üyelik fonksiyonu ile tarif edilir. Örneğin, evrensel bir X kümesinin A bulanık alt kümesine aitliği üyelik fonksiyonu  $\tilde{\mu}_A(x)$  aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\tilde{\mu}_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad [3.2]$$

Üyelik fonksiyonları olarak genellikle üçgen ve trapez fonksiyonlar (Ross, 1995) kullanılmakta olup üçgen üyelik fonksiyonu ( $\tilde{\mu}$ ),  $\tilde{\alpha}$ ,  $\tilde{\beta}$  ve  $\tilde{\gamma}$  parametrelerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$\tilde{\mu}(x; \tilde{\alpha}, \tilde{\beta}, \tilde{\gamma}) = 0 \quad x > \tilde{\gamma}, x < \tilde{\alpha} \quad [3.3]$$

$$\tilde{\mu}(x; \tilde{\alpha}, \tilde{\beta}, \tilde{\gamma}) = \frac{(x - \tilde{\alpha})}{(\tilde{\beta} - \tilde{\alpha})} \quad \tilde{\alpha} \leq x \leq \tilde{\beta} \quad [3.4]$$



$$\tilde{\mu}(x; \tilde{\alpha}, \tilde{\beta}, \tilde{\gamma}) = \frac{(\tilde{\gamma} - x)}{(\tilde{\gamma} - \tilde{\beta})} \quad \tilde{\beta} \leq x \leq \tilde{\gamma} \quad [3.5]$$

### 3.1.2 Bulanık Kural Tabanı ve Bulanık Genelleme

Bulanık bir sistem çoğunlukla birçok kuralı içeren bir kural tabanına sahiptir ve her biri ayrı bir bulanık ilişkiyi temsil eden kurallar  $x \in X \subset \mathfrak{R}$ ,  $y \in Y \subset \mathfrak{R}$ ,  $A_i \in A$ ,  $B_i \in B$ ,  $\tilde{\mu}_{A_i}(x): X \rightarrow [0,1]$  ve  $\tilde{\mu}_{B_i}(y): Y \rightarrow [0,1]$  koşullarında ve  $X, Y, A$  ve  $B$  evrensel kümeler olmak üzere aşağıdaki şekilde yeniden tanımlanabilir:

$$\tilde{R}_i: \text{Eğer } \tilde{x} \text{ } A_i \text{ ise } \tilde{y} \text{ } B_i \text{ dir.} \quad i = 1, 2, 3, \dots, K \quad [3.6]$$

Sistem içinde yer alan bulanık kuralların tümü ise bulanık kural tabanını ( $\tilde{R}_b$ ) meydana getirir:

$$\tilde{R}_b = \{ \tilde{R}_i \mid i = 1, 2, 3, \dots, K \} \quad [3.7]$$

Kural tabanı içinde yer alan herhangi bir kural için, değişkenler arasındaki bulanık ilişki  $\tilde{R}_i(x, y)$  analitik olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\tilde{R}_i(x, y) = \int_{(x,y)} \tilde{\mu}_{R_i}(x, y) / (x, y) \quad [3.8]$$

Burada,  $\tilde{\mu}_{R_i}(x, y)$ : sözel değişkenler arasındaki bulanık ilişkinin üyelik fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

Bulanık ilişkinin üyelik fonksiyonunun hesaplanmasında değişik bulanık ilişki operatörlerinden yararlanılır. Bunlara örnek olarak Mamdani bulanık ilişki operatörü (Ross, 1995) verilebilir:

$$\tilde{\mu}_{R_i}(x, y) = \tilde{\mu}_{A_i}(x) \wedge \tilde{\mu}_{B_i}(y) \quad [3.9]$$

Bulanık genelleme, kural tabanında yer alan her kurala ait bulanık kümelerden yararlanılarak sisteme ait bulanık ilişkinin genelleştirilmesidir ve  $\tilde{R}_i$ : genelleştirilmiş bulanık ilişki olmak üzere aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\tilde{R} = \bigvee_{i=1}^K \tilde{R}_i \quad [3.10]$$

### 3.1.3 Durulaştırma

Bulanık genelleme yoluyla elde edilen bulanık alt kümeler, uygulamalarda çoğunlukla durulaştırma yoluyla kesin değerlere dönüştürülür. Durulaştırma amacıyla kullanılan yöntemlere örnek olarak ağırlık merkezi yöntemi verilebilir (Ross, 1995):

$$y' = \frac{\int \tilde{\mu}_y(y) y dy}{\int \tilde{\mu}_y(y) dy} \quad [3.11]$$

Burada,  $y'$ : bulanık sisteme ait çıktının kesin değeri ve  $\tilde{\mu}_y$ : çıktıya ait üyelik fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

### 3.2. Bulanık c-ortalamalar Yöntemi

Bulanık c-ortalamalar yöntemi, verilerin birden fazla kümeye belirli bir üyelik derecesi ile ait olmasına olanak sağlar ve esas olarak aşağıda verilen amaç fonksiyonun minimize edilmesine dayanır (Bezdek, 1980; Salski, 2007):

$$J(U, c) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c u_{ij}^m d_{ij}^2 \quad [3.12]$$

Burada,  $d_{ij}^2$ : i. veri vektörü ( $x_i$ ) ile j. kümenin merkezi ( $c_j$ ) arasındaki öklid mesafesi,  $n$ : veri vektörünün sayısı,  $c$ : küme sayısı ( $c \in N$  ve  $2 \leq c \leq n$ ),  $m$ : bulanıklık indeksi ( $m \geq 1$ ) ve  $u_{ij}$ : i. veriye ait üyelik derecesi olup (3.13–14) nolu eşitlikler yardımıyla ve aşağıda verilen koşullar (3.15–17) altında hesaplanır:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{2/(m-1)}} \quad [3.13]$$

$$c_k = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad [3.14]$$

$$u_{ij} \in [0,1] \quad 1 \leq i \leq n \text{ ve } 1 \leq j \leq c \quad [3.15]$$

$$\sum_{j=1}^c u_{ij} = 1 \quad 1 \leq i \leq n \quad [3.16]$$

$$\sum_{i=1}^n u_{ij} > 0 \quad 1 \leq j \leq c \quad [3.17]$$

Ayrıca, uygun küme sayısının önsel (a priori) olarak belirlenemediği durumlarda en uygun küme sayısı değişik geçерleme (validation) indeksleri ile belirlenebilir. Bunlara örnek olarak partisyon katsayısı (partition coefficient) verilebilir (Ross, 1995) ve partisyon katsayısının (PC) bire yakın değerler alması seçilen küme sayısının uygun olduğunu gösterir.

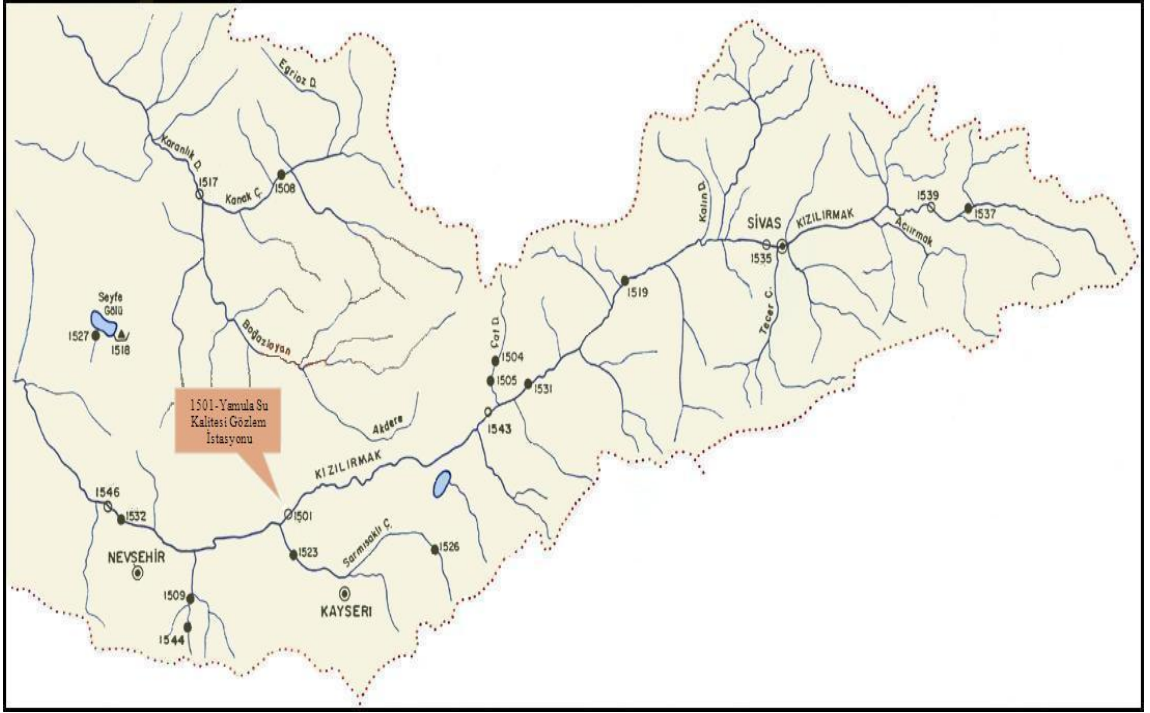
$$PC = \frac{tr(\mathbf{U}\mathbf{U}^T)}{n} \quad [3.18]$$

Burada,  $\mathbf{U}$  üyelik matrisi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$\mathbf{U} = [u_{11} \dots u_{1i} \dots u_{1j}] \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, c \quad [3.19]$$

#### **4. BULANIK C-ORTALAMALAR VE BULANIK SİSTEM İLE SULAMA SUYU KALİTESİNİN SINIFLANDIRILMASI**

Bu çalışmada, bulanık c-ortalamar ve bulanık sistem tekniklerinin birlikte ve Yamula gözlem istasyonuna ait verilerin taban alınarak kullanılmasıyla sulama suyu kalitesinin sınıflandırılmasına yönelik kümelemeye dayalı bulanık bir sistem geliştirilmiştir. Yamula gözlem istasyonu, yıllık ortalama yağışı 439,1 mm olan Kızılırmak havzasının güneyinde Kızılırmak nehri üzerinde yer almaktadır (Şekil 4.1). Kızılırmak nehri, Fırat, Ceyhan ve Yeşilirmak nehirleriyle birlikte Sivas il sınırları içinde doğan ve bu il sınırları içinde en büyük akış uzunluğuna sahip akarsu olup yıllık ortalama  $39,42 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'lik debisiyle bölgenin en önemli su kaynağıdır (ÇDR, 2002). Sivas ili sınırları içinde yüzey suları ile ekonomik olarak sulanabilecek 109924 ha'lık tarım alanının (küçük sulamalar hariç) 20599 ha'lık bölümünde halen sulama yapılmakla birlikte mevcut ve devam eden inşaat, proje ve planlama çalışmalarıyla (ÇDR, 2002) bu miktarın sürekli artması beklenmektedir. Bu durum, söz konusu bölgede sulama suyu kalitesinin gözlenmesi yanında doğru ve güvenilir bir şekilde sınıflandırılmasını da önemli kılmaktadır. Ancak, klasik sınıflandırma yöntemlerinin taşıdığı belirsizlikler alternatif yaklaşımlarının geliştirilmesini gerektirmektedir. Çalışma, bu kapsamda, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından işletilen Yamula gözlem istasyonunda 1970-2008 yılları arasında gözlenen su kalitesi parametreleri (sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, klorür, sülfat, değişebilir sodyum yüzdesi, sodyum adsorbsiyon oranı, toplam tuz konsantrasyonu ve bor konsantrasyonu) kullanılarak aşağıda özetlenen üç aşamada gerçekleştirilmiştir: Su kalitesi verilerinin bulanık kümelenmesi, bulanık kural tabanının çıkarımı ve bulanık sistemin oluşturulması.

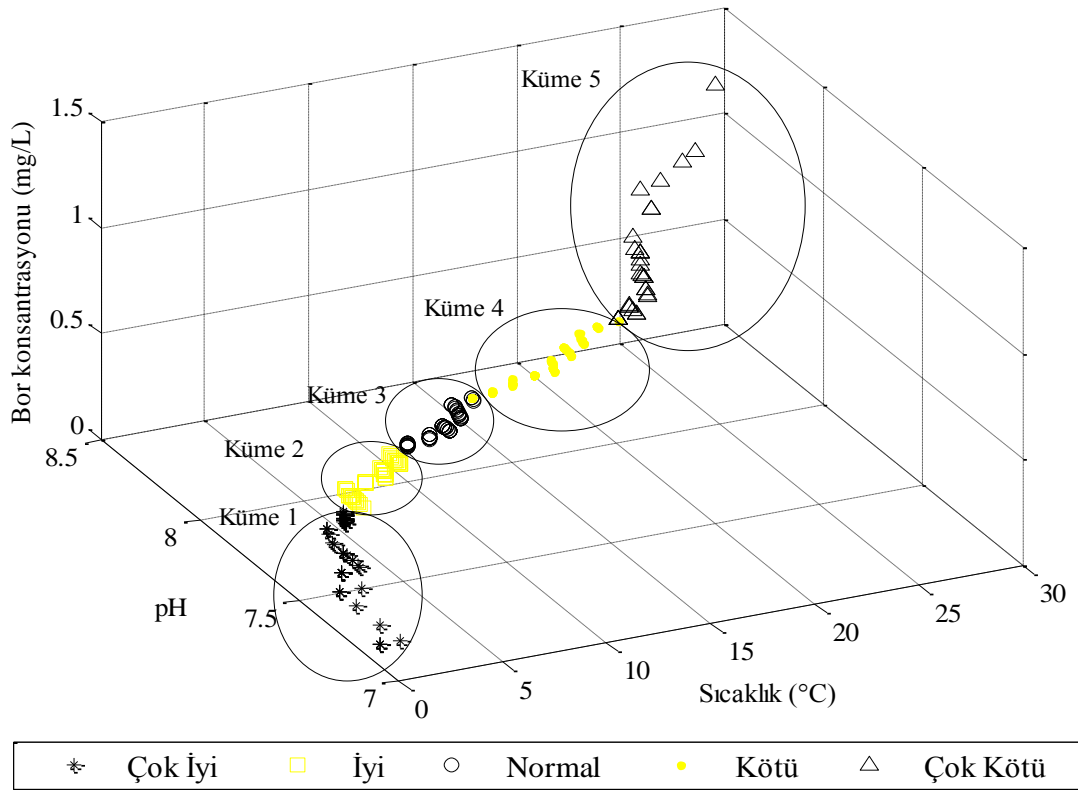


Şekil 4.1 Kızılırmak havzasında yer alan Yamula gözlem istasyonu (EİEİ, 2009)

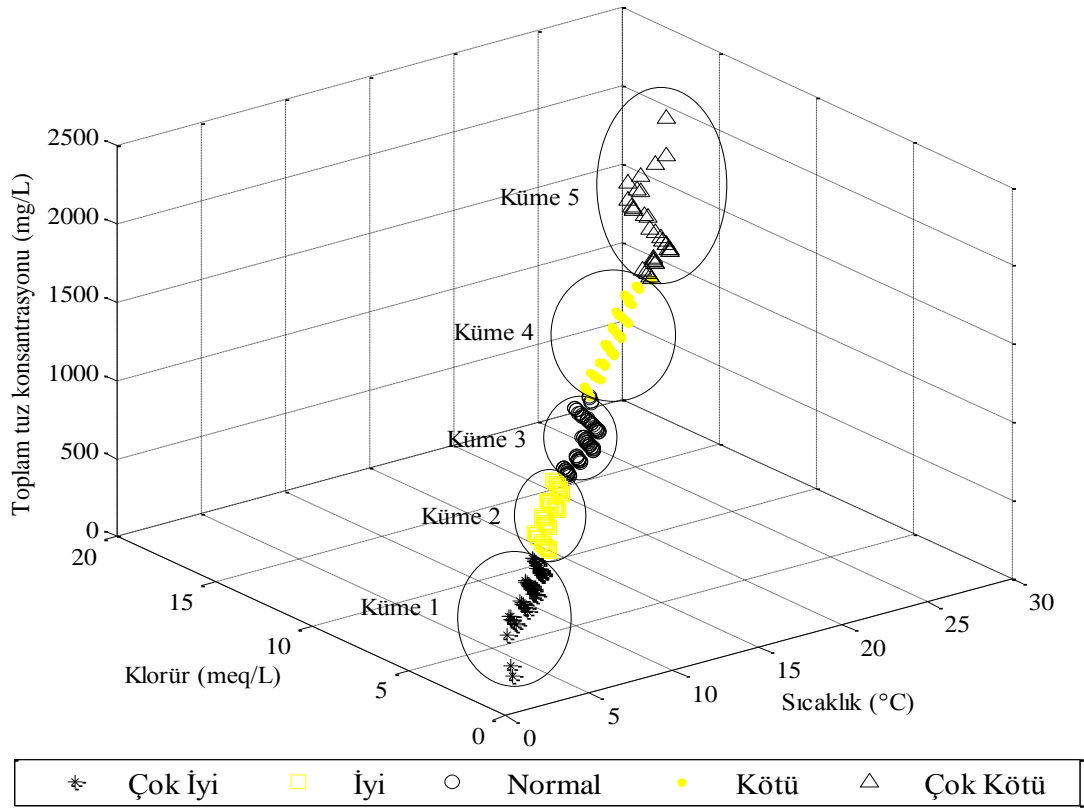
Bulanık kümeleme işlemi bulanık c-ortalamalar yöntemiyle toplam 319 veri vektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık küme sayısı beş olarak seçilmiş olup bu duruma karşılık gelen partiyon katsayısı 0,759 olarak hesaplanmıştır. Su kalitesi verilerinin kümelenmiş haline örnek olarak Şekil 4.2-6'da sıcaklık, pH, bor konsantrasyonu, klorür, toplam tuz konsantrasyonu, sülfat, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), değişebilir sodyum yüzdesi parametreleri arasındaki kümelenmeler verilmiştir. Ayrıca, her parametre için kümelenmiş verilerin dağılımı kutu grafikleri ile Şekil 4.7-15'de; kümelere ait üyelik fonksiyonları ise Şekil 4.16-20'de verilmiştir. Bulanık kural çıkarımı aşamasında toplam veri kümesi eğitime (% 50) ve test (% 50) olmak üzere iki kümeye ayrılmıştır. Küme 1 ile Küme 5 arasında kümelenmiş (Şekil 4.7-15) su kalitesi parametreleri “çok iyi”, “iyi”, “normal”, “kötü” ve “çok kötü” şeklinde sözel değişkenlerle tanımlanmış ve bunlara karşılık gelen bulanık sayılar (üyelik fonksiyonları) pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, klorür, sülfat, değişebilir sodyum yüzdesi, sodyum adsorbsiyon oranı, toplam tuz konsantrasyonu ve bor konsantrasyonu için sırasıyla Şekil 4.21-29'da verilmiştir. Bulanık kural tabanı, Chen ve Tsai (2008) tarafından önerilen (EK.1) veriye dayalı kural çıkarım algoritması ile eğitime ve test aşaması sonrasında aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

- Kural 1: Eğer klorür çok iyi ise su kalitesi I. sınıftır.  
 Kural 2: Eğer klorür iyi ise su kalitesi sınıfı II. sınıftır.  
 Kural 3: Eğer klorür normal ise su kalitesi sınıfı III. sınıftır.  
 Kural 4: Eğer klorür kötü ise su kalitesi sınıfı IV. sınıftır.  
 Kural 5: Eğer klorür çok kötü ise su kalitesi sınıfı V. sınıftır.

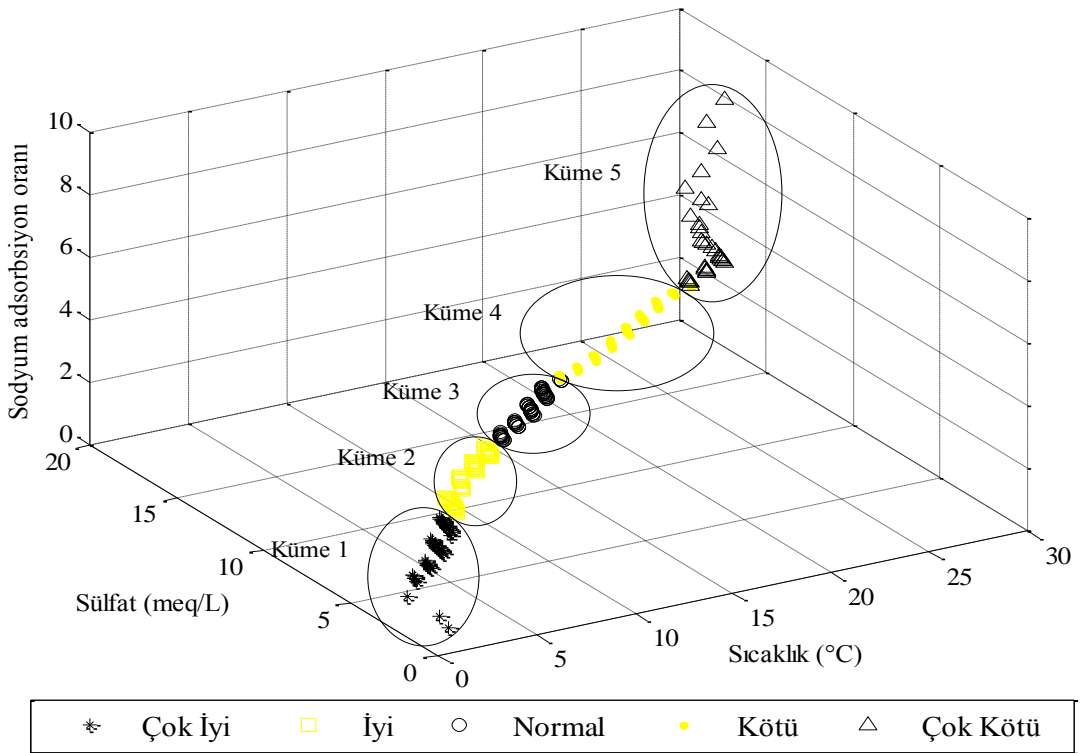
Bulanık sistem yukarıda verilen kural tabanı kullanılarak oluşturulmuş olup klorür için verilen sözel değişkenlere (Şekil 4.21-29) karşılık gelen çıktılar (sulama suyu kalitesi) “çok iyi”, “iyi”, “normal”, “kötü” ve “çok kötü” şeklinde tanımlanmıştır (Şekil 4.30). Bulanık çıkarım operatörü olarak Mamdani operatörü kullanılmış olup bulanık sistemin test aşamasına ait sonuç Şekil 4.31’de verilmiştir.



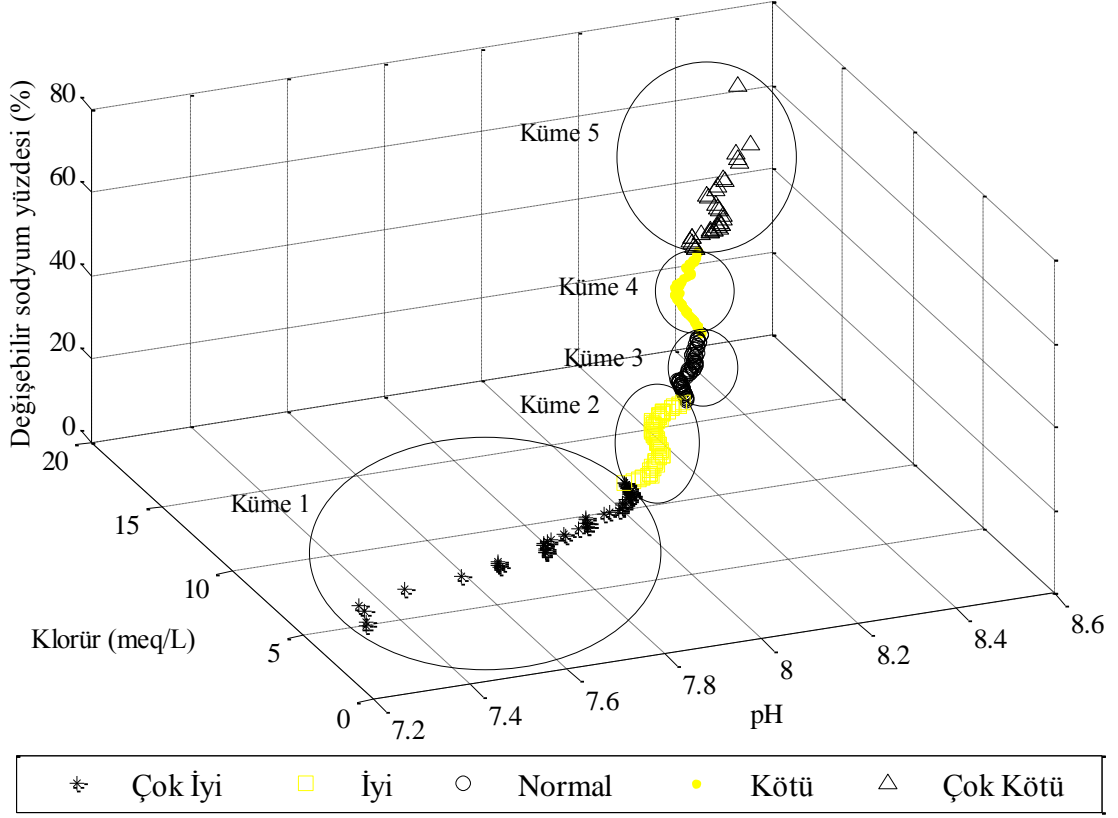
Şekil 4.2 Sıcaklık, pH ve bor konsantrasyonu için bulanık kümeleme sonucu



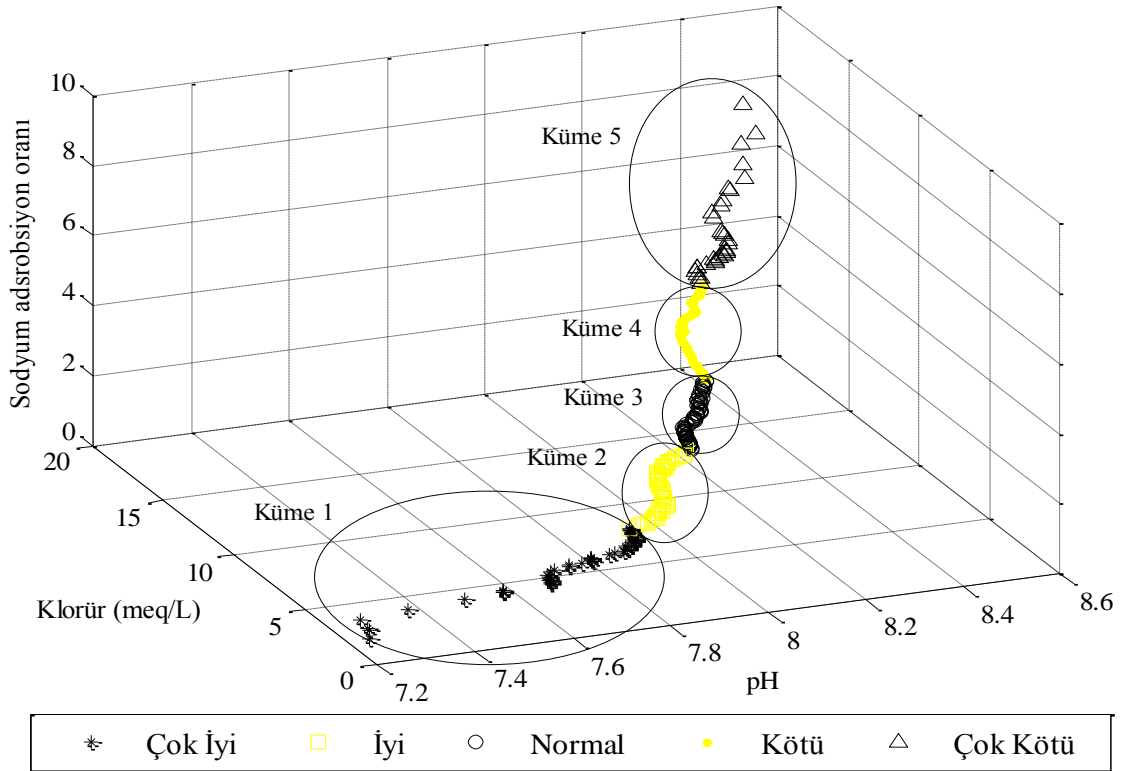
Şekil 4.3 Sıcaklık, klorür ve toplam tuz konsantrasyonu için bulanık kümeleme sonucu



Şekil 4.4 Sıcaklık, sülfat ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) için bulanık kümeleme sonucu

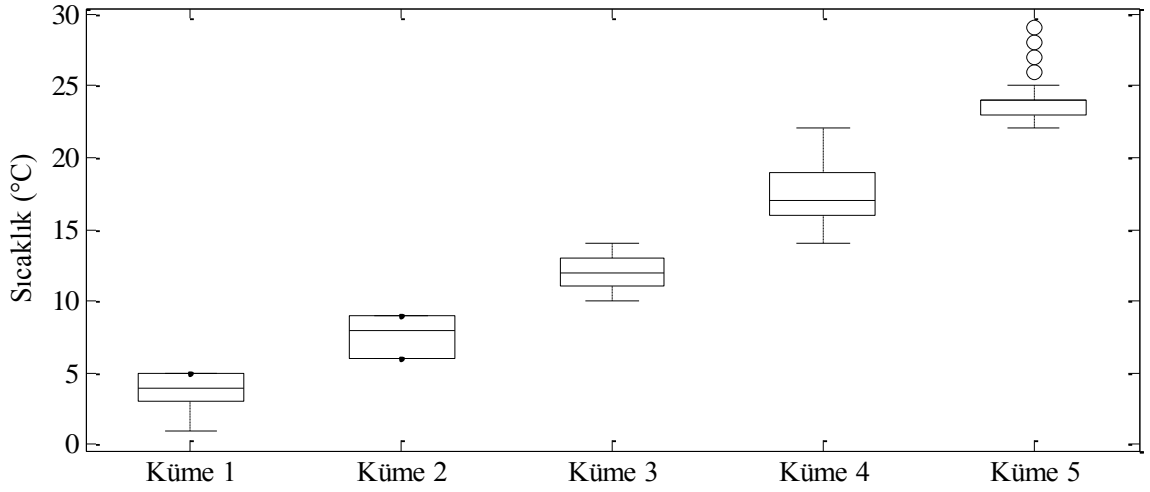


Şekil 4.5 pH, klorür ve değişebilir sodyum yüzdesi için bulanık kümeleme sonucu

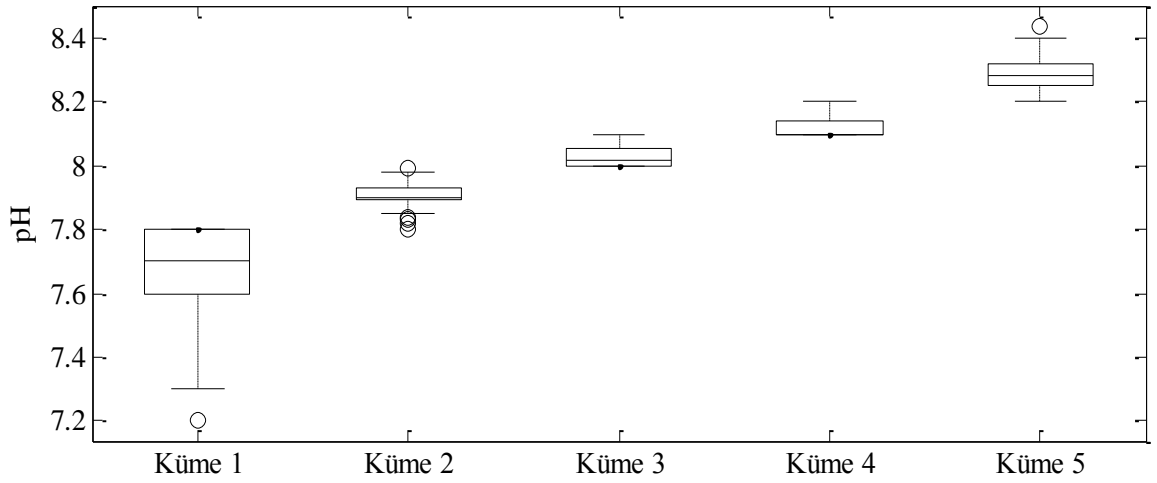


Şekil 4.6 pH, klorür ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) için bulanık kümeleme sonucu

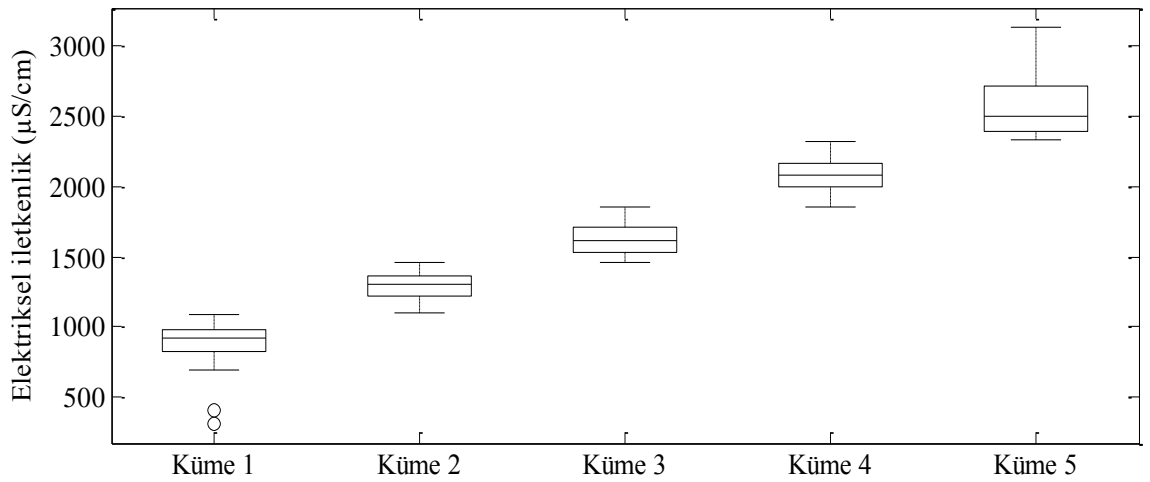




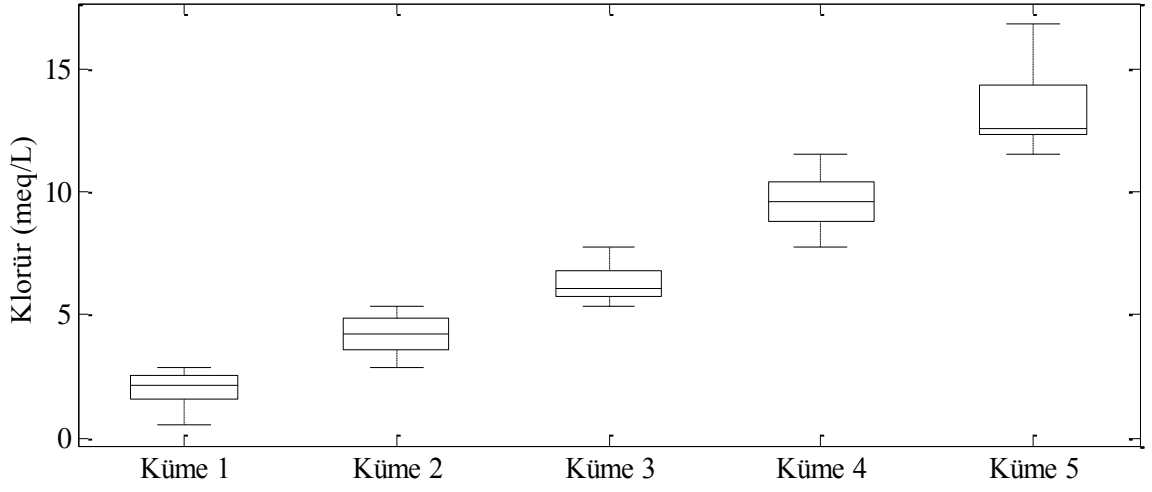
Şekil 4.7 Sıcaklık parametresi için kutu grafiği



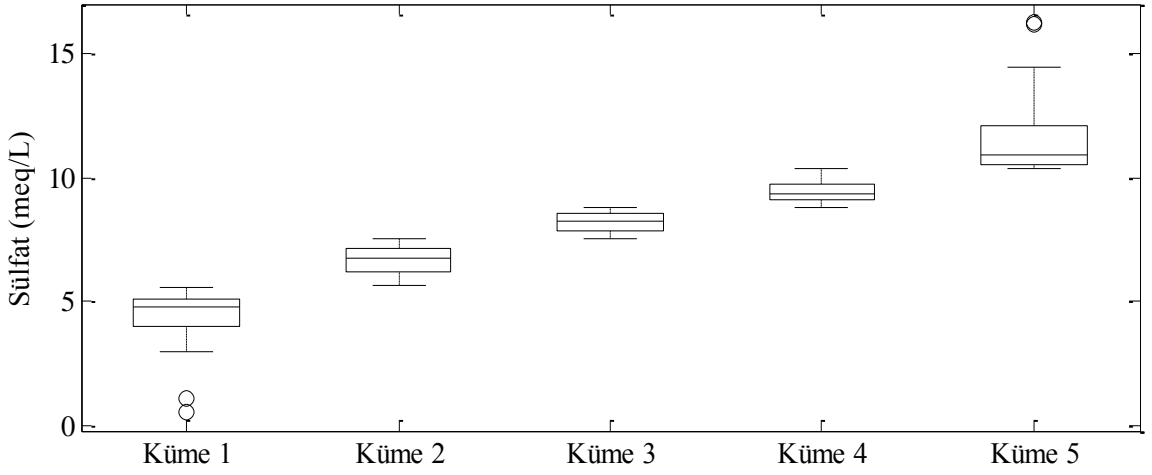
Şekil 4.8 pH parametresi için kutu grafiği



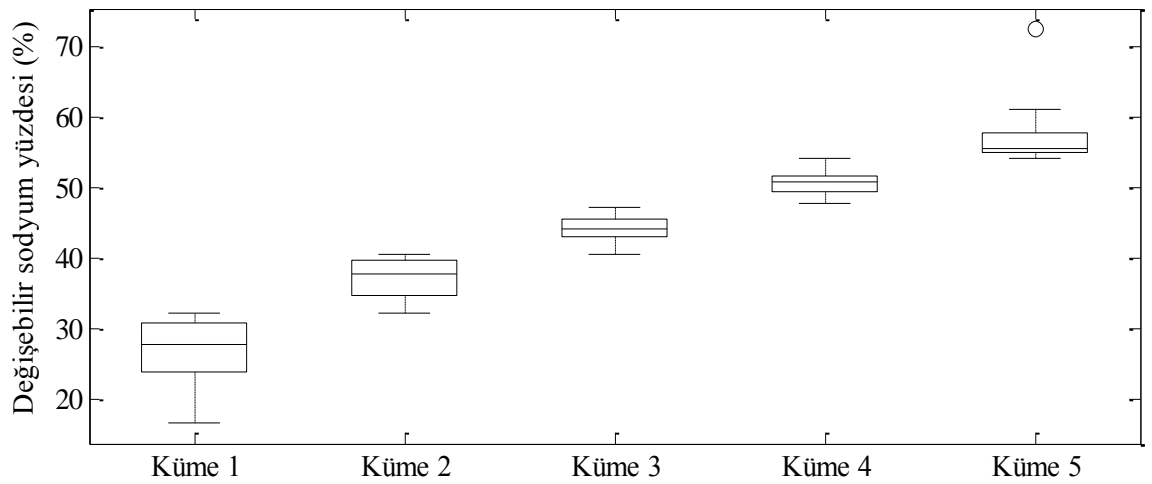
Şekil 4.9 Elektriksel iletkenlik parametresi için kutu grafiği



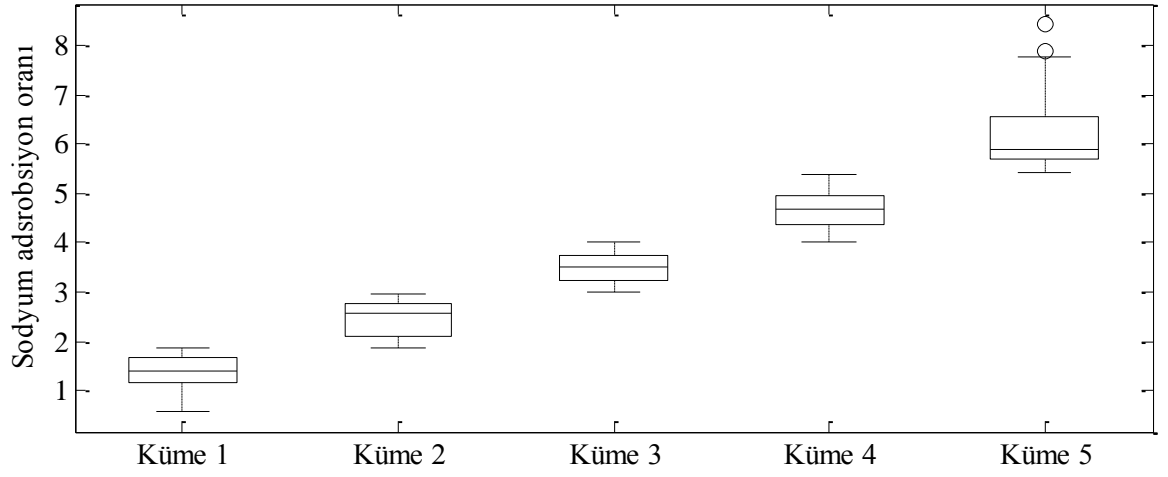
Şekil 4.10 Klorür parametresi için kutu grafiği



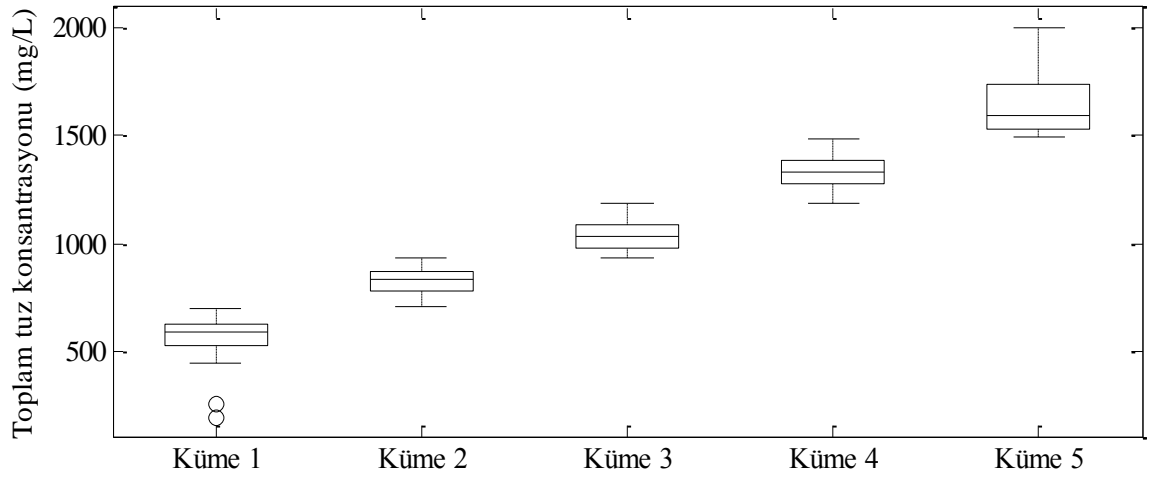
Şekil 4.11 Sülfat parametresi için kutu grafiği



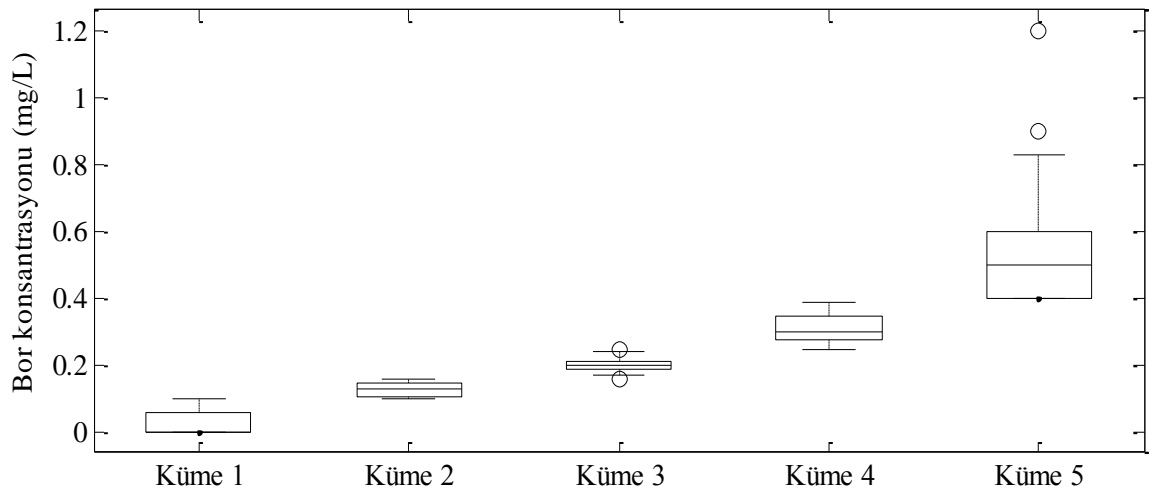
Şekil 4.12 Değişebilir sodyum yüzdesi parametresi için kutu grafiği



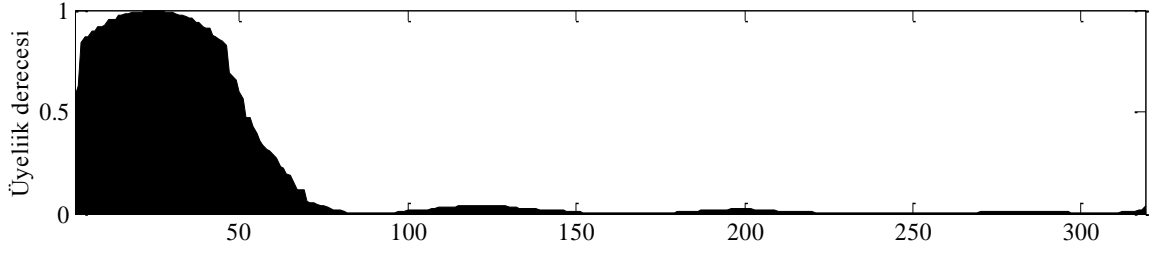
Şekil 4.13 Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) parametresi için kutu grafiği



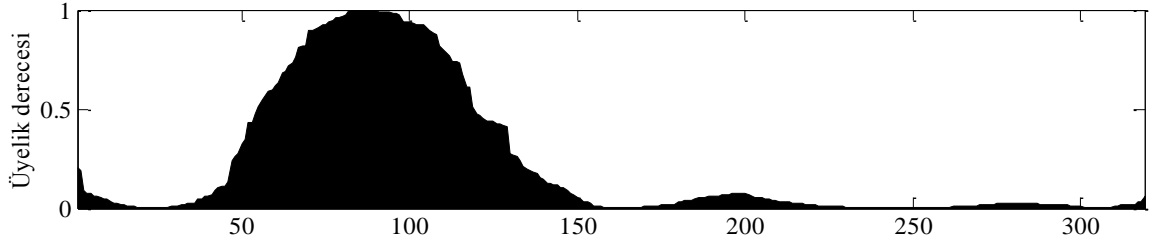
Şekil 4.14 Toplam tuz konsantrasyonu parametresi için kutu grafiği



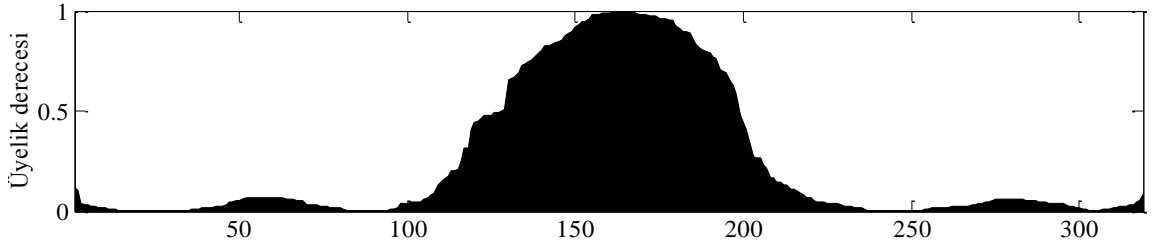
Şekil 4.15 Bor konsantrasyonu parametresi için kutu grafiği



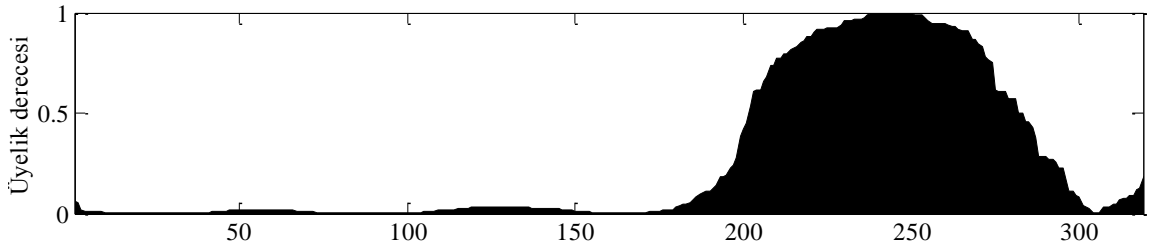
Şekil 4.16 Küme 1'e ait üyelik fonksiyonu



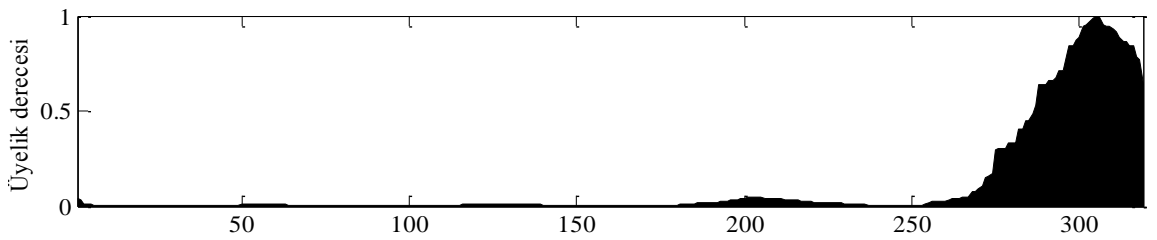
Şekil 4.17 Küme 2' ye ait üyelik fonksiyonu



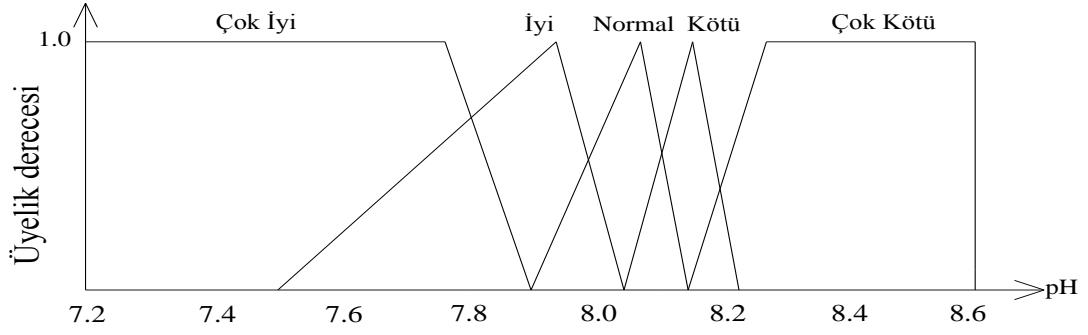
Şekil 4.18 Küme 3' e ait üyelik fonksiyonu



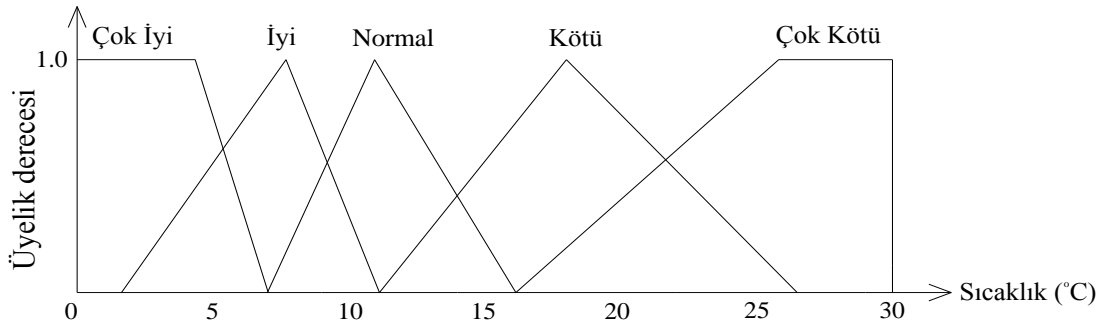
Şekil 4.19 Küme 4' e ait üyelik fonksiyonu



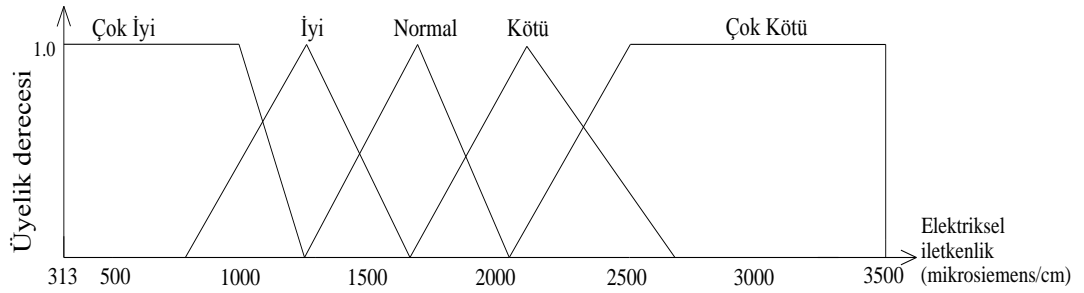
Şekil 4.20 Küme 5' e ait üyelik fonksiyonu



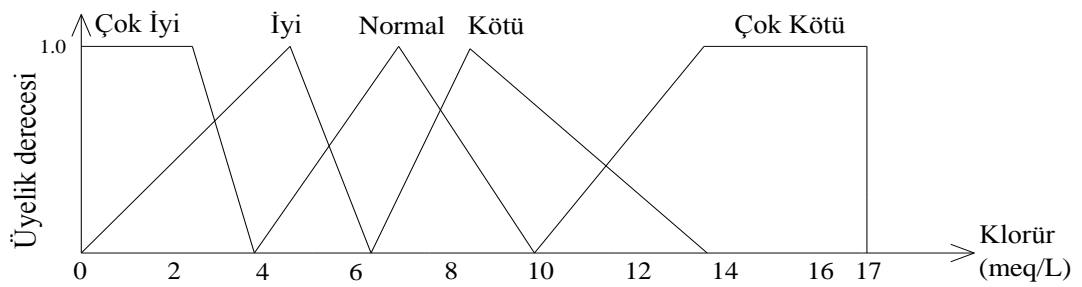
Şekil 4.21 pH parametresi için üyelik fonksiyonları



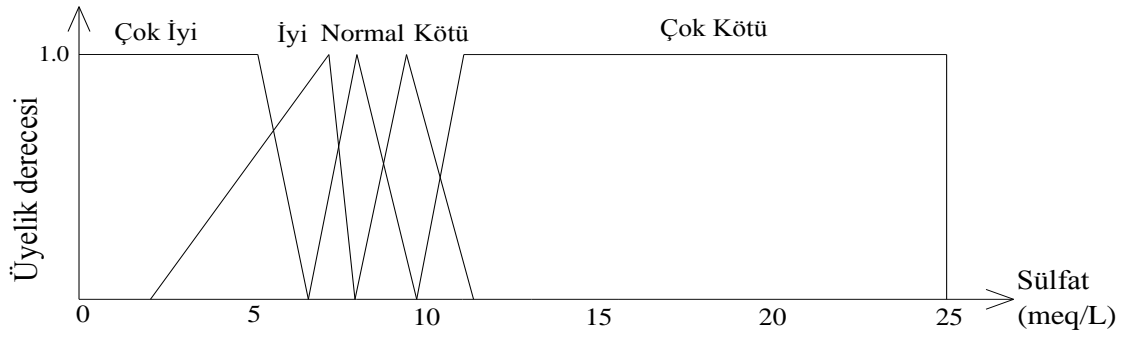
Şekil 4.22 Sıcaklık parametresi için üyelik fonksiyonları



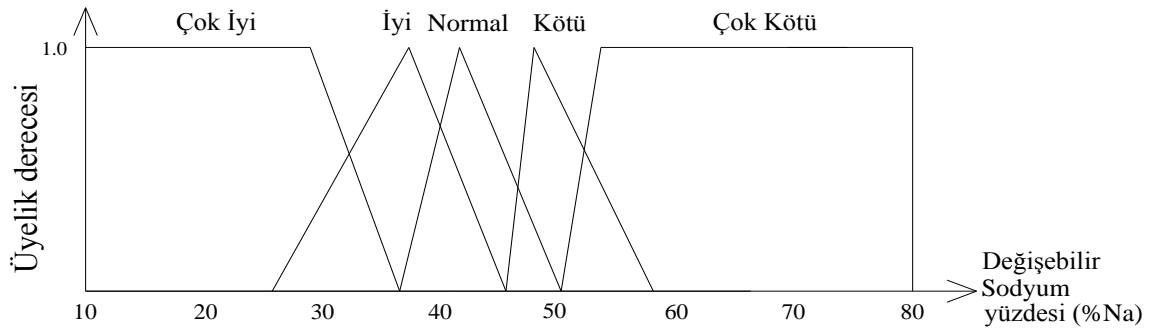
Şekil 4.23 Elektriksel iletkenlik parametresi için üyelik fonksiyonları



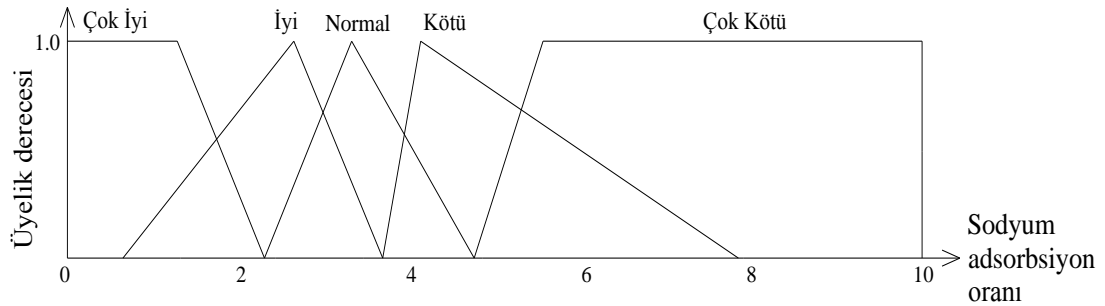
Şekil 4.24 Klorür parametresi için üyelik fonksiyonları



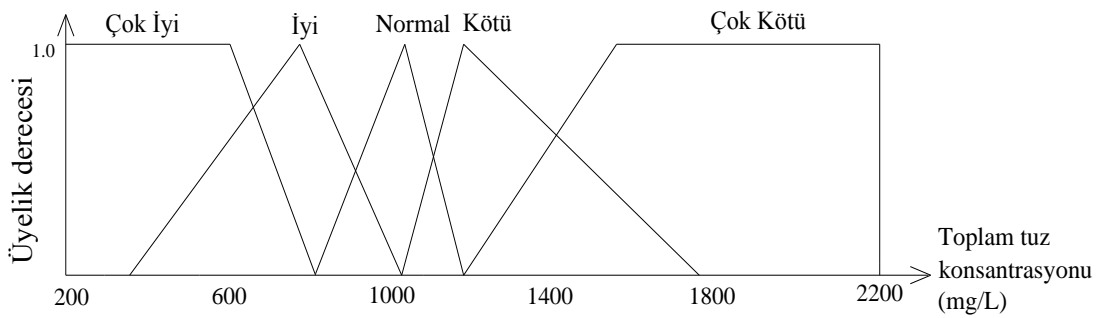
Şekil 4.25 Sulfat parametresi için üyelik fonksiyonları



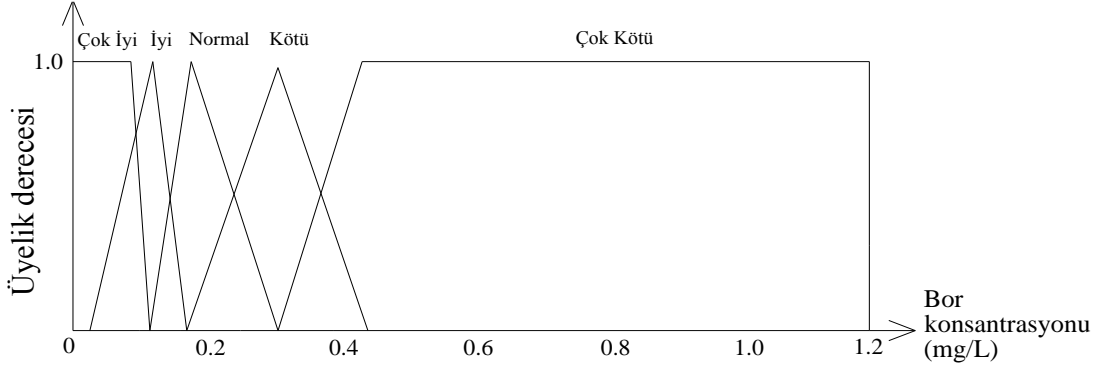
Şekil 4.26 Değişebilir sodyum yüzdesi parametresi için üyelik fonksiyonları



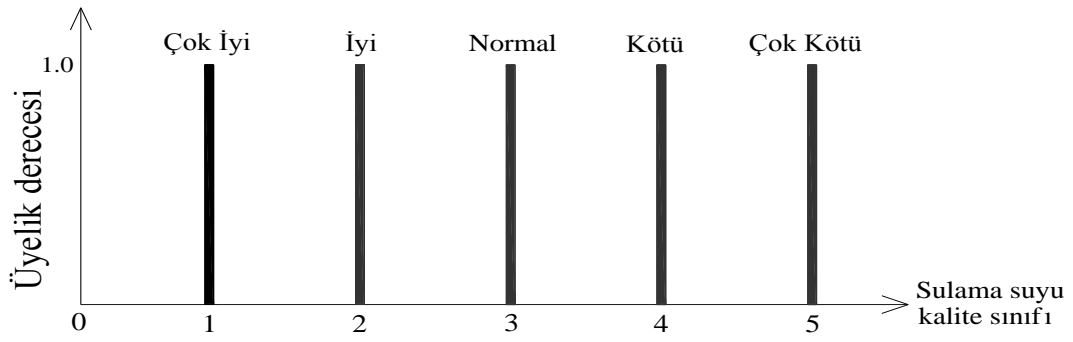
Şekil 4.27 Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) parametresi için üyelik fonksiyonları



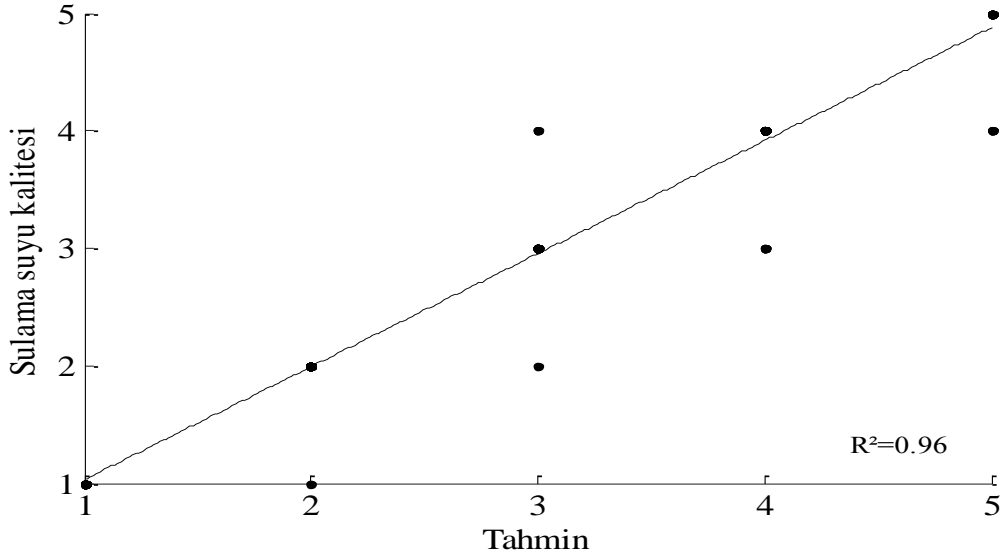
Şekil 4.28 Bor konsantrasyonu parametresi için üyelik fonksiyonları



Şekil 4.29 Toplam tuz konsantrasyonu parametresi için üyelik fonksiyonları



Şekil 4.30 Bulanık sistemin çıktısına ait üyelik fonksiyonları



Şekil 4.31 1. çok iyi, 2. iyi, 3. orta, 4. kötü ve 5. çok kötü olmak üzere bulanık sistemin test aşamasına ait dağılım diyagramı

Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, küme sayısının beş olması halinde partiyon katsayısı değerinin bire yakın (0,759) değer alması kümeler arasındaki

örtüşmenin (bulanıklık) kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Kutu grafik çizimleri (Şekil 4.7-15) ile kümelenmiş verilere ait istatistikler (ortanca çizgisi, birinci çeyrek çizgisi, ikinci çeyrek çizgisi, aykırı olmayan en küçük değer, aykırı olmayan en büyük değer ve aykırı değerler) verilmiştir. Burada, parametrelerin ortanca, birinci ve ikinci çeyrek değerlerinin Küme 1 ile Küme 5 arasında tedrici olarak artışı yanında ortanca çizgisi kutu ekseninde olan dağılımların normal (örneğin, sıcaklık için Küme 1); birinci veya ikinci çeyrek çizgisine yakın olanların pozitif (örneğin, elektriksel iletkenlik için Küme 5) veya negatif yönde (örneğin, klorür için Küme 1) çarpık olduğu; verilerdeki değişkenliğin ise kutu boylarıyla orantılı (örneğin, pH için Küme 1) olduğu görülmektedir. Ayrıca, klorür hariç kümelenmiş bütün parametre verilerinde aykırı değerlerin (Şekil 4.7-15) varlığına rağmen bulanık c-ortalamlar yönteminin yoğun ve birbirinden iyi ayrılmış kümelenmeler (Şekil 4.2-6) ortaya çıkardığı söylenebilir. Kümelere ait üyelik fonksiyonlarının (Şekil 4.16-20) normal ve dış bükey özelliklere sahip olması elde edilen her kümenin kendine ait tek bir bulanık sayıyla doğru bir şekilde temsil edilebileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada, olası bulanık kural sayısının  $5^9$  olması uygun bulanık kuralların seçiminde veriye dayalı kural çıkarım algoritmasının (Chen ve Tsai, 2008) kullanımını zorunlu kılmış olup bulanık sistemin test aşamasında (Şekil 4.31) elde edilen yüksek determinasyon katsayısı ( $R^2=0,96$ ) kural seçiminin başarılı olması ile açıklanabilir. Ayrıca, kural tabanında klorürün tek başına belirleyici varlığı, diğer parametrelere kıyasla sahip olduğu yüksek entropi (EK.1) olup bu durumun, Kızılırmak nehrinin su kalitesinin (drenaj alanında jipslerin yer almadığı ilk çıktığı İmranlı bölgesi hariç) özellikle güney kesiminden jipsli havzaları drene eden yan kolların etkisiyle önemli ölçüde değişmesiyle (ÇDR, 2002) uyumlu olduğu söylenebilir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bulanık c-ortalamlar ve bulanık sistem tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla sulama suyu kalitesinin sınıflandırılmasına yönelik kümelemeye dayalı bulanık sistem geliştirilmiş ve başarıyla uygulanmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1) Su kalitesi verilerinde aykırı değerlerin varlığına rağmen bulanık c-ortalamlar yönteminin, esnek yapısı nedeniyle, yoğun ve birbirinden iyi ayrılmış kümelenmeler ortaya çıkardığı gözlenmiş olup kümelere ait üyelik fonksiyonları her kümenin kendine ait bulanık sayısı ile doğru bir şekilde temsil edilmiştir.

2) Olası bulanık kural sayısının büyük olması halinde uygun bulanık kuralların seçiminde kural çıkarımının veriye dayalı tekniklerle sağlanması bulanık sistemin geliştirilmesine önemli yararlar sağlamamış ve bulanık sistemin performansını da belirlemiştir. Ancak, bulanık kural çıkarımının farklı yaklaşım ve tekniklerle geliştirilmesi (Sanchez vd., 2009; Berlanga vd., 2010) de mümkündür.

3) Bulanık mantık tekniklerinin (bulanık c-ortalamlar ve bulanık sistem) su kalitesi sınıflandırma problemlerinin çözümüne kolaylıkla ve hızlı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür. Ancak, önerilen yaklaşımın tümüyle veri tabanlı olması geliştirilen bulanık sistemin (aynı zamanda bulanık kural tabanının) yeni verilerle sürekli güncellenmesini de gerektirmektedir.

## KAYNAKLAR

- Anonim (1991). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, T.C. Resmî Gazete Tarihi: 7 Ocak 1991, Sayısı: 20748.
- Anonim (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Resmî Gazete Tarihi: 31 Aralık 2004, Sayısı: 25687.
- Angelov, P.P. ve Filev, D.P. (2004). An Approach to Online Identification of Takagi–Sugeno Fuzzy Models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics–Part B: Cybernetics*, Vol. 34, No. 1.
- Balas, C.E., Ergin, A., Williams, A.T. ve Koc, L. (2004). Marine litter prediction by artificial intelligence. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 449–457.
- Bauder, T.A., Waskom, R.M. ve Davis, J.G. (2007). *Irrigation Water Quality Criteria*. No. 0.506.
- Bezdek, J.C. (1980). A convergence theorem for the fuzzy c-means clustering algorithm. *IEEE Trans. PAMI, PAMI2*, vol. 1, pp. 1–8.
- Berlanga, F.J., Rivera, A.J., del Jesus, M.J. ve Herrera, F. (2010). Genetic Programming-based learning of Compact and Accurate fuzzy rule-based classification systems for High-dimensional Problems. *Information Sciences*, 180, 1183–1200.
- Budayan, C., Dikmen, I. ve Birgonul, M.T. (2009). Comparing the performance of traditional cluster analysis, self-organizing maps and fuzzy c-means method for strategic grouping. *Expert Systems with Applications*, 36, 11772–11781.
- Chang, N-B., Chen, H.W. ve Ning, S.K. (2001). Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach. *Journal of Environmental Management*, 63, 293–305, doi:10.1006/jema.2001.0483. Available online at <http://www.idealibrary.com>.
- Chen, S.-M. ve Tsai, F.-M. (2008). Generating fuzzy rules from training instances for fuzzy classification systems. *Expert Systems with Applications*, Vol. 35, Issue 3, 611–621.
- Cude, C.G. (2001). Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Water Resource Association*, 37(1), 125–137.
- Córdoba, E.B., Martínez, A.C. ve Ferrer, E.V. (2010). Water quality indicators: Comparison of a probabilistic index and a general quality index. The case of the Confederación Hidrográfica del Júcar (Spain). *Ecological Indicators*, 10, 1049–1054.
- ÇDR (2002). Sivas İli Çevre Durum Raporu, T. C. Sivas Valiliği, Sivas.
- Dahiya, S., Singh, B., Gaur, S., Garg, V.K. ve Kushwaha, H.S. (2007). Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. *Journal of Hazardous Materials*, 147, 938–946.
- Dimitriou, L., Tsekeris, T. ve Stathopoulos, A. (2008). Adaptive hybrid fuzzy rule-based system approach for modeling and predicting urban traffic flow. *Transportation Research Part C*, 16, 554–573.
- Duque-Ocampo, W., Ferré-Huguet, N., Domingo, J. L. ve Schuhmacher, M. (2006). Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. *Environment International*, 32, 733–742.

- Er, M.J. ve Zhou, Y. (2008). Automatic generation of fuzzy inference systems via unsupervised learning. *Neural Networks*, 21, 1556–1566.
- EPA United State Environmental Protection Agency (1994). *Water Quality Standards Handbook*, 2nd ed. <http://www.epa.gov/waterscience/standardshandbook>.
- FAO (1985). *Water Quality for Agriculture*. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1 p, 174, Rome. Publication 16, Wageningen, The Netherlands, p. 580–588.
- Fipps, G. (1994). Irrigation water quality standards and salinity management. B-1667, 4–03.
- Goktepe, A.B., Altun, S. ve Sezer, A. (2005). Soil clustering by fuzzy c-means algorithm. *Advances in Engineering Software*, 36, 691–698.
- Icaga, Y. (2007). Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological Indicators*, 7, 710–718.
- Ishibuchi, H., Nozaki, K., Yamamoto, N., ve Tanaka, H. (1995). Selecting Fuzzy If-Then Rules for Classification Problems Using Genetic Algorithms. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 3, No. 3.
- Iyatomi, H. ve Hagiwara, M. (2004). Adaptive fuzzy inference neural network. *Pattern Recognition*, 37, 2049–2057.
- Karmakar, S. ve Mujumdar, P.P. (2007). A two-phase grey fuzzy optimization approach for water quality management of a river system. *Advances in Water Resources*, 30, 1218–1235.
- Kasabov, N.K. ve Song, Q. (2002). Dynamic evolving neural-fuzzy inference system (Denfis) and its application for time-series prediction, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(2), 144–154.
- Lee, C.S. ve Wen, C.G. (1997). Fuzzy goal programming approach for water quality management in a river basin. *Fuzzy Sets and Systems*, 89, 181–192.
- Lermontov, A., Yokoyama L., Lermontov, M. ve Machado, M.A.S. (2009). River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, 9, 1188–1197.
- Liu, L., Zhou, J., An, X., Zhang, Y. ve Yang, L. (2010). Using fuzzy theory and information entropy for water quality assessment in Three Gorges region, China. *Expert Systems with Applications*, 37, 2517–2521.
- Linkens, D.A. ve Chen, M.-Y. (1999). Input selection and partition validation for fuzzy modeling using neural network, *Fuzzy Sets Systems*, 107, 299–308.
- Lin, C.-T., ve Lee, C.S.G. (1991). Neural-Network-Based Fuzzy Logic Control and Decision System. *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 40, No. 12.
- Lucieer, V. ve Lucieer, A. (2009). Fuzzy clustering for seafloor classification. *Marine Geology*, 264, 230–241.
- Matlab 7.5, Packaged software for technical computing, Release 14, The Math Works, Inc.
- Minhas, P.S. ve Tyagi, N.K. (1998). *Guidelines for Irrigation with Saline and Alkali Waters*, Bulletin CSSRI, Karnal, India.
- Mitra, S. ve Hayashi, Y. (2000). Neuro-fuzzy rule generation: survey in soft computing framework. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 11(3), 748–768.
- Oster, J. D. (1994). Irrigation with poor quality water. *Agricultural Water Management*, Vol. 25, 271–297.
- Pouzols, F. M. ve Barros, A.B. (2010). Automatic clustering-based identification of autoregressive fuzzy inference models for time series. *Neurocomputing*, Volume 73, Issues 10–12, 1937–1949.

- Qin, X.S., Huang, G.H., Zeng, G.M., Chakma, A. ve Huang, Y.F. (2007). An interval-parameter fuzzy nonlinear optimization model for stream water quality management under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 180, 1331–1357.
- Ramesh, S., Sukumaran, N., Murugesan, A.G. ve Rajan, M.P. (2010). An innovative approach of Drinking Water Quality Index—A case study from Southern Tamil Nadu, India. *Ecological Indicators*, 10, 857–868.
- Rehana, S. ve Mujumdar, P.P. (2009). An imprecise fuzzy risk approach for water quality management of a river system. *Journal of Environmental Management*, 90, 3653–3664.
- Rojas, I., Pomares, H., Ortega, J. ve Prieto, A. (2000). Self-Organized Fuzzy System Generation from Training Examples. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 8, No.1.
- Ross, T. J. (1995). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, McGraw Hill Book Publishing Company, s 600, USA.
- Salski, A. (2007). Fuzzy clustering of fuzzy ecological data. *Ecological Informatics*, 2, 262–269.
- SAFE Strategic assesment of Florida' s environmental (1995). Florida stream quality index, statewide summary. <http://www.pepps.fsu.edu./safe/environ/sqw1.html>.
- Savcı, M. (1999). Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzlu Sularla Sulama, Türkiye İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, 713–731.
- Sánchez, L., Couso, I. ve Casillas, J. (2009). Genetic learning of fuzzy rules based on low quality data. *Fuzzy Sets and Systems*, 160, 2524–2552.
- Solís, C., Sandoval, J., Pérez-Vega, H. ve Mazari-Hiriart, M. (2006). Irrigation water quality in southern Mexico City based on bacterial and heavy metal analyses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 249, 592–595.
- Shainberg, I. ve Oster, J.D. (1976). Quality of Irrigation Water. IIC Publication No 2. WEP Lower Great Miami watershed enhancement program (1996). Miami valley river index. <http://www.mvrpc.org/wq/wep.htm>.
- Shainberg, I. ve Oster, J.D. (2000). Irrigation water quality. (Çeviri: Lütfü Şahin), DSİ Teknik Bülteni, Sayı: 93, Ankara, 25.
- WEP (1996). Lower Great Miami watershed enhancement program. Miami valley index. Available at: <http://www.mvrpc.org/wq/wep.htm>.
- Wu, M-L., Wang, Y-S., Sun, C-C., Wang, H., Dong, J-D. ve Han, S-H. (2009). Identification of anthropogenic effects and seasonality on water quality in Daya Bay South China Sea. *Journal of Environmental Management*, 90, 3082–3090.
- Zadeh, L. A., (1997). Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic, *Fuzzy Sets and Systems*, 90, 111–127.
- Zadeh, L. A. (1999). *Fuzzy Logic and the Calculi of Fuzzy Rules, Fuzzy Graphs, and Fuzzy Probabilities*, Computer and Mathematics with Applications, 37, 35.

EKLER

EK.1

EĞİTME VERİSİNDEN KURAL ÇIKARIM ALGORİTASI

### **EK.1 Eğitim Verisinden Kural Çıkarım Algoritması:**

**Adım 1:** Parametrelere ait verileri eğitim ve test verileri olarak ikiye ayır.

**Adım 2:** Eğitim verilerini kullanarak her bir parametre için Denklem 1 ile entropi hesabı yap.

$$v_i = \frac{\text{Parametrelerin sınıflarının maksimum ve minimum farkların toplamı}}{\text{Maksimum değer} - \text{Minimum değer}} \quad [1]$$

**Adım 3:** Sistem için nitelik eşik değeri  $\alpha \in [0,1]$ , sınıflandırma eşik değeri  $\beta \in [0,1]$  ve seviye eşik değeri  $\gamma \in [0,1]$  arasında olan değerleri seç. Belirlenen nitelik eşik değerinden, entropisi küçük olan parametreleri çıkar. Entropileri büyük olan parametreleri ise diğer adımlarda kullan.

**Adım 4:** Adım 3' teki seçilen parametreler arasında entropisi en büyük olan parametreyi seç ve o parametrenin üyelik fonksiyonlarını kullan.

**Adım 5:** Eğer-ise şeklinde kuralları yaz.

**Adım 6:** Yazılan kuralların doğru sınıflanan veri oranını hesaplamak için Denklem 2'yi kullan. Hesaplanan değer  $\beta$  eşik değerine eşit ya da büyük ise işlemi sonlandır. Değil ise Adım 7' den devam et.

$$\text{Sınıflama doğruluk oranı} = \frac{\text{Doğru sınıflanan veri sayısı}}{\text{Hesapta kullanılan veri sayısı}} \quad [2]$$

**Adım 7:** Entropisi ikinci büyük olan parametreyi al ve Adım 4' e git.

**Adım 8:** Birinci ve ikinci parametre için kuralları yaz. Bu kuralların yanlış sınıflama oranı Denklem 3 ile hesapla.

$$\text{Sınıflama yanlışlık oranı} = \frac{\text{Yanlış sınıflanan veri sayısı}}{\text{Hesapta kullanılan veri sayısı}} \quad [3]$$

**Adım 9:** Adım 8' deki hesaplanan orana göre yanlış sınıflanmaya neden olan aralıkları tespit et. Birinci parametre için yazılan kuralların bazıları ya da hepsi için ikinci parametreye göre yazılan kuralları güncelle.

**Adım 10:** Güncellenen kuralların yanlış sınıflanma oranını Denklem 3 ile tekrar hesapla. Kurallara ait yanlış sınıflanma oranı,  $\gamma$  eşik değerinden büyük ise Adım 9' a git ya da Adım 11' e git.

**Adım 11:** Yazılan kuralların doğru sınıflanma oranı,  $\beta$  eşik değerinden büyük ise dur. Değil ise Adım 7' ye git.

**Kontrol:** Yazılan kuralları test verilerini kullanarak test et.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Murat AY
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 66000, Yozgat/Türkiye
E-posta Adresi	<a href="mailto:murat.ay@bozok.edu.tr">murat.ay@bozok.edu.tr</a>

### Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Enver Kurttepelı Lisesi, 2002
Lisans	Celal Bayar Üniversitesi, 2006
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2010