



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK MODELLENMESİ KULLANILARAK
NEHİRLERDEKİ ASKI MADDESİ MİKTARININ TAHMİNİ

Bestami TAŞAR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

AĞUSTOS – 2016

T.C.

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BULANIK MANTIK MODELLENMESİ KULLANILARAK
NEHİRLERDEKİ ASKI MADDESİ MİKTARININ TAHMİNİ**

Bestami TAŞAR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
AĞUSTOS-2016

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK MODELLENMESİ KULLANILARAK
NEHİRLERDEKİ ASKI MADDESİ MİKTARININ TAHMİNİ

BESTAMİ TAŞAR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ danışmanlığında hazırlanan bu tez **17/08/2016** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Başkan

Doç. Dr. Selahattin KOCAMAN
Üye

Doç. Dr. Cahit BİLİM
Üye

Kod No:

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

17/08/2016

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Bestami TAŞAR

ÖZET

BULANIK MANTIK MODELLENMESİ KULLANILARAK NEHİRLERDEKİ ASKI MADDESİ MİKTARININ TAHMİNİ

Köprü, baraj gibi birçok su yapısının tasarım ve işletilmesi sırasında karşılaşılan olumsuz etkilerinden dolayı, nehirlerdeki askı maddesi miktarının doğru tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Akarsular su hareketi esnasında beraberinde katı maddeleri de taşır. Bu katı maddeler akarsu havzasındaki erozyon veya akarsu yatağındaki aşınmalardan kaynaklanır. Akarsu boyunca, katı madde hareketleri sonucu akarsu yatağında oyulma ve yığılmalar meydana gelir. Bu oyulmalar ve yığılmalar sonucu akarsuyun yatak şeklinin ve morfolojik yapısının değişmesi beklenir. Bu problemlerin çözümü için katı madde tahminlerine ihtiyaç duyulur.

Bu çalışmada, Bulanık Mantık (BM) ve Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) gibi istatistiksel yaklaşımlar nehirdeki günlük debi ve su sıcaklığından günlük askı maddesi tahmini için kullanılmıştır. Günlük veriler Amerika'daki Skunk Nehri Augusta istasyonunda Amerikan Jeolojik Araştırma Merkezi tarafından ölçülmüştür. Bu yaklaşımlar ortalama karesel hata (OKH), ortalama mutlak hata (OMH) ve korelasyon katsayısı (R) olmak üzere kendi içinde 3 istatistiksel kritere göre karşılaştırılmıştır. Bu kriterler yaklaşımların performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Model ve ölçüm sonuçları kıyaslandığında BM yaklaşımı diğer geleneksel tekniklere göre daha iyi tahminler göstermiştir.

2016, 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tahmin, Bulanık Mantık, Katı Madde Anahtar Eğrisi, Debi, Askı Maddesi.

ABSTRACT

USING FUZZY LOGIC MODELLING SUSPENDED SEDIMENT ESTIMATION IN RIVERS

Estimating the amount of suspended sediment in rivers correctly is very important due to the adverse impacts encountered during the design and maintenance of hydraulic structures such as dam, bridge. In rivers, suspended sediments are also transported with water during water movement. These sediments are consisted by either erosion in river basin or by abrasion in stream bed. Throughout stream (river), scouring and accumulation in stream bed occur as a result of sediment movements. As a result of these scouring and accumulation, the shape of the river bed and morphological structure are expected to change. For the solution of these problems, suspended sediment estimations are needed.

In this paper, Fuzzy Logic (FL) and statistical approaches such as Sediment Rating Curves (SRC), Multiple Linear Regression (MLR) are used for forecasting daily suspended sediment concentration from daily temperature of water and stream flow in the river. Daily data are measured at Augusta station by the US Geological Survey. These approaches are compared to each other according to three statistical criteria, namely, mean square errors (MSE), mean absolute relative error (MAE) and correlation coefficient (R). These criteria were used to evaluate the performance of the approaches. When the model and measurements results are compared, FL approach shows better estimations than the other conventional techniques.

2016, 48 pages

Keywords: Estimation, Fuzzy Logic, Sediment Rating Curves, Stream Flow, Suspended Sediment.

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca büyük bir titizlik ve özveriyle bana yol gösteren danışman hocalarım Doç. Dr. Fatih ÜNEŐ'e ve değerli görüş, bilgi ve katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince bana yardımcı olan mesai arkadaşlarım; Arş. Gör. Yakup Türedi, Arş. Gör. M. Musab ERDEM, Arş. Gör. Nurullah KARACA, Arş. Gör. Müzeyyen BALÇIKANLI, Arş. Gör. Olcay GENÇ, Arş. Gör. Murat ÖZTÜRK'e ve Arş. Gör. Kevser KESKİN'e, ayrıca Bölüm Başkanımız Doç. Dr. Ercan ERDİŐ'e teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca beni destekleyip bugünlere ulaşmamı sağlayan annem Leman TAŞAR'a ve tez çalışmalarım süresince yardım ve desteğini esirgemeyen tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Suyun Önemi	1
1.2. Akarsularda Katı Madde Hareketi	2
1.3. Akarsuyun Taşıdığı Katı Maddelerin Sınıflandırılması	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	10
3.1. Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE)	10
3.2. Çoklu Lineer Regresyon Yöntemi (ÇLR).....	11
3.3. Bulanık Mantık (BM)	13
3.3.1. Bulanık Mantık Hakkında Temel Bilgiler	13
3.3.2. BM’de Model Oluşturma	16
3.3.2.1. Üyelik Fonksiyonları.	17
3.3.2.2. Üyelik Fonksiyonunun Kısımları.....	19
3.3.2.3. Bulanıklaştırma.....	20
3.3.2.4. Durulaştırma.	21
3.3.2.5. En Büyük Üyelik İlkesi.....	23
3.3.2.6. Sentroid Yöntemi.....	23
3.3.2.7. Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi.....	24
3.3.3. Mamdani Tipi Bulanık Yaklaşım (Mamdani-BM).....	25
3.3.4. Sugeno Tipi Bulanık Yaklaşım (Sugeno-BM).....	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	26
4.1. Uygulama Alanı ve Tanıtılması.....	26
4.2. Oluşturulan Modeller ve Sonuçların Analizi	29
4.2.1. İstasyonda Ölçülen Verilerin Değerlendirilmesi.....	29
4.2.2. Modellere Ait Hesaplamalar ve Grafik Sonuçları.....	32
4.2.2.1. KMAE Modeli.....	32

4.2.2.2. ÇLR Modeli.....	35
4.2.2.3. BM Modeli	37
4.2.3. Model Sonuçları ve Analizi	43
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	49



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Akarsudaki katı maddelerin taşınım ve hareket türleri (Graf,1998).....	3
Şekil 1.2.	Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımı (Özbek ve Özcan, 2001)	4
Şekil 3.1.	S-Q arasındaki ilişkilerde lineer olmayan bir değişim.....	11
Şekil 3.2.	x-y değişkenleri arasındaki ilişkilerde doğrusal değişim.....	11
Şekil 3.3.	Klasik sistem çalışma düzeni	14
Şekil 3.4.	Genel bulanık sistem çalışma düzeni.....	15
Şekil 3.5.	Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi	16
Şekil 3.6.	Bitişik dikdörtgen gösterim	17
Şekil 3.7.	Bitişik üçgen gösterim	18
Şekil 3.8.	Örtüşmeli üçgen gösterim.....	18
Şekil 3.9.	A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu	19
Şekil 3.10.	Üyelik fonksiyonu kısımları	20
Şekil 3.11.	Hassaslık miktarı (a) bulanık mantık (b) klasik mantık.....	20
Şekil 3.12.	Tipik bulanık küme çıktısı, (a) bulanık girdi ilk kısım, (b) bulanık girdi ikinci kısım, (c) ikisinin birleşimi	22
Şekil 3.13.	En büyük üyelik derecesi durulaştırması	23
Şekil 3.14.	Sentroid yöntemi ile durulaştırması	23
Şekil 3.15.	Ortalama en büyük üyelik durulaştırması.....	24
Şekil 4.1.	USGS Skunk nehri, Augusta istasyonu genel görünümü	26
Şekil 4.2.	USGS Skunk nehri üzerindeki Augusta istasyonu uydu (uzaktan) görünümü	27
Şekil 4.3.	USGS Skunk nehri üzerindeki Augusta istasyonu uydu (yakından) görünümü	27
Şekil 4.4.	Amerika Birleşik Devletlerindeki önemli nehirler	28
Şekil 4.5.	5 yıllık veriler için günlük ortalama sıcaklık değerleri (T_{ort}).....	29
Şekil 4.6.	5 yıllık veriler için günlük debi değerleri (Q).....	30
Şekil 4.7.	5 yıllık veriler için günlük katı madde konsantrasyon değerleri (S).....	30
Şekil 4.8.	Eğitim verileri için Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE)	32
Şekil 4.9.	Eğitim verileri için KMAE saçılım grafiği	33
Şekil 4.10.	Test verileri için KMAE saçılım grafiği	33
Şekil 4.11.	5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve KMAE dağılım grafiği.....	34
Şekil 4.12.	5 yıllık test verileri için ölçüm ve KMAE dağılım grafiği	34
Şekil 4.13.	5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği	35
Şekil 4.14.	5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği.....	36

Şekil 4.15.	5 yıllık test verileri için ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği	36
Şekil 4.16.	5 yıllık test verileri için ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği	37
Şekil 4.17.	5 yıllık T_{ort} için bulanık alt kümesi üyelik fonksiyonları.....	39
Şekil 4.18.	5 yıllık Q için bulanık alt kümesi üyelik fonksiyonları	39
Şekil 4.19.	5 yıllık S_{t-1} için bulanık alt kümesi üyelik fonksiyonları	40
Şekil 4.20.	5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve BM dağılım grafiği	40
Şekil 4.21.	5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve BM saçılım grafiği	41
Şekil 4.22.	5 yıllık test verileri için ölçüm ve BM dağılım grafiği	42
Şekil 4.23.	5 yıllık test verileri için ölçüm ve BM saçılım grafiği.....	42



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Klasik mantık ve Bulanık Mantık arasındaki farklılıklar	14
Çizelge 4.1.	Augusta istasyonunun tüm istatistiksel parametre değişimleri.....	31
Çizelge 4.2.	Augusta istasyonunun eğitim ve test istatistiksel parametre değişimleri	31
Çizelge 4.3.	Skunk Nehri Augusta istasyonu 5 yıllık veriler için oluşturulan modellemelerin performanslarının karşılaştırılması	44



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- Q : Nehir akım debisi (m^3/s)
S : Katı madde konsantrasyonu (mg/l)
T : Ortalama Su Sıcaklığı ($^{\circ}C$)

KISALTMALAR

- a, b : Q ve S arasındaki uydurulmuş denklemden elde edilen değişkenler
ANFIS : Adaptif sinirsel bulanık sistem
 b_1, \dots, b_n : Regresyon katsayıları
BM : Bulanık mantık
ÇLR : Çoklu lineer regresyon yöntemi
KMAE : Katı madde anahtar eğrisi
N : Veri sayısı
USGS : Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu
 x_1, \dots, x_n : Bağımsız değişken
 $\ddot{u}, \ddot{u}_\varphi$: Üyelik derecesi
y : Çok değişkenli regresyon bağımlı değişkeni
YSA : Yapay sinir ağları

1.GİRİŞ

1.1. Suyun Önemi

Su canlıların yaşamlarını sürdürmesi için büyük öneme sahiptir. En küçük canlılardan en büyük canlılara kadar, bütün faaliyetleri devam ettiren su'dur. Dünyamızın %71'ini kaplayan su, bedenimizin de önemli bir kısmını oluşturmaktadır. (yetişkin bireylerde %60) Ayrıca su, insan yaşamı için oksijenden sonra en önemli ikinci gereksinimdir. Kanın %83'ü, kemiklerin %22'si, beynin ve kasların %75'i sudur. Bu oranlardan da anlayacağımız üzere insanlar susuz yaşayamaz ve su, temel enerji kaynağıdır.

1.2. Akarsularda Katı Madde Hareketi

Akarsu, kara parçası üzerinde yüzeysel akım etkisinde belirli bir eğime sahip olan sürekli veya zaman zaman akan suya verilen isimdir. Akarsular, su hareketi esnasında beraberinde katı maddeleri de taşır. Su ve katı maddelerin hareket ettiği 2 farklı akımın hidroliği ve taşınan sediment (katı madde) miktarını tespit etmek önemlidir.

Akarsu yapılarının planlanması ve projelendirilmesinde nehirlerde taşınan katı madde miktarı tahmini belirli bir önem taşır. Bu katı maddeler akarsu havzasındaki erozyon ve akarsu yatağındaki aşınmalardan kaynaklanır. Akarsu boyunca, katı madde hareketleri sonucu akarsu yatağında oyulma ve yığılmalar meydana gelir. Bu oyulmalar ve yığılmalar sonucunda akarsuyun yatak şekli ve morfolojik yapısı değişmesi beklenir. Bu problemlerin çözümü için katı madde tahminlerine ihtiyaç duyulur.

Eğimli akarsularda bulunan iri kayalar akarsu vadisi üzerinde yapılacak olan yapılara zarar verebilir. İnce taneler de su kuvveti tesislerinin türbinlerini ve pompalarını yüksek hızlarla çarpmaları sonucu aşındırabilirler. Akarsuların taşıdığı katı maddeler, akım hızının tane hareketini sağlayan kritik hızın altına düştüğü yerlerde birikme yaparlar. Birikmeler çoğunlukla köprü ayaklarının arkasındaki su bölgelerinde de meydana gelebilir. Yığılma sonunda da problemler ortaya çıkabilir. Ayrıca düzensiz su rejimine sahip akarsularda, akarsu eğimleri büyük olduğu için taşınan katı madde miktarı bu oranda artar.

Özellikle baraj hazneleri gibi su depolama yapılarında biriken katı maddeler hazne kapasitesini azaltır. Hazne kapasitesinin azalması tesislerin ekonomik ömrünü kısaltır. Bu zararları önlemek daha doğrusu geciktirmek için baraj haznesinde ölü hacim denilen pasif bir hacim bırakılır ve su alma yapısı altında kalacak şekilde tasarlanır. Bir barajın hizmet süresi yani faydalı ömrü bu hacmin büyüklüğüne bağlıdır. Ölü hacmin gerekli olandan ne küçük nede daha büyük olması istenir. Ölü hacim gereğinden küçük olursa baraj amacına hizmet edemez ve katı madde baraj dışına aktarılamaz. Ayrıca, hazneye gelen katı maddeler sadece ölü hacimde değil, haznenin başka kısımlarında da birikeceği için barajın aktif depolama kapasitesinin gittikçe azalmasına ve belirli bir süreden sonra baraj verimin düşmesine neden olur. Ölü hacim gereğinden büyük olursa barajın yapım maliyetini arttırır ve barajdaki diğer bölümlerin aktif çalışmasını engelleyebilir. Bundan dolayı baraj projelendirilmelerinde, barajların ekonomik ömrü de düşünülüp inşa edilmeli ve katı madde tür ve miktarının doğru olarak tahmin edilip belirlenmelidir. Baraj haznesine giren katı maddeleri tümünden engellemek imkânsızdır. Ancak birtakım önlemler alınarak bunlar azaltılabilir. Mesela akarsu havzası ağaçlandırılabilir ya da teraslama ile taşınan katı madde miktarları azaltılabilir.

Ayrıca, akarsulardaki kum, silt, çakıl gibi maddeler akarsu yatağı üzerindeki taneleri harekete geçirebilir ve başka noktaya taşınmasına yol açabilir. Hareket eden ve taşınan katı madde miktarı, suyun ve katı madde özelliklerine bağlıdır. Yataktaki tanelerin üniform olmayışı, akarsu yapısı, akımın zamanla değişmesi katı madde hareketinin incelenmesini daha da zor hale getirmektedir.

Katı madde hareketi neticesinde akarsuyun su kalitesinde değişme ve etkilenme beklenir. Söz konusu değişme ve etkilenmeleri daha iyi anlamak ve bunları belirlemek için akarsulardaki katı madde hareketini iyi analiz etmek gerekir.

1.3. Akarsuların Taşdığı Katı Maddelerin Sınıflandırılması

Yağışlar neticesinde akış haline geçen su kütlesi, rüzgâr vb. diğer etmenler ile yer kabuğunun üzerindeki taneleri ve katı maddeleri sökmektedir (erozyon, aşınım). Bu katı maddeler ve taneleri malzeme kaynağına göre ve taşınım şekillerine göre sınıflandırılmaktadır.

1. Malzeme kaynağına göre sınıflandırılması

- a) Yatak malzemesi
- b) Yıkanma malzemesi (Yıkanmış malzeme)

Yatak malzemesi; sadece akarsu yatağında bulunmaktadır. Yıkanma malzemesi; havzadan erozyonla gelen ve yatak malzemesinden daha ince olan malzemedir ve akarsu yatağında çok az bulunur ya da hiç bulunmamaktadır.

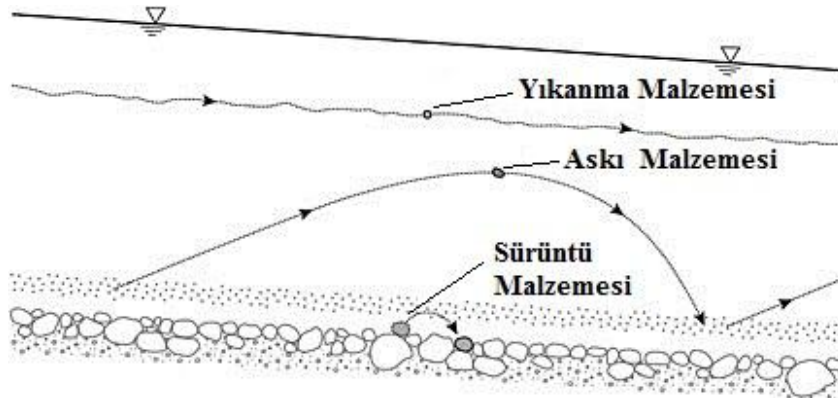
Yıkanma malzemesi akarsuyun hidrolojik şartlarına (havza büyüklüğü, yağış özellikleri, topoğrafik özellikler vs.) bağlıdır. Bundan dolayı yatak malzemesini oluşturan taneler sürekli olarak yatakla alışveriş halinde olduklarından oyulma ve yığılma olaylarını etkilemektedir (Bayazıt, 2010).

2. Akarsudaki taşınım şekillerine göre sınıflandırılması

- a) Askı malzemesi
- b) Sürüntü malzemesi

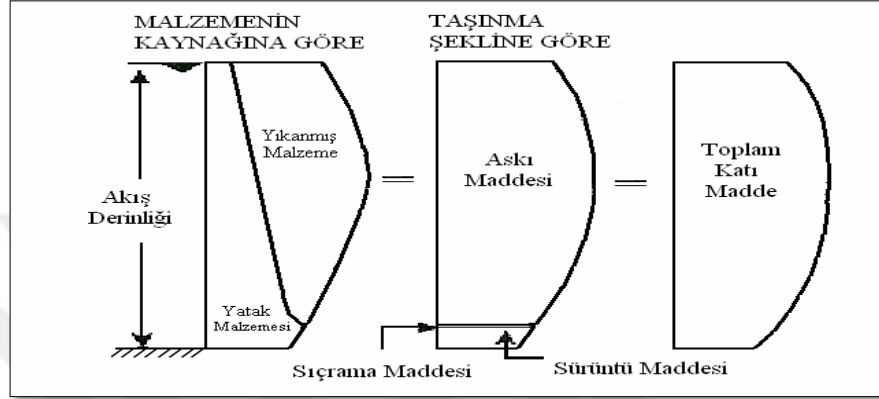
Artan su akım şiddeti ile beraber, yataktaki malzeme akarsu yatağından ayrılıp suyun içinde askı halinde hareket etmeye başlar. Askı halindeki bu malzemeye askı malzemesi denir.

Sürüntü malzemesi ise akım şiddeti artması durumunda akarsu yatağında akımın etkisinde sürüklenerek, yuvarlanarak ve kayarak hareket eden maddelerdir. Bu hareketi yapan malzemeler daima yatakla bağlantılı olup, hızları oldukça düşüktür. Askı ve sürüntü malzemelerinin taşınım ve hareket türleri Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Akarsudaki katı maddelerin taşınım ve hareket türleri (Graf,1998)

Akarsudaki askı malzemesi sürüntü malzemesine göre daha ince tane çapına sahiptir. Fakat birbirinden ayıran kesin bir tane çapı yoktur. Çünkü katı madde hareketi tane çapının yanı sıra akım hızına da bağlıdır. Hızlı akımlı bölgede askı halinde olan malzeme, düşük hızlı akımlı bölgeye gelince sürüntü haline geçebilir. Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımları Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımı (Özbek ve Özcan 2001)

Akarsulardaki katı madde hareketinin incelenmesinde taşınım (taşınma) şekline göre yapılan sınıflandırma daha çok tercih edilmektedir. Askı maddesi ve sürüntü maddesinin tamamına, “toplam katı madde” denir. Taşınan katı madde miktarı, ya birim zamanda taşınan kuru hacim (m^3/sn) ya da birim zamanda taşınan kuru ağırlık (kg/sn) olarak ifade edilmektedir. Askı maddesi konsantrasyonu ise su içerisindeki askı maddesi miktarının su ve askı maddesi karışımı oranına denilmektedir (Erkek, 1993).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Nehirlerdeki katı madde miktarları, katı madde gözlem istasyonlarından yapılan ölçümlerle ya da katı madde denklemlerinden belirlenmektedir. Katı madde miktarının ölçümlerle bulunması en doğru ve kesin yöntemdir. Fakat bu yöntem zaman alır ve maliyetlidir. Ayrıca birçok gözlem istasyonunda su debisi ölçülmesine karşın katı madde miktarı ölçümleri yapılmamaktadır. Özellikle taşkın durumunda istasyonlarda katı madde miktarı ölçümü yapılması zordur.

Hidroloji bilim alanında, klasik metotlarla uygun modeller oluşturulamaz. Çünkü Hidroloji'ye etkileyen olaylar, birçok parametreden etkilenmektedir. Yine bu parametreler birbirinden bağımsız olabilmekte ve arasındaki ilişki genelde doğrusal olmamaktadır. Bu ilişkiyi belirlemek zor olduğundan doğrusal olmayan problemler için basit, zaman almayan ve ekonomik metotlar geliştirilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda, katı madde miktarını belirlemek için birçok yöntem bulunmaktadır. Literatürde tercih edilen yapay zekâ metotları arasında Bulanık Mantık (BM), Yapay Sinir Ağları (YSA), adaptif sinirsel bulanık sistem (ANFIS) gibi bilimsel yöntemler bulunmaktadır.

Bazı araştırmacılar nehirlerde taşınan katı madde miktarı ile akım debisi arasındaki ilişkiyi kullanarak regresyon analizi yapsa da bu analizler doğrusal olmayan karmaşık ilişkilerden ötürü her zaman iyi sonuçlar verememektedir. Bundan dolayı nehirlerdeki akım debisi ile katı madde miktarı arasında üstel bir ilişkinin olduğu kabul edilen katı madde anahtar eğrileri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Asselman, 2000; Krishnaswamy ve ark., 2001; Picouet ve ark., 2001).

Bulanık Mantık belirli değişkenler kullanarak sonuca ulaşmaya çalışan kendi içinde kurallar atayan bir yapay zekâ tekniği olarak tanımlanabilir. Bir değişkenin tipik değeri, örneğin “sıcak” veya “soğuk” gibi sözcüklerle ifade edilir ve bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları buna benzer şekilde temsil edilir. Bulanık mantığın klasik mantıktan farkı, kesinlik ile ifade edilememesi ve sonuçları daha gerçekçi olmasıdır. Bulanık Mantık, karmaşık durumlar karşısında basit ve kullanışlı çözümler üretir.

ANFIS yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak ifade edilebilir. Bu ağ, her biri belli bir fonksiyonu

gerçekleştirmek üzere, belli sıra halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden mevcuttur. Sugeno tipi Bulanık Mantığın ayırt edici özelliği alt kümeleri kendisi tayin etmesidir. Yani alt kümelere ait üyelik fonksiyon aralıkları ile üyelik derecelerini ayarlayarak bulanık tabanlı kuralların oluşturulmasını sağlar ve çözüm üretir. ANFIS ile elde edilen Bulanık Mantık sonuçları, modelin kolay ve zaman kaybı olmadan oluşturulması sebebiyle önemlidir.

Nehirlerdeki katı madde hareketi gibi karmaşık ve zor olan bir problemi açıklamak ve doğru çözümler sunmak için birçok araştırmacı yapay zekâ yöntemlerine başvurmuş ve değişik sonuçlar elde etmişlerdir.

Kisi (2005), ABD’de 2 istasyondaki günlük akım verilerini kullanarak Yapay Sinir Ağları (YSA), Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) ve Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) modellerini kullanarak akarsuda katı madde miktarını tahmin etmiştir. Model sonuçlarını karşılaştırdığında ANFIS ve YSA modelleri klasik yöntemlere göre daha iyi performans göstermiştir.

Rajae ve ark. (2009), ABD’de Little Black Nehri ve Salt Nehri istasyonlarına ait verileri kullanarak Bulanık Mantık (BM), Yapay Sinir Ağları (YSA), Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) metotlarını kullanarak günlük sediment konsantrasyonunu hesaplamaya çalışmışlar. BM ve YSA modelleri için nehir debisi, ötelenmiş nehir debisi, ötelenmiş katı madde konsantrasyon miktarı kullanmışlardır. Bu iki istasyon verileri için BM metodu ile elde edilen sonuçların en iyi tahmin sonuçlarına sahip olduğunu görmüşlerdir. YSA ile tahmin edilen sonuçların ise klasik metotlara göre daha iyi olduğunu göstermişlerdir.

Kişi ve ark.(2008), Türkiye’de Karadeniz bölgesinde 4 istasyondaki (Harşit Kanalı, İyi Kanalı, Çoruh Nehri ve Oltu Kanalı istasyonları)günlük akım debisi ve katı madde verileri kullanarak çalışma yapmışlar. Yaptıkları çalışmada, Nöro-Bulanık (NB), Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Nöro-Ağ yapı tabanlı 3 model sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Bunun sonucunda Bulanık tabanlı NB yönteminin diğer yöntemlere göre iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Kişi (2009), ABD’deki Rio Valenciano ve Quebrada Blanca istasyonlarında Bulanık Mantık (BM),Yapay Sinir Ağları (YSA), Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) yöntemlerine ek olarak BM yöntemini geliştirmiştir. Bütün model sonuçlarını

karşılaştırdığında, geliştirdiği BM yönteminin diğer yöntemlerden daha başarılı tahmin verdiğini göstermiştir.

Mirbagheri ve ark. (2010), nehirlerdeki katı madde konsantrasyonu tahmininde, Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve bulanık kural tabanlı modellerin performansını determinasyon katsayısı kullanarak değerlendirmiş, sonuçları karşılaştırdığında bulanık kural tabanlı modelin sediment konsantrasyonu tahmini için daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Fırat ve Güngör (2010), Türkiye’de Büyük Menderes Nehrinde 3 farklı istasyonda aylık ölçülen akım debisi verilerini kullanarak katı madde miktarı tahmin etmeye çalışmışlar. Katı madde tahmini için Yapay Sinir Ağları (YSA), Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Bulanık Mantık (BM) yöntemlerini kullanmışlar. Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Bulanık Mantık (BM) yöntemleri için girdi verileri olarak akım debisi ve ötelenmiş zamanlı akım debilerini kullanmışlardır. Model sonuçları değerlendirildiğinde BM yaklaşımının yüksek performans ortaya koyduğunu belirtmişlerdir.

Mianaei ve Keshavarzi (2010), Escanaba Nehrinde günlük akım debisi ve katı madde debi ölçümlerini kullanmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada Bulanık Mantık algoritmaları kullanarak bulanık üçgen alt kümeleri ve bulanık kurallar oluşturmuşlardır. Bulanık Mantık model girdileri için akım debisi, ötelenmiş akım debisi ve ötelenmiş katı madde miktarı parametreleri seçmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) sonuçları ile karşılaştırmışlar ve Bulanık Mantık algoritması ile oluşturulan katı madde tahminlerinin diğerlerinden daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Baltacı (2012), Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Bulanık Mantık (BM) yöntemlerinin katı madde konsantrasyonu tahminindeki performanslarını araştırmıştır. ABD’deki Sacramento nehri üzerindeki istasyonda ortalama sıcaklık, günlük gerçek zaman akım debisinden katı madde konsantrasyonu tahmini için 50 ve 5 yıllık veriler kullanmıştır. Tahmin sonuçlarına göre modeller arasında karşılaştırma yapmıştır. Hem 5 yıllık hem 50 yıllık katı madde tahmini için yapılan karşılaştırmalarda Bulanık Mantık (BM) modellemesinin iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Azamathulla ve ark. (2012), kapalı borularda katı madde tahmini için Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Bulanık Mantık (BM) kullanmışlar. Sonuçlar incelendiğinde, BM yönteminin daha yüksek determinasyon katsayısına sahip olduğunu yani BM yönteminin daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Vafakhah (2013), İran'da Hazar Denizi yakınlarındaki Kojor havzasına ait yağış ve akım debisi verilerini katı madde tahmini için kullanmıştır. Bu veriler 776 günlük olup 2007-2010 yıllarına aittir. Yaptığı bu çalışmayı 2 kısma bölmüştür. Çalışmanın ilk kısmında günlük yağış ve akım debileri ile geçmişteki günlük yağış ve akım debileri model girdileri olarak kullanmıştır. Model sonuçlarını Ortalama Karesel Hata (OKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Korelasyon Katsayısı (R) kriterlerine göre kıyasladığında BM modellemesi YSA modelinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu çalışmanın ikinci ve son kısmında ise Bulanık Mantık (BM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile Kriging, Cokriging yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda YSA ve BM yöntemlerinin en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir.

Olyae ve ark. (2015), ABD'de bir nehirde katı madde tahmini için Yapay Sinir Ağları (YSA), Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) ve Birleştirilmiş Dalgacık Yapay Sinir Ağları (WANN) metotlarını karşılaştırmışlar. Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) en düşük performansına sahip modeller olduğunu, WANN ve ANFIS yöntemlerinin en iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Kisi ve Zounemat (2016), ABD'de Muddy nehri üzerinde 2 istasyonda katı madde miktarını tahmin etmek için çalışma yapmışlardır. Çalışmada günlük akım debisi ve katı madde konsantrasyon miktarı verilerini kullanmışlardır. Yapay Sinir Ağları (YSA), Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) ve Kümeleştirilmiş Nöro-Bulanık (KNB) modellerini karşılaştırmışlar (Kümeleştirilmiş Nöro-Bulanık modeli, klasik ANFIS'in geliştirilmiş halidir). KNB yönteminin nehirlerde katı madde tahmini daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. KNB yöntemi katı madde tahmininde Yapay Sinir Ağları (YSA), Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) yöntemlerine alternatif olarak sunulabileceğini göstermişlerdir.

Shameei ve Kaedi (2016), ABD’de Rio Valenciano ve Quebrada Blanca istasyonlarında ölçülmüş katı madde miktarı tahmini için; Lineer Genetik Programlama (LGP) ile Nöro Bulanık (NB) yöntemlerinin performansını araştırmış ve her iki yöntemin de uygun sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, nehirlerde katı madde konsantrasyonunun tahmini için; Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), Çoklu Regresyon (ÇLR) ve yapay zekâ yöntemlerinden biri olan Bulanık Mantık (BM) yöntemleri kullanılmaktadır. Bu bölümde, kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilmektedir.

3.1. Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE)

Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), nehirlerin herhangi bir kontrol kesitinde ölçülen akım debisi ile katı madde miktarı arasındaki ilişkiyi gösterir. Nehir akım debisini Q ve katı madde konsantrasyonunu S ile gösterirsek, bu ikisi arasındaki bağlantı;

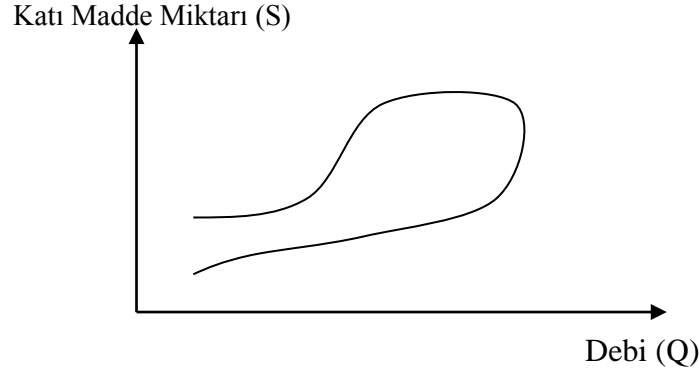
$$S = aQ^b \quad (3.1)$$

şeklinde bir fonksiyonel denklem ile ifade edilir. Bu ilişkiyi logaritmik tabana çevirdiğimizde;

$$\log S = a + b \log Q \quad (3.2)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde $\log S$ ve $\log Q$ arasında lineer regresyon kurularak elde edilen a ve b ise nehir akımı karakteristiğine bağlı katsayıları göstermektedir (Demiröz, 1989; Salas,1999). Denklemdeki a ve b değerleri Q ve S arasındaki bağıntıya göre oluşturulan denklemden bulunur. Katı madde tahmini sırasında bu eğriyi kullanarak bulunan katsayılar için ortalama aylık ya da yıllık katı madde verileri kullanılabilir.

(3.1) eşitliğinde verilen S - Q ilişkisini inceleyen geniş bir çalışmada (Williams,1978), tek tip bir ilişkinin olmadığını göstermiştir. Bazı akarsularda S - Q ilişkisi, iki kollu bir değişim izlemektedir. Bu değişim Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Yani akımın farklı zamanlarındaki katı madde miktarı, aynı akım debisi değeri için hidrolojik sebeplerden ötürü farklı olabilmektedir. Bazı durumlarda, bu eğriler kullanılarak doğru katı madde tahmini yapılamamakta ve yetersiz kalmaktadır.



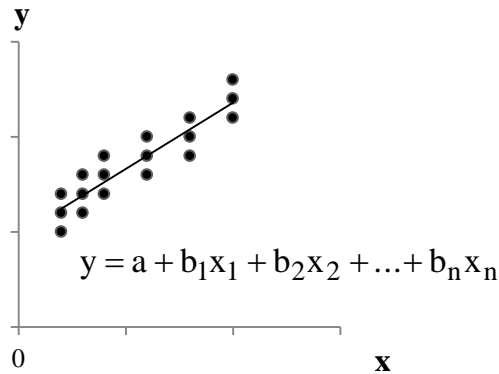
Şekil 3.1. S-Q arasındaki ilişkilerde lineer olmayan bir değişim

3.2. Çoklu Lineer Regresyon Yöntemi (ÇLR)

Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) analizi, bağımlı değişkenle ilişkili olan 2 ya da daha çok bağımsız değişkene bağlı olarak, bağımlı değişkenin tahmin edilmesine yönelik bir analiz türüdür. Çoklu lineer regresyonda birden fazla bağımsız değişken (x_1, x_2, \dots, x_n) ile bir bağımlı değişken (y) arasındaki ilişki incelenmektedir. Yani y bağımlı değişkenininin x_1, x_2, \dots, x_n gibi n adet bağımsız değişkenlerden etkilendiği kabul edilir ve aralarındaki ilişki için lineer (doğrusal) bir denklem seçilirse y için regresyon denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (3.3)$$

Şekil 3.2’de ise çoklu lineer regresyonda değişkenlere göre oluşturulan doğrusal denklemin grafik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2. x-y değişkenleri arasındaki ilişkilerde doğrusal değişim

Regresyon analizine başlarken ilk olarak aralarında bir ilişki aranacak olan değişkenler (iki ya da daha fazla sayıda) belirlenmeli, sonra da bu değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren denklemin türü için bir kabul yapılmalıdır. Regresyon türlerini basit doğrusal regresyon, çok değişkenli doğrusal regresyon ve doğrusal olmayan (non-linear) regresyon olarak sınıflandırabiliriz.

Basit doğrusal regresyon türünde iki değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir. Çok değişkenli doğrusal regresyonda ikiden daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir. Doğrusal olmayan (non-linear) regresyon analizinde iki ya da daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin varlığı kabul edilir.

İki veya daha çok rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden istatistik bakımdan bağımsız olmadığını, dolayısıyla bu değişkenler arasında bir ilişki bulunduğu görülür. İki değişken arasında bir ilişki bulunması durumunda, bunlardan biri diğerinden etkilenebilir, yada her iki değişken başka değişkenlerden etkilenebilir. Örneğin bir akarsu havzasındaki akıyla yağış arasında ilişki vardır, yağış neticesinde akışlar meydana gelir. Ancak bu ilişkiler deterministik (fonksiyonel) nitelikte değildir. Yani değişkenlerden biri, belli bir değer aldığı anda, diğerinin de aynı değer de olması beklenemez. Regresyondaki bu ilişkide dikkate almadığımız diğer değişkenlerin etkisiyle bu değer çeşitli gözlemlerde az çok farklı olabilir. Örneğin yanyana iki havzanın birinde akım belli bir değeri aldığı anda diğerindeki akım her zaman aynı değerde olmaz. Yine de değişkenler arasındaki fonksiyonel olmayan bağıntının varlığının ortaya çıkarılması ve biçiminin belirlenmesi pratikte büyük önem taşır. Zira bu bağıntıyı kullanarak bir değişkenin alacağı değeri, diğer bir (ya da birden fazla) değişkenin bilinen değerlerine bağlı olarak tahmin etmek mümkün olur. Bu tahmin söz konusu değişkenin alacağı gerçek değeri kesin olarak vermemekle birlikte bu değere yakın en iyi tahmin olur. Tahmin edilen değer gerçeğe değerden olan farkının (hatanın) da belli bir olasılıkla hangi sınırlar içinde kalacağı söylenebilir.

3.3. Bulanık Mantık (BM)

3.3.1. Bulanık Mantık Hakkında Temel Bilgiler

Dünyadaki bazı olayları açıklamak için kesin tanımlamalarda bulunabilmek mümkün değildir ve olaylar çoğu kere belirsizlikler ve doğrusal olmama gibi özellikleri taşır. Bugüne kadar yapılan mühendislik model yöntemlerinde kabuller, basitleştirme ve varsayım uygulanarak karmaşık olan durumların kesinleştirilmesi sağlanmıştır. Bu zamana kadar yazılmış bilimsel çalışmalarda oluşturulan tüm formül ve denklemlerde varsayımlar ve kabuller kullanıldığından tam anlamıyla kesin sonuç vermezler. İnsan bilgisayarlardan farklı olarak yaklaşık düşünme özelliği ve belirsizlik durumundauygun çözüm bulma yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına Bulanık (Fuzzy) kaynaklar adı verilir (Şen, 2009).

Hidroloji bilim alanında klasik yöntemlerle (anahtar eğrisi, doğrusal regresyon) uygun modeller oluşturulamayabilir. Çünkü hidrolojik olaylar birçok değişkene bağlı olmakta ve doğrusal olmayan ilişkilere sahiptir. Bu türhidrolojik olayların analizi için basit, ekonomik ve kolay metotlar geliştirme yoluna gidilmiştir. Bununla birlikte olaylar bulanıklık perspektifinde ele alındıkça, çok daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Bulanık Mantık, bu yaklaşım için kullanılabilir olduğunda etkili bir mantık anlayışıdır.

Lütfü Askerzade (Lotfi Zadeh) 1964 yılında başladığı Bulanık Mantık ile ilgili çalışmasını, 1965 yılında "Fuzzy Sets" isimli makalesiyle oluşturmuştur. Zadeh bu çalışmasında Bulanık Mantık hakkında bilgiler vermiştir. Bu çalışmasında geçen bulanık sözcüğü matematiksel bir niceliği ifade etmektedir. Gerçek dünyanın genel görünümü, 0 ile 1 arasındaki yüzlerce aralıktan (benzerlikten ve tezatlıktan) oluştuğunu ve dünyanın, kesikli-kesintili durumlardan değil, sürekli-kesintisiz durumlardan meydana geldiğini belirtmiştir. Örneğin, kırmızı ile kırmızımsı arasındaki sınır, açık ve net olmamaktadır. Kırmızı'dan kırmızımsı renge geçişte kesintisiz bir geçiş vardır. Bu geçiş ise sürekliliği ifade etmektedir.

Kesinlik diye bir şey yoktur. Mutlak kesin olan hiçbir şey yoktur. Her şeyi, matematiksel olarak ifade edersek, 0 ile 1 arasındaki sınırdadır (Semed, 2000: 84).

Bulanık Mantık ilk kez 1973 yılında, Londra'daki Queen Mary College'de profesör olan H. Mamdani tarafından bir buhar makinesinde uygulandı. Ticari olarak ise Bulanık Mantık kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması 1980 yılında gerçekleşmiş. Danimarka'daki bir çimento fabrikasında (F.L. Smidth) değirmen içinde çok hassas bir denge ile oranlanması gereken sıcaklık ve oksijen ayarı en uygun bir biçimde yapılmıştır (Günel, 1997).

Bulanık Mantık kullanılarak elde edilen sistem, 1988 yılının Ekim ayında Tokyo Borsası'nda yaşanan krizi 18 gün önceden haber vermiştir. Başarılı sonuçlar elde eden bulanık mantığa olan ilgi artmış, uluslararası bir çalışma ortamı oluşturabilmek amacıyla 1989 yılında aralarında SGS, Thomson, Omron, Hitachi, NCR, IBM, Toshiba ve Matsuhita gibi dünya devlerinin de bulunduğu 51 firma tarafından LIFE (Laboratory for Interchange Fuzzy Engineering) laboratuvarları kurulmuştur (Günel,1997).

Klasik mantık ile Bulanık Mantığı kıyaslırsak; klasik mantıkta bir şey ya tümüyle siyahtır ya da tümüyle beyazdır, Bulanık Mantıkta ise bir şey kısmen siyah ve kısmen beyaz olabilir. Çizelge 3.1'de klasik mantık ve Bulanık Mantık arasındaki bazı farklılıklar gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Klasik mantık ve Bulanık Mantık arasındaki farklılıklar

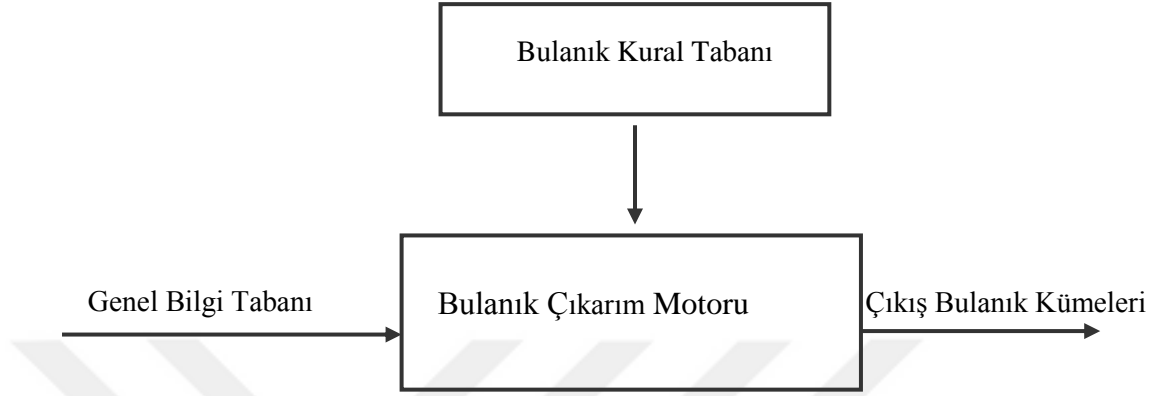
Klasik Mantık	Bulanık Mantık
B <u>v</u> eya B Değil	B <u>ü</u> e B Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

Klasik mantık sistemlerinin çalışma düzeni Şekil 3.3'te verilmiştir. Sistem davranışı tektir.



Şekil 3.3. Klasik sistem çalışma düzeni

Bulanık sistemlerin klasik sistemden farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak Şekil 3.4'te gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 3.4. Genel bulanık sistem çalışma düzeni

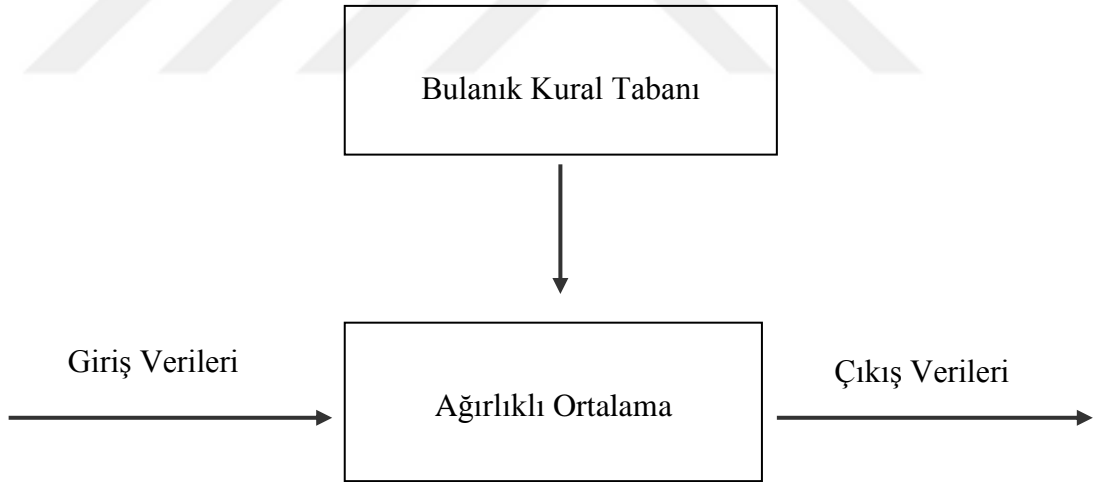
Buradaki her birimlerin birbirinden farklı, ama birbiri ile ilişkili olabilen görevleri vardır. Bunlar;

- 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.
- 2) **Bulanık kural tabanı birimi:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER-İSE türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür.
- 3) **Bulanık çıkarım motoru birimi:** Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsinin 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.

Şekil 3.4 temel bir genel bulanık sistemi ifade eder. Yani Şekil 3.4'teki sistemde, her birim tamamen bulanık kümelerden oluşmaktadır. Temel bulanık sistemin en önemli

mahzuru, sayısal olan veri tabanının böyle bir genel bulanık sisteme girememesi ve çıktılarının sayısal olmaması dolayısıyla mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılamamasıdır (Şen, 2009).

Genel bulanık sistemlerin mahzurlarını bir dereceye kadar ortadan kaldırabilmek için Takagi ve Sugeno (1985), Sugeno ve Kank (1988) tarafından teklif edilen ve Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi denilen sistem kullanılır. Burada veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorunun çalışması sonunda elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklindedir. Yani kural tabanındaki öncül kısımların değişkenleri olduğu gibi “ise”den sonraki kural soncul kısmına bu değişkenlerin birer doğrusal fonksiyonu olarak yansıtıldığı düşünülmüştür. Bütün kuralların soncul kısımları sanki birçoklu doğrusal denklemden ibarettir. Böyle bir yapıya sahip olan bulanık sistemde soncul bulanık küme şeklinde olmadıklarından Şekil 3.4’teki bulanık çıkarım motoru yerine her bir kuralın öncül kısmından hesaplanan üyelik dereceleri ağırlık olmak üzere ağırlıklı çıkarım hesaplaması birimi gelir (Kişi, 2002). Bu sistem Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5.Takagi-Sugeno-Kank (TSK) bulanık sistemi

3.3.2. BM’de Model Oluşturma

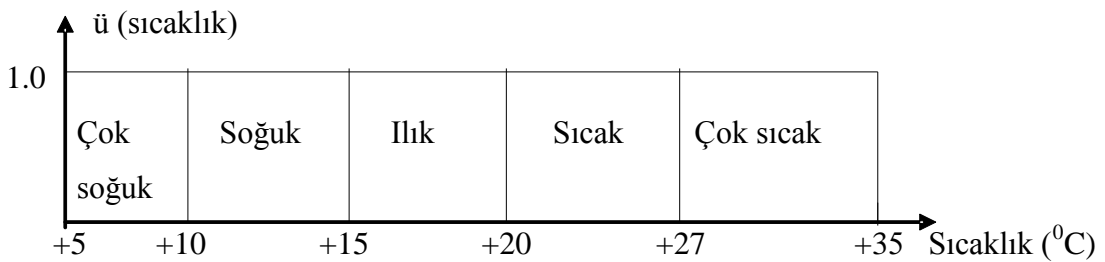
Bulanık Mantık modeli oluşturulurken, önce uygun bulanık kümeler oluşturulur. Sonrasında kümeler arasında mantıksal ilişki kurularak Bulanık Mantık kuralları

meydana getirilir. Girdilerin klasik küme şeklindeki aralıklarının 0 ile 1 arasında değişen değerlere (üyelik derecesi değerleri) dönüştürülerek bulanıklaştırılır. Bulanık olan ifadelerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi durulaştırma yapılıdır.

3.3.2.1. Üyelik Fonksiyonları

Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal ifade, o aralık hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela, İskenderun’da 2016 yılı için sıcaklık derecesinin değişim aralığının ortalama +5 °C’den +35 °C’ye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İskenderun 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 aralıklar belirlenir. Mesela çok soğüğün +5 °C ile +10 °C, soğüğün +10 °C ile +15 °C, ılığın +15 °C ile +20 °C, sıcaklığın +20 °C ile +27 °C, çok sıcaklığın ise +27 °C’den başladığını kabul edelim. Her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır. Bu alt kümeler ile oluşturulan sıcaklık uzayı Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

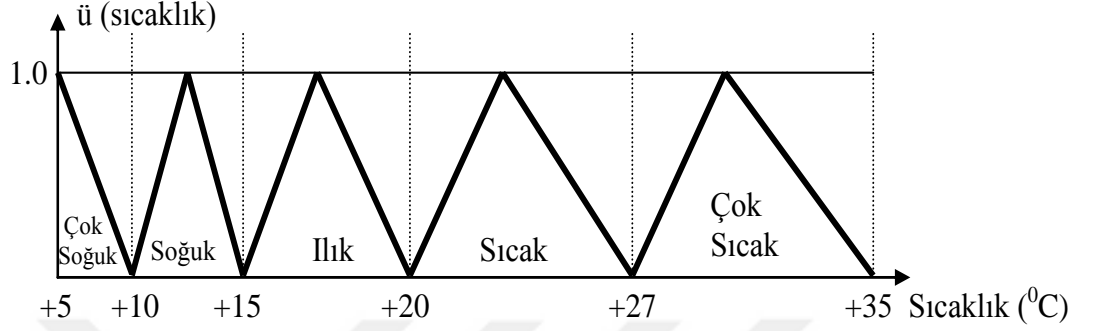
Bu aralıkların sınırlarında yine ikili mantığa (1 veya 0 mantığı) göre katı kararlar geçerlidir. Örneğin +14.9 °C’nin soğuk +15.1 °C’nin ise ılık olduğuna karar verilir. Bu şekilde gösterim bakımından önemli bir noktada, her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin sadece o aralıkta 1’e, diğer aralıklarda ise 0’a eşit olduğudur. Bu nedenle, her sıcaklık alt kelimesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1’e eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir.



Şekil 3.6. Bitişik dikdörtgen gösterim

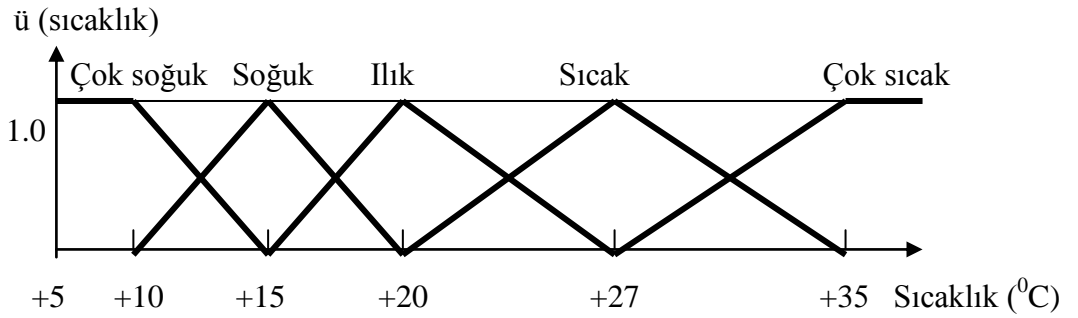
Şekil 3.7’de de en basit üçgen üyelik fonksiyonları bitişik olarak alınmıştır. Bu üçgenlerin de sıcaklık alt kümelerini tam yansıtmadığı açıktır. Çünkü yine sınırlardaki sıcaklık değerlerinin üyelik dereceleri sıfır olarak alınmıştır. Ayrıca, bu sınır değerleri

ne alttaki ne de üstteki sıcaklık alt kümelerine dâhildir. Böylece, sınır değerler için tam anlamı ile bir belirsizlik vardır. Diğer taraftan, Şekil 3.7'deki alt aralıklar halen klasik mantığa göre işlem görür. Çünkü bir alt aralığa düşen sıcaklık değeri sadece o alt aralığa aittir, ancak Şekil 3.6'dan farklı olarak üyelik derecesi 1'e eşit değildir.



Şekil 3.7. Bitişik üçgen gösterim

Ancak mantıklı düşünmek gerekirse, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmaması ve bir örtüşmenin olması gerekir. Çünkü herkesin ılık sınırlarının 15 °C ile 20 °C'de sıfır üyelik derecelerine sahip olacağını kabul etmek doğru olmaz. Günlük hayatta sınıra yakın olan değerlerin hangi aralığa düşeceği şüpheli yani bulanıktır. Böylece sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile sonuçta Şekil 3.8'de verilen üyelik fonksiyonları karşımıza çıkar.

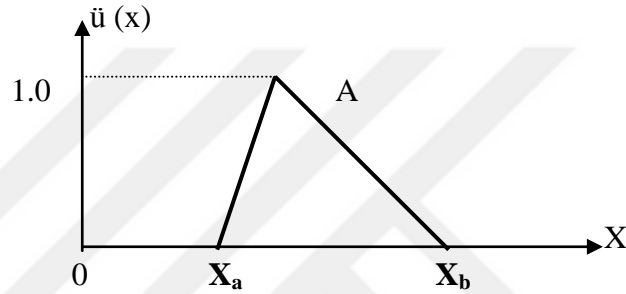


Şekil 3.8. Örtüşmeli üçgen gösterim

Burada sorun her alt aralığa, örneğin ılık aralığına düşen sıcaklık derecelerinin hepsinin aynı önemde olup olmayacağıdır. Doğal 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 vasfına sahip olacağı söylenemez. Böylece her bir alt aralığa düşen sıcaklık

derecelerinin, o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında önemlerini ortaya kıyasla göreceli olarak kaybedeceği sonucuna, buradan da eğer bir alt aralıkta önem derecesi diye bir değer düşünülecek olursa bunun en büyük değerlerinin o alt aralığın ortalarında, en düşük değerlerinin ise uçlarda olacağını söyleyebiliriz.

Genel olarak, her alt aralığın ayrık üyelik fonksiyonu Şekil 3.9'da 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, o X değişkeninin bir alt kümesini teşkil eder.



Şekil 3.9.A bulanık kümesi için üyelik fonksiyonu

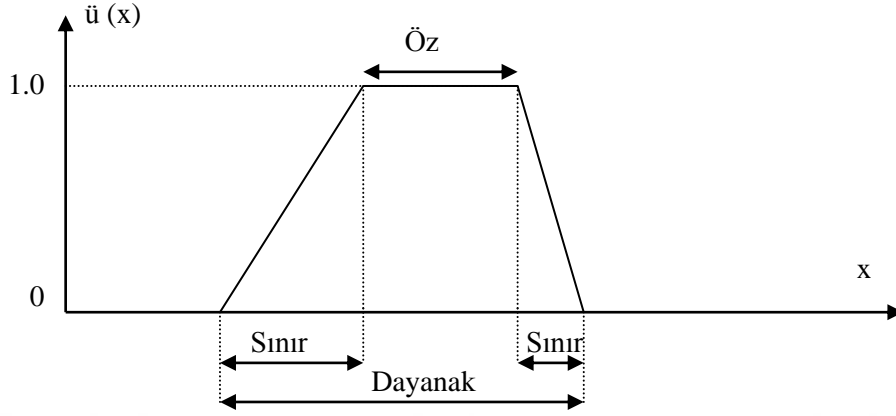
Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Bunun en önemli özellikleri, alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalıklı ve sürekli değiştiği sonucuna varılır.

3.3.2.2. Üyelik Fonksiyonunun Kısımları

En genel hali ile yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonu Şekil 3.10'da gösterildiği gibi değişik kısımlara sahiptir.

Buradaki gibi verilen bir bulanık alt kümede bir değil, birden fazla öğenin üyelik derecesi 1'e eşit alınabilir. Böyle üyelik derecesine sahip olan öğeler alt kümenin orta kısmında toplanmıştır. İşte üyelik dereceleri 1'e eşit olan öğeler toplandığı alt küme kısmına, o alt kümenin özü denir. Burada $\bar{u}(x) = 1$ 'dir. Üçgen şeklindeki üyelik

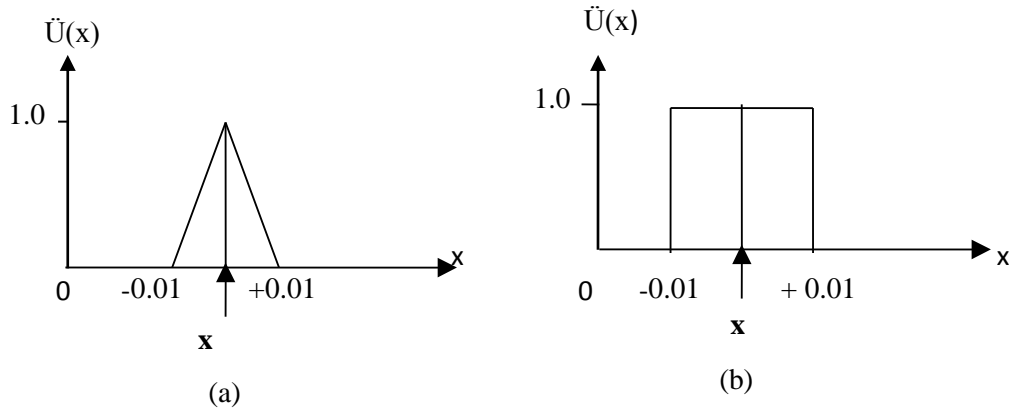
fonksiyonunda bir tane ögenin üyelik derecesi 1'e eşit olduğundan, üçgen üyelik fonksiyonlarının özü bir nokta olarak karşımıza çıkar (Kişi, 2002).



Şekil 3.10. Üyelik fonksiyonu kısımları

3.3.2.3. Bulanıklaştırma

Klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık 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 sayısal olmayan durumlardan kaynaklandığı durumlarda bulanıklıktan söz edilir. Özellikle, bazı cihazların hassaslığı mesela \pm %1'lik hassaslık miktarı, ölçülen x büyüklüğünün $x+0.01$ ve $x-0.01$ arasında değişeceği beklentisini ifade eder. Bunun klasik ve bulanık kümelerde gösterilimi Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Hassaslık miktarı (a) bulanık mantık (b) klasik mantık

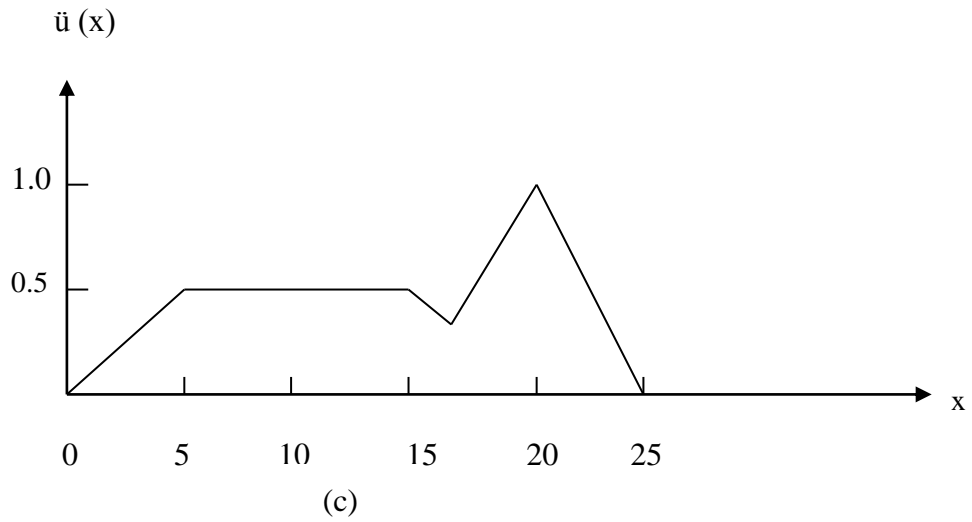
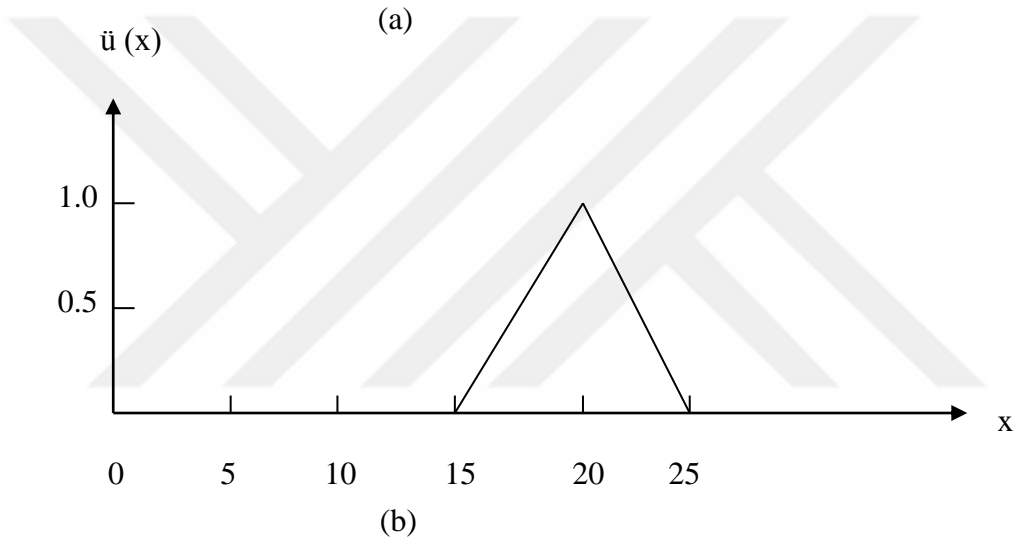
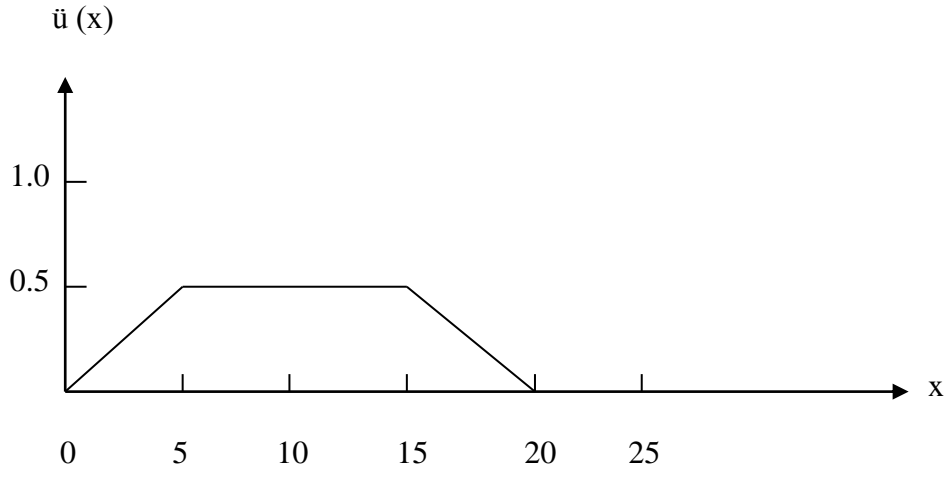
3.3.2.4. Durulaştırma

Mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumlara gerekli cevapların verilmesi için bulanık halde bulunan bilgilerin durulaştırılması gerekmektedir. Bulanık olan bu bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan tüm işlemlere durulaştırma işlemleri denir.

Yapılan işlemler sonrasında bulanık sonuçlardan bir tanesi Şekil 3.12a'daki gibi yamuk, diğ erinin ise Şekil 3.12b'deki gibi üçgen şeklinde olduğunu varsayalım. Bunların ikisinin birleşimi ise yapılan son işlem sonrası bulanık çıkarım olsun. Şimdi son dışbükey olmayan bulanık kümeden tek sayılı bir tasarım büyüklüğünün çıkartılması düşünölsün. İşte bunun için durulaştırma işleminin yapılması gerekmektedir.

Şekilde, 2 tane bulanık kümenin birleşimi ile elde edilen bulanık çıkarım gösterilmiştir. Ancak, değişik şekilleri olan çarpımların iki veya daha fazla sayıdaki temel bulanık kümelerden çıkması mümkündür.

Bundan sonraki kısımda 3 çeşit durulaştırma yöntemi anlatılacaktır. Bunların hangisinin kullanılacağına araştırma yapan kişinin, elindeki sorunun türüne göre karar vermesi gerekmektedir.

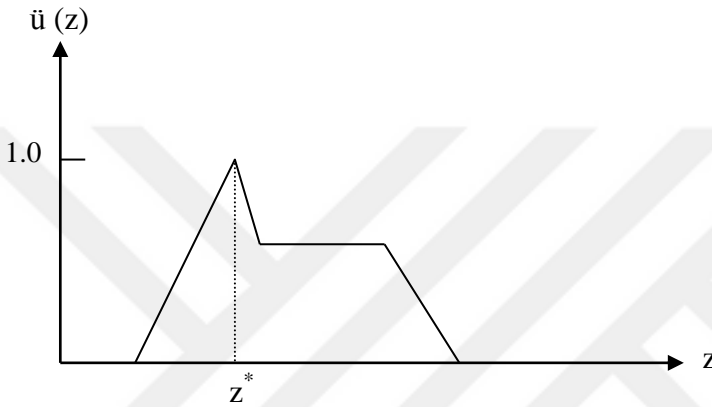


Şekil 3.12. Tipik bulanık küme çıktısı, (a) bulanık girdi ilk kısım, (b) bulanık girdi ikinci kısım, (c) ikisinin birleşimi

3.3.2.5. En Büyük Üyelik İlkesi

Yükseklik yöntemi de denilmektedir. Kullanılması için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Adından da anlaşılacağı üzere en büyük üyelik derecesi seçilmektedir.

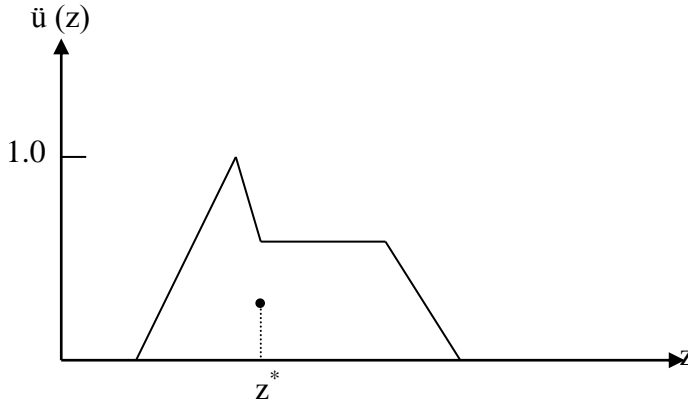
$\bar{u}_c(z^*) \geq \bar{u}_c(z)$ tüm $z \in Z$ olur. Çıkarım bulanık kümesi Z , öğeleri z ve durulaştırılmış değeri ise z^* ile gösterilmiştir (Şen, 2009).



Şekil 3.13. En büyük üyelik derecesi durulaştırması

3.3.2.6. Sentroid Yöntemi

Diğer adı da ağırlık merkezi yöntemidir. Durulaştırma işlemlerinde, belki de en yaygın olarak kullanılan işlem budur. Bulanık kümenin ağırlık merkezi bulunup o noktadaki üyelik derecesi dikkate alınır.



Şekil 3.14. Sentroid yöntemi ile durulaştırması

Şekil 3.14’de gösterilmiş olan bu durulaştırmanın matematik işlemi aşağıdaki denklem vasıtası ile yapılır (Şen, 2009).

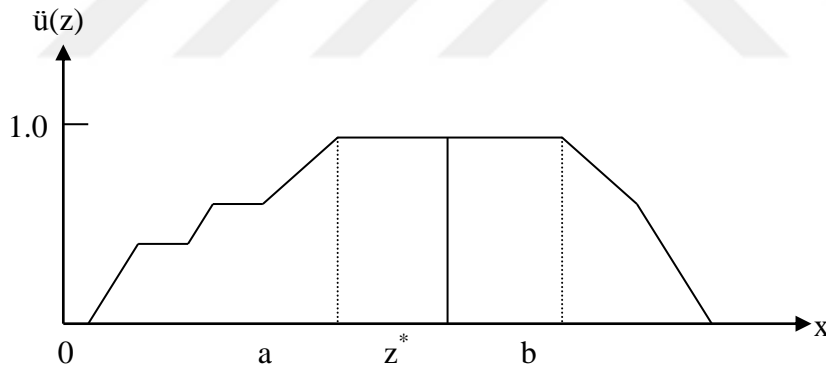
$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_\zeta(z) \cdot z dz}{\int \ddot{u}_\zeta(z) dz} \quad (3.4)$$

3.3.2.7. Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi

Bu metot aynı zamanda en büyüklerin orta noktası olarak da bilinir. En büyük üyeliğin konumu tekil olmayabilir. Bunun anlamı üyelik fonksiyonunda en büyük üyelik derecesine sahip olan, $\ddot{u}_A(z) = 1$, bir nokta yerine birkaç nokta ve $\ddot{u}_A(z) = 1$ olan düzlük kısmı bulunabilir. Şekil 3.15’de durulaştırma işlemi gösterilmiş olup, matematiksel olarak

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilir (Şen,2009).



Şekil 3.15. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması

Literatürde bulanık kural tabanında modelleme çeşitleri iki tanedir. Bunlardan biri Mamdani (Mamdani-BM), diğeri ise Sugeno (Sugeno-BM) yöntemidir.

3.3.3. Mamdani Tipi Bulanık Yaklaşım (Mamdani-BM)

Bu modelleme, bulanık modellemelerde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, sözel bulanık model “eğer-o halde” kuralları şeklinde nitel bilginin kullanılabilmesi için olanak sağlamaktadır. Kuralların oluşturulmasından sonra elde edilen bulanık çıktılar ağırlık merkezi, ortalama merkezi, en büyüklerin ortası gibi çeşitli metotlar kullanılarak durulanmış çıktı haline getirilirler. İyi bir durulama stratejisi seçmek için sistematik bir işlem yoktur ve problemin özelliklerine göre bir yöntem seçilmelidir.

3.3.4. Sugeno Tipi Bulanık Yaklaşım (Sugeno-BM)

Mamdani modeli genelde uzman sistemlerin geliştirilmesi için kullanılırken, veriden hareketli yaklaşımda ise Sugeno-BM modeli daha çok uygulanmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004). Mamdani metodunda sözel bulanık önermeler “eğer-o halde” kuralları ile tanımlanırken, Sugeno bulanık modeli sonuç kısmında kesin fonksiyon bulundurmaktadır. Bu nedenle sözel modelle matematiksel regresyonun bir kombinasyonu olarak görülebilir. Mamdani ve Sugeno yöntemleri arasındaki en belirgin fark, Sugeno modelinin çıktısının üyelik fonksiyonlarının lineer ya da sabit olmasıdır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Uygulama Alanı ve Tanıtılması

Bu çalışmada, askıda katı madde konsantrasyon miktarı tahmini için uygulama alanı olarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Iowa Eyaleti'nde bulunan Des Moines County bölgesi (Hidrolojik Ünite No: 18020109) seçilmiştir. Skunk Nehri üzerindeki Augusta istasyonu (USGS İstasyon No: 05474000) incelenmiştir. Enlem $40^{\circ}45'13''$, Boylam $91^{\circ}16'37.0$ (NAD27 Kuzey Amerika Verisi), datum göstergesi deniz seviyesinden Gage Datum: yaklaşık 160 m (NGVD29 Ulusal Jeodezi Düşey Datum). Ayrıca bu çalışmada veri olarak, Augusta istasyonuna ait 5 su yılı ölçümleri için uygulama yapılmış ve veriler USGS (United States Geological Survey) web sayfasından alınmıştır.

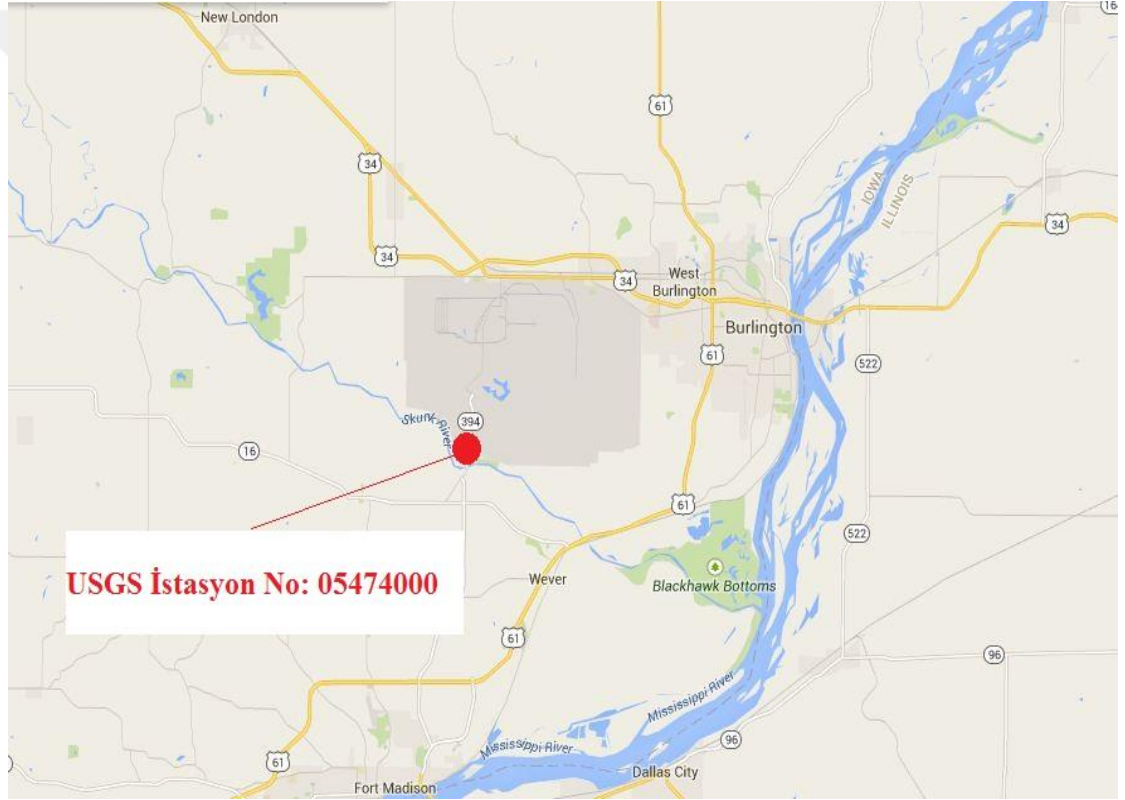
USGS Skunk nehri üzerindeki Augusta istasyonu genel görünümü Şekil 4.1'de ve uydu görüntüleri ise Şekil 4.2 ve 4.3'de ise gösterilmiştir.



Şekil 4.1. USGS Skunk nehri, Augusta istasyonu genel görünümü



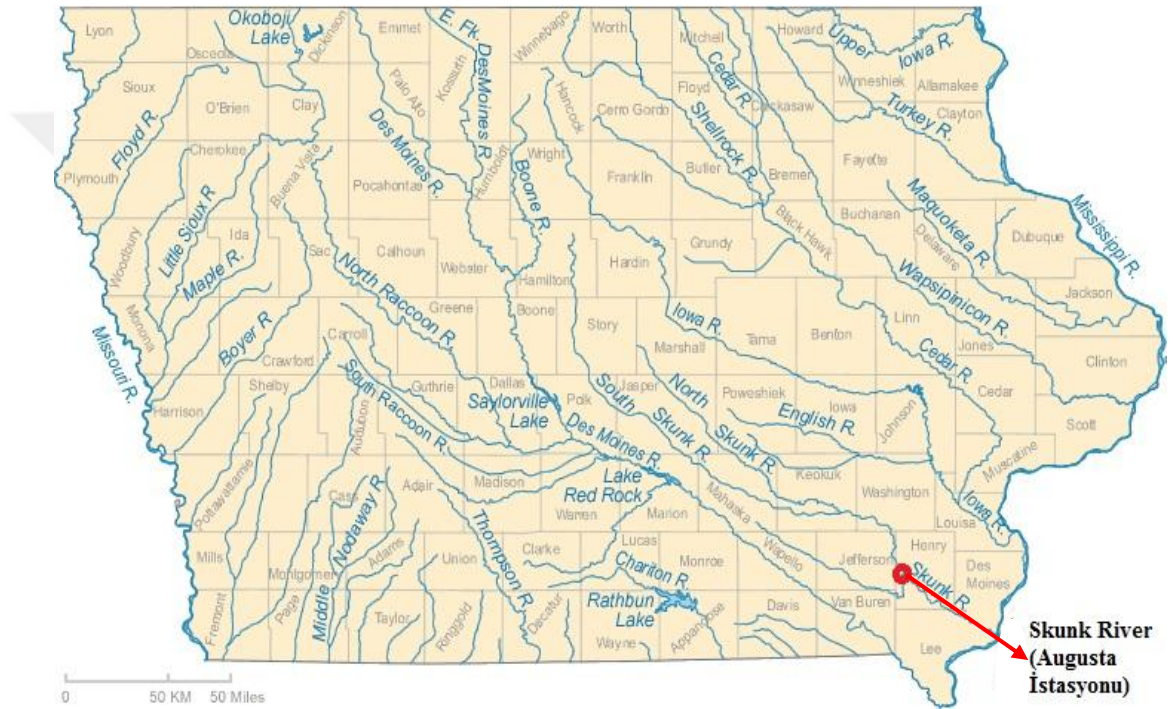
Şekil 4.2. USGS Skunk nehri üzerindeki Augusta istasyonu uydu (uzaktan) görünümü



Şekil 4.3. USGS Skunk nehri üzerindeki Augusta istasyonu uydu (yakından) görünümü

Dünyada su zengini kıtaların başında Kuzey Amerika kıtası gelmektedir. Yine tatlı su kaynakları yönünden en zengin 3 ülke sıra ile Brezilya, Rusya ve ABD'dir. Su zenginiolan ABD'de 800 km'den uzun 38 tane nehir bulunmaktadır. En uzun 3 nehri; Missouri (3768 km), Mississippi (3544 km) ve Yukon (3185 km) nehirleridir. En büyük havza alanlarına göre ise;Mississippi (3.27×10^6 km²), Saint Lawrence (1.6×10^6 km²)

km²) ve Missouri (1.37x10⁶ km²) nehirleridir. Akım debilerine göre ise; Mississippi (18400 m³/s), Saint Lawrence (12600 m³/s) ve Ohio (8733 m³/s) nehirleridir. ABD'deki önemli nehirlerin genel görünümü Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Skunk Nehri ABD'nin Iowa eyaletinde bulunan, Kuzey ve Güney Skunk Nehirlerinin birleşmesinden oluşan, 150 km uzunluğunda olan bir nehirdir ve Mississippi Nehri'nin bir koludur.

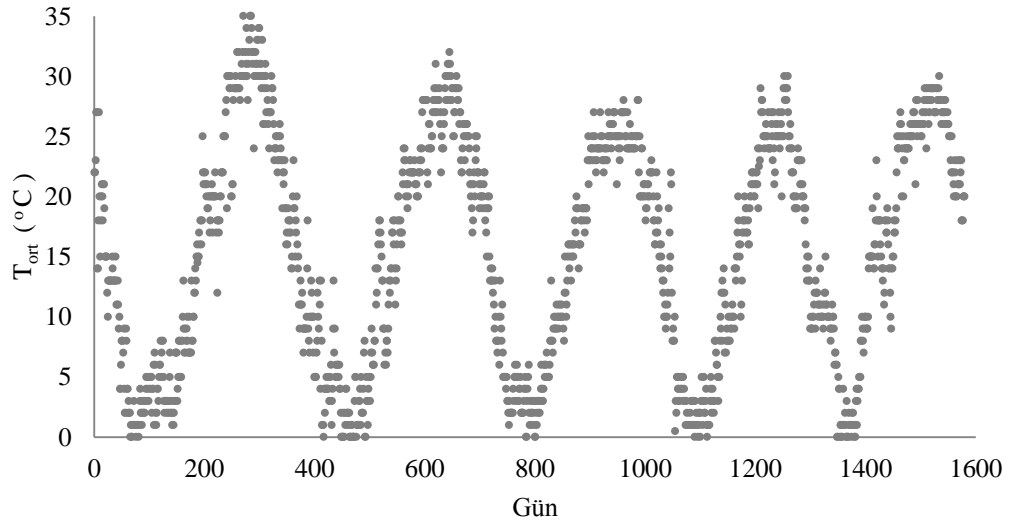


Şekil 4.4. Amerika Birleşik Devletlerindeki önemli nehirler

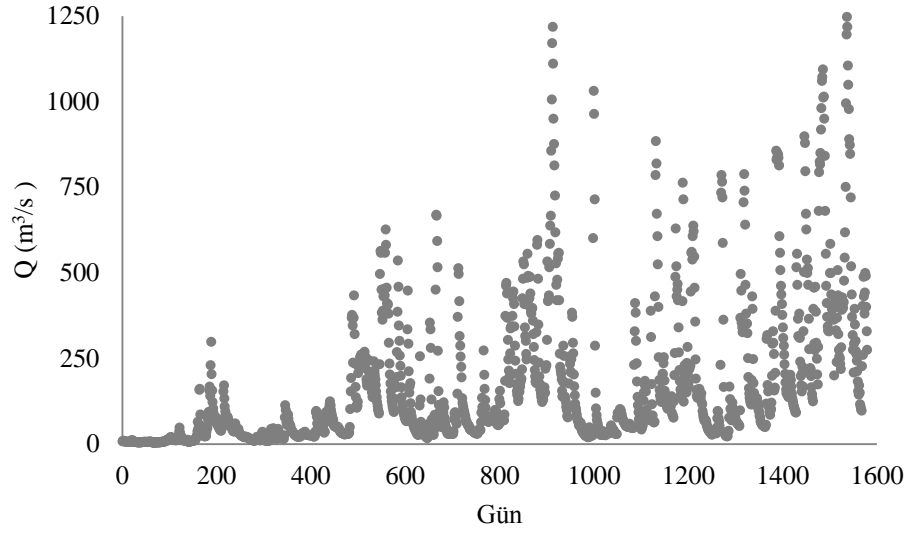
4.2. Oluşturulan Modeller ve Sonuçların Analizi

4.2.1. İstasyonda Ölçülen Verilerin Değerlendirilmesi

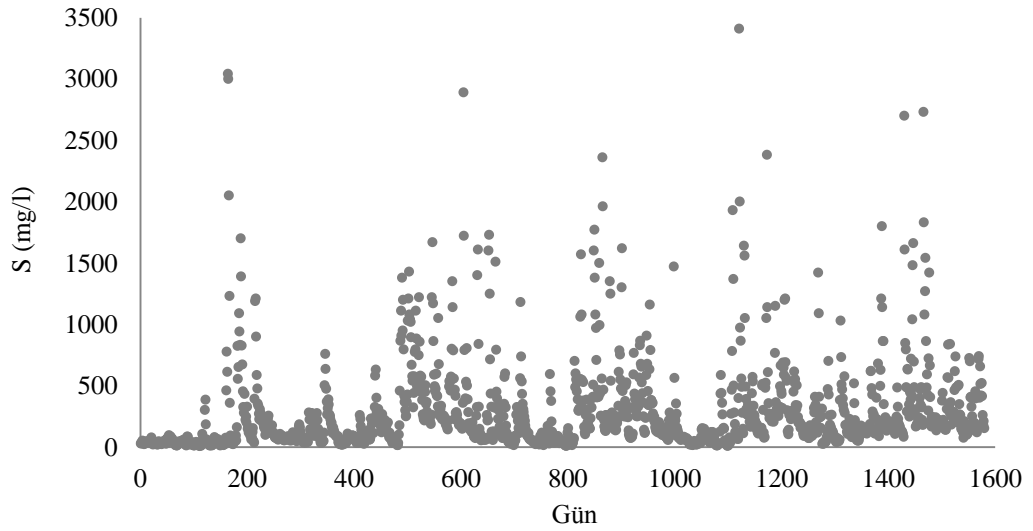
Bu tez çalışmasında, ABD'deki Skunk Nehri üzerinde Augusta istasyonundan alınan günlük ortalama su sıcaklığı, gerçek zaman akım debisi ve katı madde konsantrasyonu verileri kullanılarak hangi modelin daha iyi performans gösterdiği araştırılmıştır. Model performansları değerlendirmede kullanılan saçılım grafikleri için geçmişteki çalışmalar incelenmiştir (Kişi ve Zounemat, 2016; Demirci ve Baltacı, 2013). Veri olarak, Augusta istasyonuna ait beş su yılı için Amerikan Jeolojik Araştırma Merkezi (USGS) istasyon ölçüm verileri kullanılmıştır. Tahmin için beş yıllık (2005-2009) toplam 1580 günlük veriler kullanılmıştır. Kullanılan beş yıllık veriler için günlük ortalama sıcaklık (T_{ort}) Şekil 4.5'de, günlük debi (Q) Şekil 4.6'da ve günlük katı madde konsantrasyonu (S) değerleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. 5 yıllık veriler için günlük ortalama su sıcaklığı değerleri (T_{ort})



Şekil 4.6. 5 yıllık veriler için günlük debi değerleri (Q)



Şekil 4.7. 5 yıllık veriler için günlük katı madde konsantrasyon değerleri (S)

Bu çalışmada geçmişte yapılmış çalışmalarda olduğu gibi verilerin bir kısmı (%70) eğitim için kullanılırken kalan kısmı (%30) ise elde edilen modellerin test edilmesi için iki kısma ayrılmıştır. 5 su yılı içerisindeki 1580 veriden 1100 veri modellemelerin eğitilmesi için, 480 veri ise modellemelerin test edilmesi için kullanılmıştır. Augusta istasyonunun tüm istatistiksel parametre değişimleri eğitim için ayrılan istatistiksel parametre değişimleri ve test için ayrılan istatistiksel parametre değişimleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Bu çizelgelerde X_{max} , X_{min} , X_{ort}

sırasıyla verilerin maksimum, minimum, ortalama değerlerini simgeler. s_x , c_{sx} , ise sırasıyla standart sapmayı ve arpıklık katsayısını ifade etmektedir.

Çizelge 4.1. Augusta istasyonunun tüm istatistiksel parametre değişimleri

	Değişkenler	T_{ort} (°C)	$Q(m^3/s)$	S (mg/L)
Tüm Veriler	x_{max}	35	1245,9	3410
	x_{min}	0	3,1	7
	x_{ort}	15,3	169	274,2
	s_x	9,4	208,6	363,3
	c_{sx}	0,0	2,1	3,4

T_{ort} : Ortalama sıcaklık; Q: Akım debisi; S: Katı madde konsantrasyonu

Çizelge 4.2. Augusta istasyonunun eğitim ve test istatistiksel parametre değişimleri

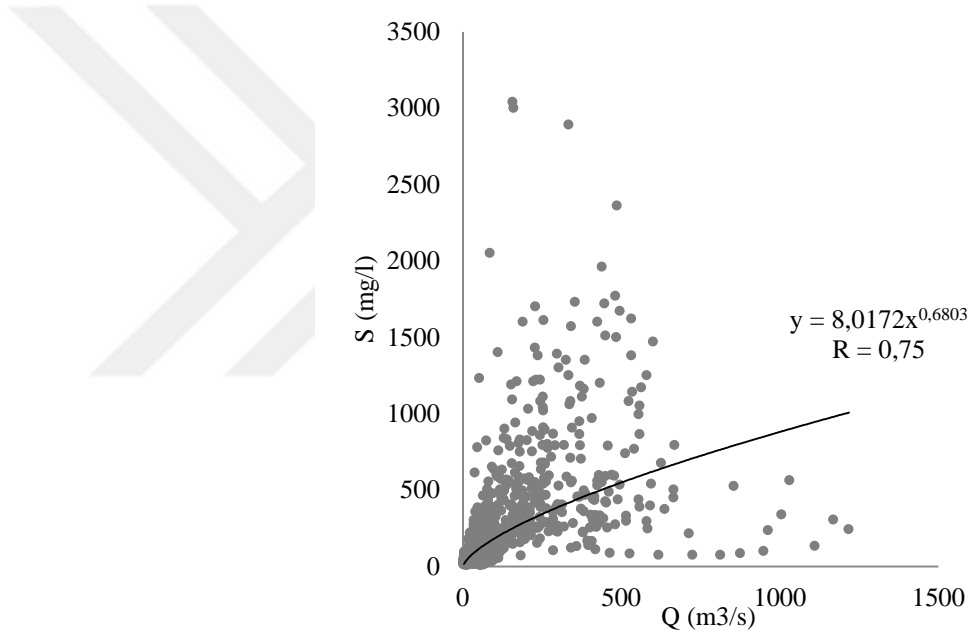
	Değişkenler	T_{ort} (°C)	$Q(m^3/s)$	S (mg/L)
Eğitim Verileri	x_{max}	35	1217,6	3040
	x_{min}	0	3,1	7
	x_{ort}	14,7	116,6	242
	s_x	9,7	159,5	345,2
	c_{sx}	0,1	2,7	3,4
Test Verileri	x_{max}	30	1245,9	3410
	x_{min}	0	21,6	14
	x_{ort}	16,6	289,1	348,1
	s_x	8,8	253,5	392,3
	c_{sx}	-0,3	1,4	3,4

T_{ort} : Ortalama sıcaklık; Q: Akım debisi; S: Katı madde konsantrasyonu

4.2.2. Modeller Ait Hesaplamalar ve Grafik Sonuçları

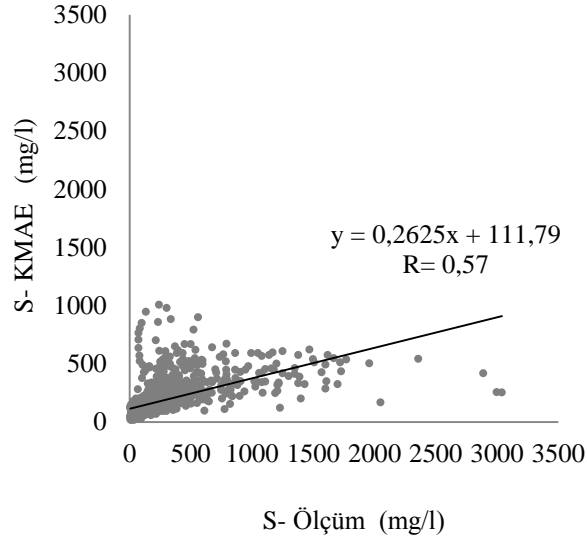
4.2.2.1. KMAE Modeli

Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) için yapılan çalışmada yaklaşık 5 yıllık veri için 1580 veriden ilk 1100 veri eğitim için kalan 480 veri de test için ayrılmıştır. İstasyondan alınan debi ve sediment konsantrasyon verilerine eğri uydurarak Katı Madde Anahtar Eğrisi izdirilmiştir. Bu eğriyi ifade eden denklemden bilinmeyen x değeri yerine, istasyondan ölçülen debi değerleri konularak KMAE için çıkan sediment konsantrasyon verileri elde edilmiştir. şekil 4.8'de eğitim verileri için Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) aşağıda gösterilmiştir.

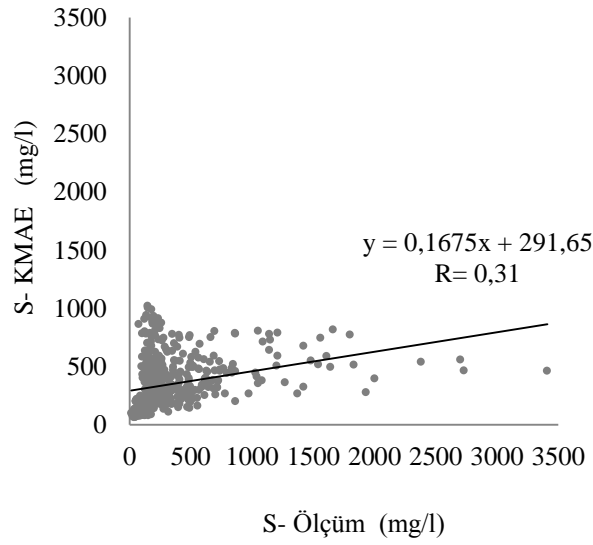


şekil 4.8. Eğitim verileri için Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE)

Katı Madde Anahtar Eğrisi belirlendikten sonra eğitim ve test için saçılım grafikleri çizilmiş ve bu saçılım grafikleri eğitim için şekil 4.9'da test için şekil 4.10'da gösterilmiştir.

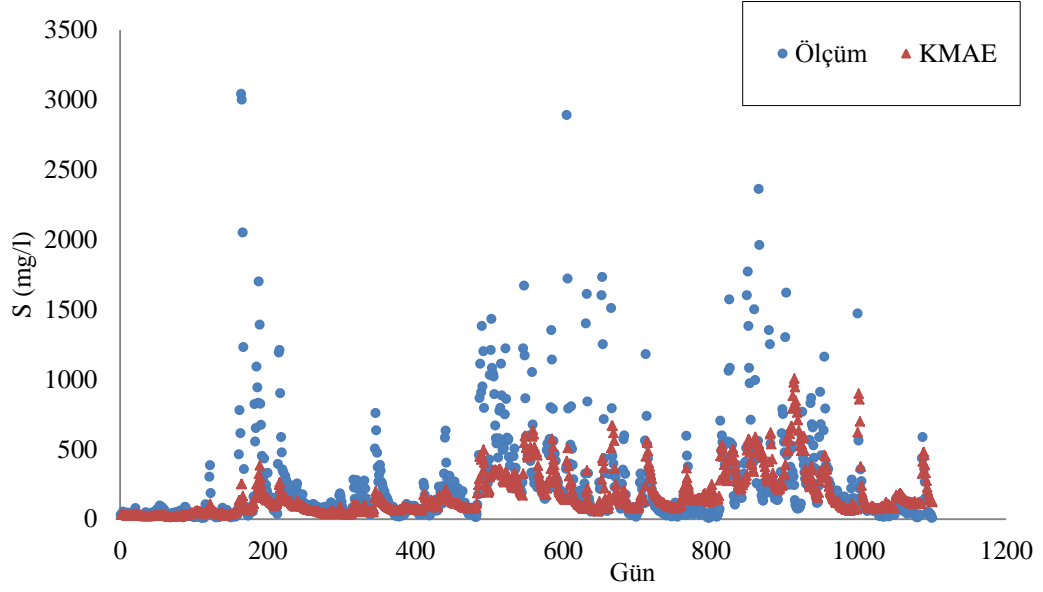


Şekil 4.9. Eğitim verileri için KMAE saçılım grafiği

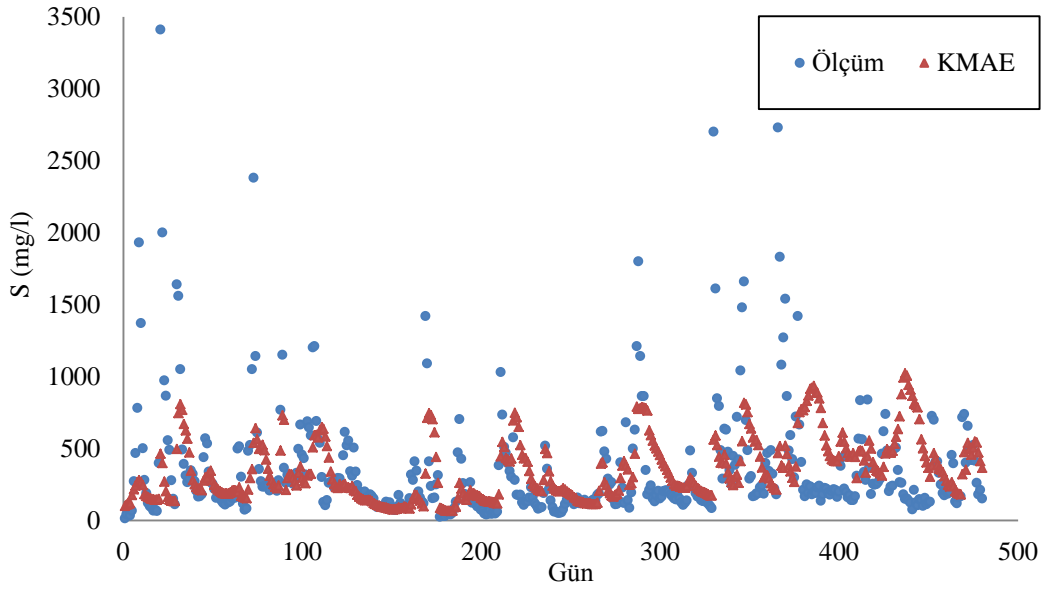


Şekil 4.10. Test verileri için KMAE saçılım grafiği

Oluşturulan grafiklerde eğitim için korelasyon katsayısı $R=0,57$ ve test için korelasyon katsayısı $R=0,31$ elde edilmiştir. Katı madde anahtar eğrisinin gözlenen değerler gerçek değerlere uzak tahmini değerler verdiği göze çarpmaktadır. Şekil 4.11’de eğitim verileri için, Şekil 4.12’de test verileri için, ölçüm değerleri ile KMAE sonuçları arasındaki dağılım grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.11. 5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve KMAE dağılım grafiği



Şekil 4.12. 5 yıllık test verileri için ölçüm ve KMAE dağılım grafiği

Eğitim ve test verileri için dağılım grafikleri incelendiğinde KMAE katı madde konsantrasyonu değerleri gerçek değerlere göre farklı tahmini değerler verdiği görülmüştür. Bu çalışmada eğitim ve test verileri için KMAE yöntemi düşük R değerine sahip olduğu ve dağılım grafikleri incelendiğinde ise istenilen tahminlerin yakalanamadığı ve istasyon ölçüm verilerinden oldukça düşük olduğu görülmektedir.

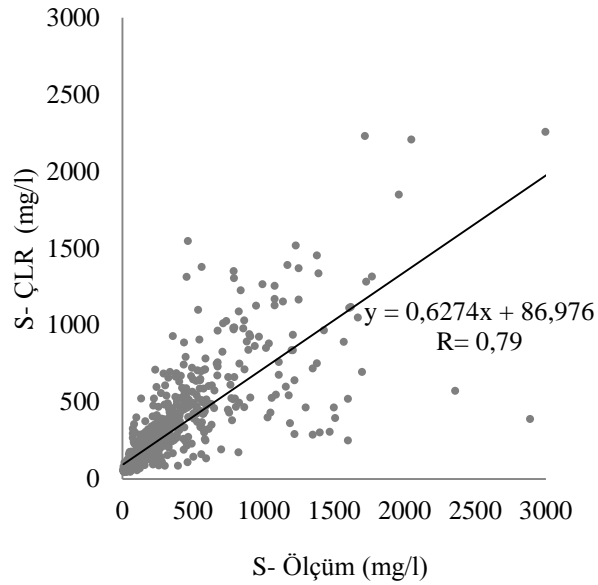
4.2.2.2. ÇLR Modeli

ÇLR modeli için diğer modellerde uygulandığı gibi 5 yıllık veriler değerlendirilmiş ve sonuçlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir. ÇLR model analizi için girdi değerlerimiz olarak ortalama sıcaklık (T_{ort}), akım debisi (Q) ve t-1 zaman ötelenmiş katı madde konsantrasyon miktarı (S_{t-1}) kullanılmıştır.

Eğitim verileri kullanılarak oluşturulan ÇLR model eşitliği (4.1)'de verilmiştir. Bu denklem aynı zamanda test verilerine de uygulanmıştır.

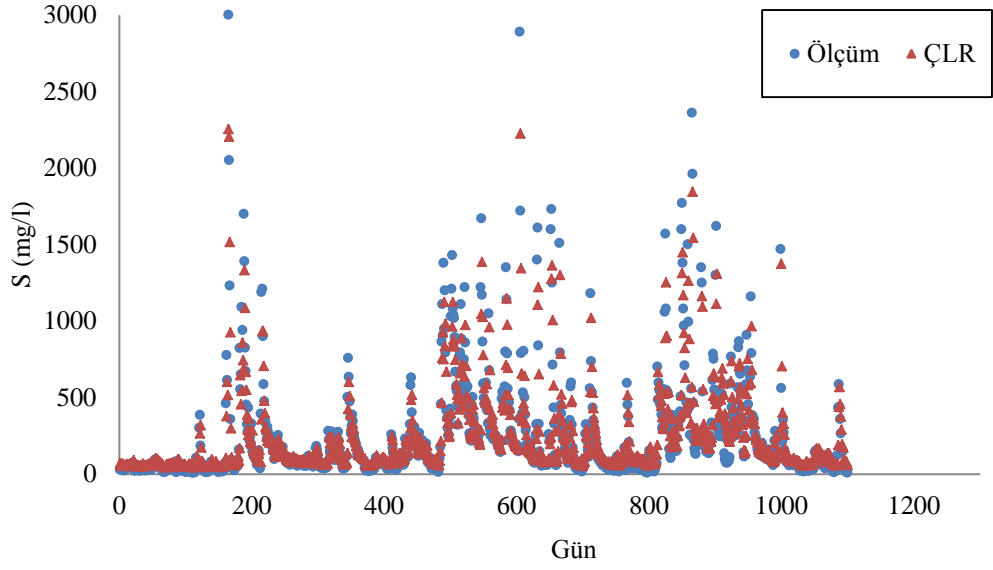
$$y = 34,64 + 0,109T + 0,28Q + 0,715S_{t-1} \quad (4.1)$$

5 yıllık eğitim verileri için, Şekil 4.13'de ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği, Şekil 4.14'de dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği

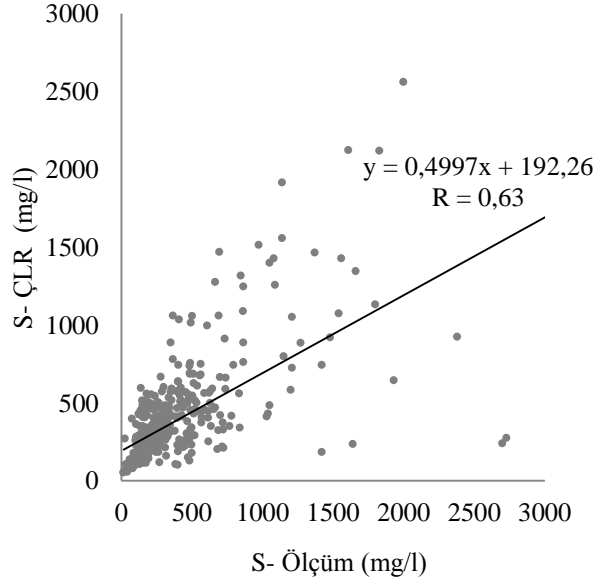
Eğitim için oluşturulan saçılım grafiğinde korelasyon katsayısı $R=0,79$ elde edilmiştir. ÇLR tahminleri KMAE değerlerinden daha iyi sonuçlara sahiptir.



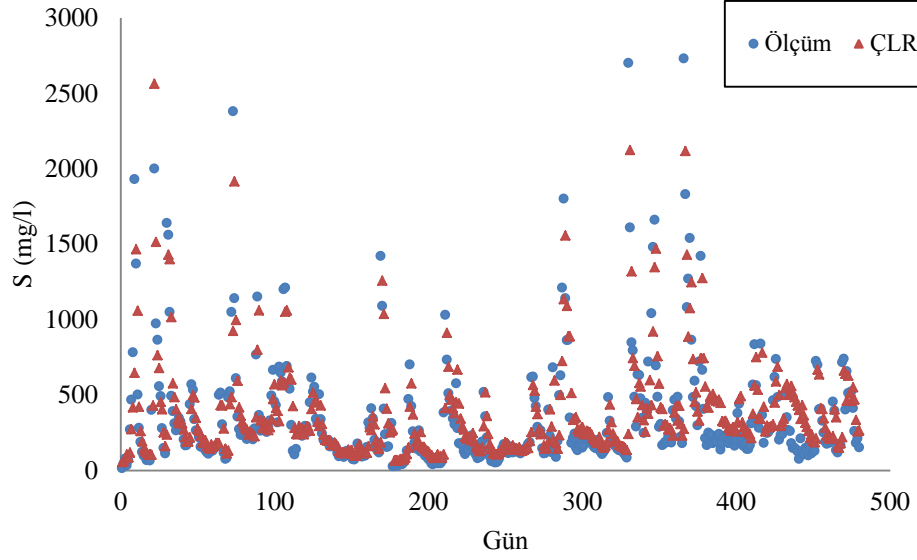
Şekil 4.14. 5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği

Eğitim verileri için oluşturulan dağılım ve saçılım grafiklerinde ÇLR değerleri gerçek değerlere göre küçük değerlere sahip olsa da KMAE 'ye göre daha iyi dağıldığı görülmektedir.

Şekil 4.15'de ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği, Şekil 4.16'de dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.15. 5 yıllık test verileri için ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği



Şekil 4.16. 5 yıllık test verileri için ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği

Test aşamasında oluşturulan saçılım grafiğinde korelasyon katsayısı $R=0,63$ olarak elde edilmiştir. ÇLR test veri tahminleri, eğitim veri tahminlerinden daha düşük sonuç vermiştir. Test aşamasındaki ÇLR tahminleri günlük gerçek zamanlı askı malzemesi konsantrasyon değerleri KMAE değerlerinden daha iyi sonuç vermesine rağmen gerçek değerlere uzak tahmini değerler vermektedir. Dağılım ve saçılım grafiklerinde ÇLR değerleri gerçek değerlerden daha küçük değerler çıktığı gözlemlenmiştir. Aşağıdaki şekillerde test verileri için dağılım ve saçılım grafikleri gösterilmiştir.

4.2.2.3. BM Modeli

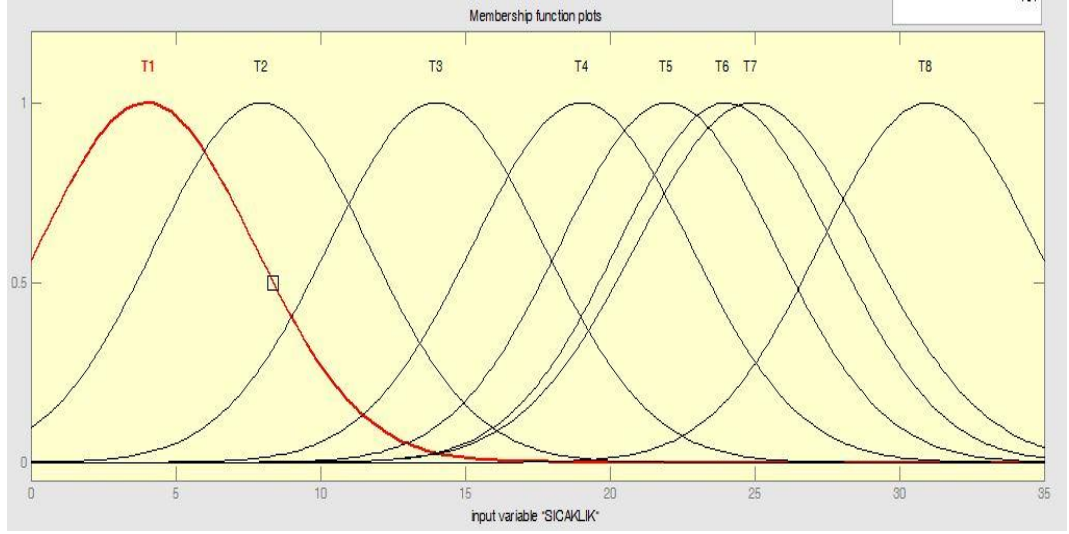
BM modeli için diğer modellerde uygulandığı gibi 5 yıllık veriler, eğitim ve test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. BM model analizi için girdi değerlerimiz olarak ortalama sıcaklık (T_{ort}), akım debisi (Q) ve t-1 zaman ötelenmiş katı madde konsantrasyon miktarı (S_{t-1}) kullanılmıştır.

BM model için diğer modellerde uygulandığı gibi 5 yıllık veriler değerlendirilmiş ve sonuçlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Aşağıdaki şekillerde 5 yıllık veriler için girdi değerlerimiz olan ortalama sıcaklık (T_{ort}), akım debisi (Q) ve t-1 zaman ötelenmiş katı madde miktarı (S_{t-1}) için bulanık alt küme üyelik fonksiyonları

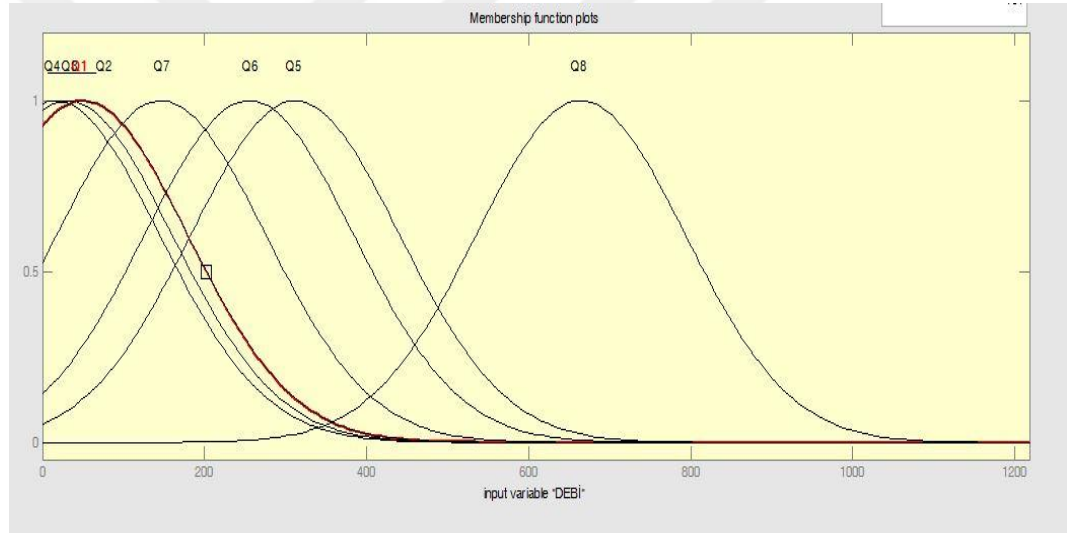
gösterilmiştir. Girdi değişkenleri için gauss tipi üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Literatürde üçgen, trapez, gauss vb. şeklinde üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır.

Üyelik fonksiyonları oluşturduktan sonra uygun kurallar belirlenir. Bu model için 8 kural oluşturulmuştur. Bunlar aşağıda gösterilmiştir. Burada ortalama sıcaklık, debi, t-1 ötelenmiş katı madde ve katı madde miktarlarına ait her bir üyelik fonksiyonları T_1, T_2, \dots, T_8 ile, $Q_1, Q_2, \dots, Q_8, S_1, S_2, \dots, S_8$ ve SS_1, SS_2, \dots, SS_8 ile belirtilmiş ve bu üyelik fonksiyonları Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

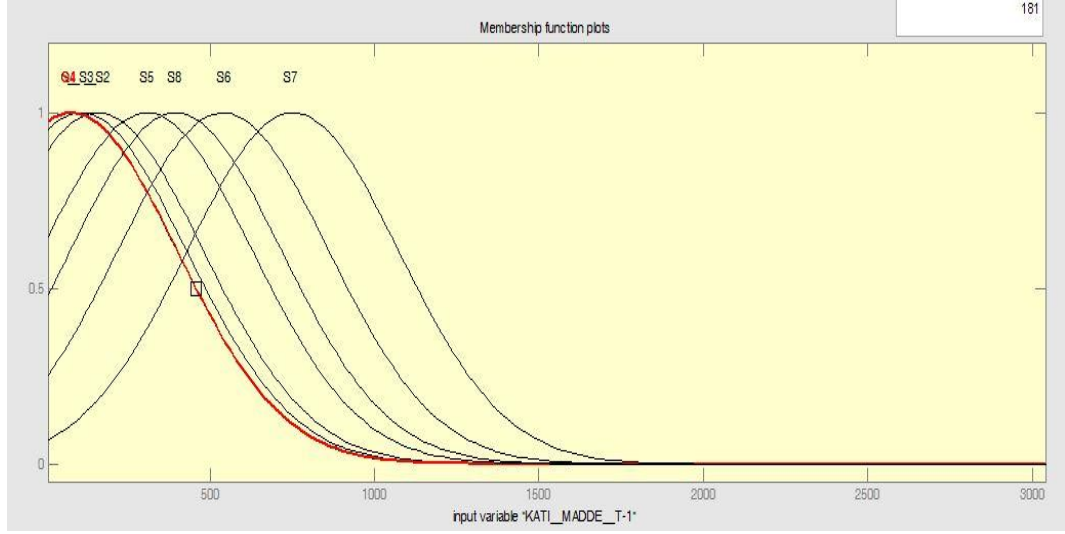
- 1.Kural: Eğer ortalama sıcaklık " T_1 " ve debi " Q_1 " ve ötelenmiş katı madde " S_1 " ise katı madde konsantrasyon miktarı SS_1 ;
- 2.Kural: Eğer ortalama sıcaklık " T_6 " ve debi " Q_2 " ve ötelenmiş katı madde " S_2 " ise katı madde konsantrasyon miktarı SS_2 ;
- 3.Kural: Eğer ortalama sıcaklık " T_3 " ve debi " Q_3 " ve ötelenmiş katı madde " S_3 " ise katı madde konsantrasyon miktarı SS_3 ;
- 4.Kural: Eğer ortalama sıcaklık " T_8 " ve debi " Q_4 " ve ötelenmiş katı madde " S_4 " ise katı madde konsantrasyon miktarı SS_4 ;
- 5.Kural: Eğer ortalama sıcaklık " T_4 " ve debi " Q_5 " ve ötelenmiş katı madde " S_5 " ise katı madde konsantrasyon miktarı SS_5 ;
- 6.Kural: Eğer ortalama sıcaklık " T_2 " ve debi " Q_6 " ve ötelenmiş katı madde " S_6 " ise katı madde konsantrasyon miktarı SS_6 ;
- 7.Kural: Eğer ortalama sıcaklık " T_7 " ve debi " Q_7 " ve ötelenmiş katı madde " S_7 " ise katı madde konsantrasyon miktarı SS_7 ;
- 8.Kural: Eğer ortalama sıcaklık " T_5 " ve debi " Q_8 " ve ötelenmiş katı madde " S_8 " ise katı madde konsantrasyon miktarı SS_8 ;



Şekil 4.17. 5 yıllık T_{ort} için bulanık alt kümesi üyelik fonksiyonları

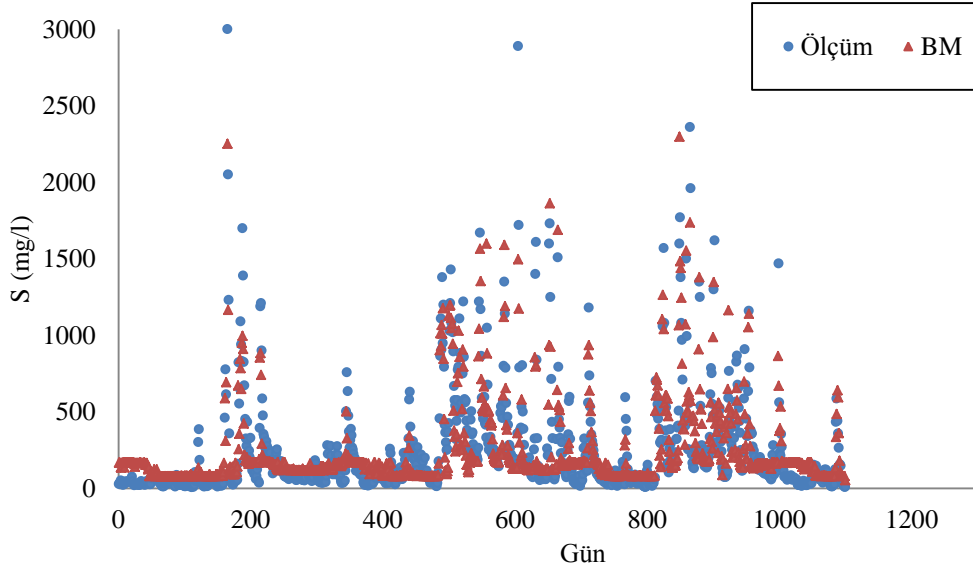


Şekil 4.18. 5 yıllık Q için bulanık alt kümesi üyelik fonksiyonları

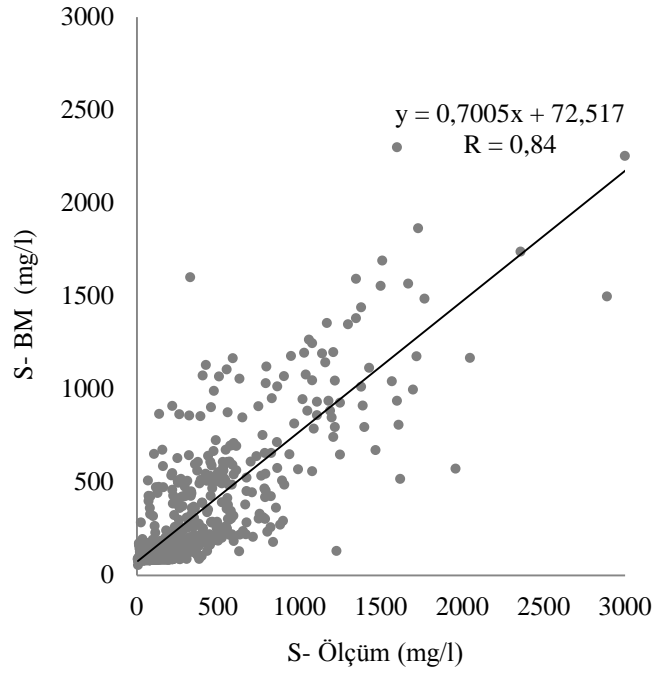


Şekil 4.19. 5 yıllık S_{t-1} için bulanık alt kümesi üyelik fonksiyonları

5 yıllık verilerde olduğu gibi eğitim ve test olarak iki kısma ayrılan veriler üç girdi bir çıktı olarak Matlab Bulanık Mantık kısmına girilir oluşturulan kurallara göre sonuçlar alınır. Sıcaklık ve akım ile sediment konsantrasyonu arasındaki kurallar oluşturularak sonuçlar elde edilir. Matlab programında oluşturulan 5 yıllık veriler için BM modeller değerlendirilmiş, aşağıdaki grafiklerde eğitim tahmin sonuçları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de dağılım ve saçılım grafikleri gösterilmiştir.



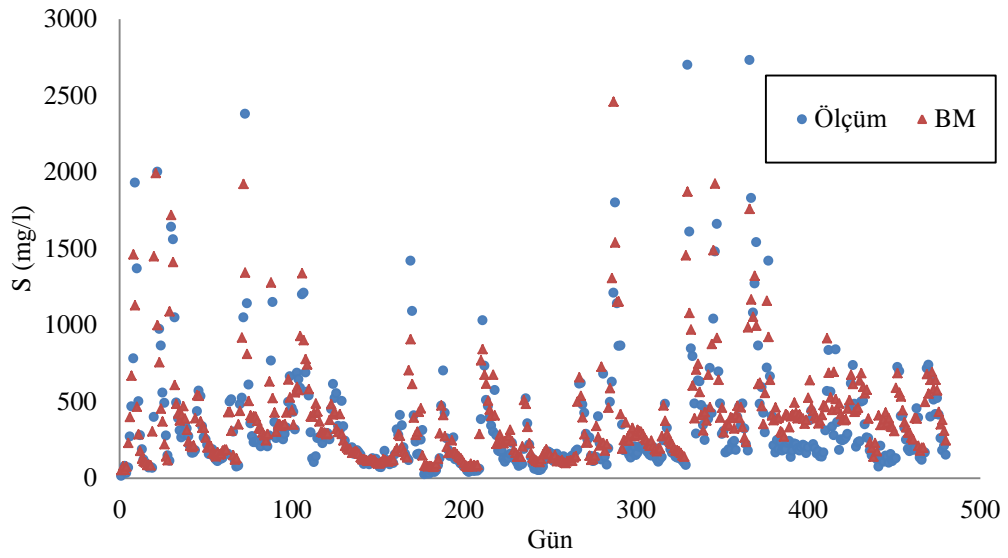
Şekil 4.20. 5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve BM dağılım grafiği



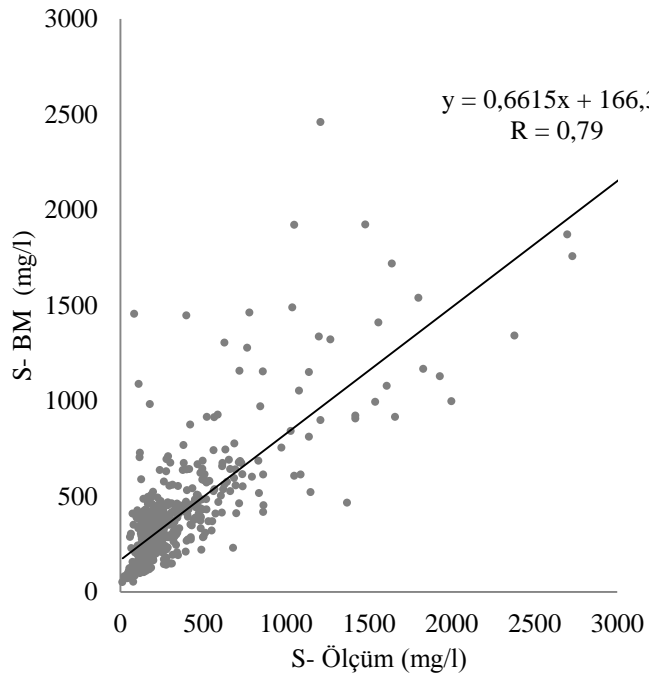
Şekil 4.21. 5 yıllık eğitim verileri için ölçüm ve BM saçılım grafiği

Matlab sonuçlarıyla eğitim için oluşturulan grafikte korelasyon katsayısı $R=0,84$ elde edilmiştir. BM tahminleri günlük gerçek zaman askı maddesi konsantrasyonu değerleri KMAE ve ÇLR değerlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Dağılım ve saçılım grafiklerinde BM değerleri gerçek değerlere yakın değerler çıktığı gözlemlenmiştir.

Matlab programında oluşturulan 5 yıllık veriler için BM modellemeler değerlendirilmiş, aşağıdaki grafiklerde test tahmin sonuçları Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de dağılım ve saçılım grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.22. 5 yıllık test verileri için ölçüm ve BM dağılım grafiği



Şekil 4.23. 5 yıllık test verileri için ölçüm ve BM saçılım grafiği

Matlab sonuçlarıyla oluşturulan grafikte korelasyon katsayısı R=0,79 elde edilmiştir. Test aşamasındaki BM tahminleri gözlenmiş günlük gerçek zaman askı maddesi konsantrasyonu değerleri KMAE ve ÇLR değerlerinden daha iyi sonuç vermektedir.

4.2.3. Model Sonuçları ve Analizi

Uygulama 5 yıllık veriler için oluşturulan modellemelerin sırasıyla Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Bulanık Mantık (BM) sonuçları aşağıdaki gibidir. Her bir model için ortalama karesel hata (OKH), ortalama mutlak hata (OMH) ve model tahminleri ile gözlemlenmiş değerler arasındaki korelasyon katsayıları (R) hesaplanır. Sonuçları da model tahmini ve gözlem verilerinin performanslarını karşılaştırmak için kullanılır. OKH ve OMH aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} (Y_{i_{ölçülen}} - Y_{i_{tahmin}})^2 \quad (4.2.)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} |Y_{i_{ölçülen}} - Y_{i_{tahmin}}| \quad (4.3)$$

Burada N veri sayılarını ve Y_i katı madde konsantrasyonu verilerini göstermektedir.

Bu çalışmada ÇLR ve BM model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen günlük katı madde miktarı ölçüm verileri, t-1 kadar ötelenmiş ve modellemede kullanılan girdi ve çıktı veri dosyaları oluşturulmuştur.

Akarsuyun herhangi bir zamanda taşıdığı katı madde miktarı sadece o anki şartlarında değil, etkili hidrolojik değişkenlerin (buharlaşma, akım, rüzgâr gibi) gecikmiş etkilerini de taşır. Bu gecikmiş etkiler ise anahtar eğrilerinde tahminlere yansımamaktadır. Gerçekçi bir askı maddesi tahmini yapabilmek için sadece o an değil, gecikmiş etkilerinde dikkate alınması gerekir. Anahtar eğrisi tahmin yaparken t anındaki akış verilerinin dikkate alınmasıdır. Buna karşın yapay zekâ yöntemleri t anındaki verilerin yanı sıra t-1 anındaki verileri de dikkate alarak tahmin yapmaktadır (Kişi, 2008).

BM modelinin eğitiminde kullanılan 1100 günlük gözlemlerden oluşan katı madde miktarları girdi olarak kullanılarak ÇLR modelleri için de eğitilmiştir. Yine

ikinci adımda oluşturulan modeller, 480 günlük gözlemlerden oluşturulan test verisinin girdilerine uygulanmış ve model ile elde edilen sonuçlar ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Skunk Nehri Augusta istasyonu 5 yıllık veriler için oluşturulan modellemelerin performanslarının karşılaştırılması

Yöntem	Model Girdileri	OKH	OMH	R
KMAE	Q	148615	227	0,31
ÇLR	Q,T, S _{t-1}	97030	158	0,63
BM	Q,T, S _{t-1}	60824	149	0,79

OKH: Ortalama karesel hata; OMH: Ortalama Mutlak hata R; Korelasyon katsayısı

Çizelge 4.3’e göre en iyi sonuç veren modelleme OKH, OMH’ in en küçük, R’nin ise en büyük olduğu modeller olduğu tespit edilmiştir. OKH, OMH ve R’ye göre sıralarsak KMAE (148615-227-0,31) modeli en düşük başarı oranı sahiptir. ÇLR (97030-158-0,63) modeli KMAE modeline göre daha iyi performans göstermiştir. BM (60824-149-0,79) modeli ise tüm performans değerlendirmesinde KMAE ve ÇLR modellerinden çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Bulanık Mantık (BM) yöntemlerinin katı madde konsantrasyonu tahminindeki gösterdiği performanslar araştırılmıştır. ABD'deki Skunk Nehri Augusta istasyonundan alınan ortalama sıcaklık, günlük gerçek zaman akım debisi, katı madde konsantrasyonu 5 yıllık veriler kullanılmıştır. Katı madde anahtar eğrisinde akım debisi ile katı madde konsantrasyonu arasındaki ilişkiye göre performansı araştırılmıştır. Ayrıca ÇLR ve BM için kullanılan 5 yıllık veriler eğitim ve test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. Hem eğitim hem test verileri kullanılarak hangi modelin daha iyi sonuçlar verdiği araştırılarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

5 yıllık veriler için OKH, OMH ve R kriterlerine göre en iyi sonuçlar BM modellemesinde elde edilmiştir. Tüm kriterlerde en kötü sonuçlar KMAE modelinde elde edilmiştir.

Bu çalışmada, 5 yıllık veriler kullanılmıştır. Bu veriler seçilirken uygulama alanına göre günümüze yakın su yılları (2005-2009) belirlenmiştir. Geçmiş yıllardaki yapılan ölçümlerin el ile, son yıllardaki ölçümlerin de bilgisayarlarla yapıldığı için ve bilgisayar ölçümlerinde el ile yapılan ölçümlere oranla daha az hata içerdiğinden modeller için kullanılan ölçüm verileri yakın zamanlı seçilmiştir.

Belirli bir bölge için geliştirilen BM model uygulamalarında gerek hata seviyesinin düşük olması gerekse tahminlerin gözlenen değerlere yakınlığı açısından katı madde konsantrasyonu tahmini için diğer yöntemlerden oldukça faydalı bir yöntem olarak kullanılabilir.

İleriye yönelik benzer çalışmalarda katı madde miktarı tahmini için katı madde miktarını etkileyen diğer parametreler seçilerek farklı kombinasyonlar altında ve değişik bölgeler seçilerek toplam katı madde konsantrasyonu tahmini yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, Erişim tarihi: 15/07/2016.
- Anonim, <https://cobanoglu.wikispaces.com/file/view/bulanikmantik.pdf/34074869/bulanikmantik.pdf>, Erişim tarihi: 15/07/2016.
- Anonymous, http://waterdata.usgs.gov/nwis/uv?site_no=05474000, Erişim tarihi : 05/06/2015.
- Anonymous, <http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/267/hdr06-complete.pdf>, Erişim tarihi: 15/07/2016.
- Asselman, N. E. M., 2000. Fitting and Interpretation of Sediment Rating Curves, **Journal of Hydrology**, 234, 228-248.
- Azamathulla, H.,M., Ghani, A., A., Fei, 2012. ANFIS-based approach for predicting sediment transport in clean sewer. **Applied Soft Computing**, 12, 1227-1230.
- Baltacı, A., 2012. Sacramento nehrindeki askı maddesi miktarının bulanık mantık ile modellemesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Antakya/HATAY.
- Bayazıt, M., Avcı, İ., 2010. **Akarsularda Akım ve Sediment Taşınımı**. Birsen Yayınevi, 309 s, İstanbul
- Baykal, N., ve Beyan, T., 2004. Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler. Bıçaklar Kitabevi, 509 s, Ankara.
- Demirci, M., Baltacı, A., 2013. Prediction of suspended sediment in river using fuzzy logic and multilinear regression approaches. **Neural Computing Applications**, 23, 145-151.
- Demiröz, E., 1989. Sediment Sampling Activities in Turkey. Fourth International Syposium on River Sedimentation, Beijing, China.
- Erkek, C. Ve Ağralıoğlu, N., 2010. **Su Kaynakları Mühendisliği**. Beta Yayınevi, 389 s, İstanbul.
- Firat, M., Güngör, M., 2010. Monthly total sediment forecasting using adaptive neuro fuzzy inference system. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 24, 259-270.
- Günel,Ü., 1997. Bulanık Mantık. Otomasyon dergisi, 55, 50-55.
- Graf, W.H., 1998. **Fluvial Hydraulics: Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry**. Wiley Yayınevi, 692 s, İngiltere.
- Kişi, Ö., 2002. Nehir Enkesitindeki Askı Malzemesi Miktarının Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Kisi, O., 2005. Daily river flow forecasting using artificial neural networks and autoregressive models. **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, 29, 9-20.
- Kisi, O., Yuksel, I., Dogan, E., 2008. Modelling Daily suspended sediment of rivers in Turkey using several data-driven techniques. **Hydrological Sciences Journal**, 53(6), 1270-1285
- Kişi, Ö., 2009. Evolutionary fuzzy models for river suspended sediment concentration estimation. **Journal of Hydrology**, 372, 68-79.
- Kisi, O., Zounemat-Kermani, M.,(baskıda). Suspended sediment modeling using neuro-fuzzy embedded fuzzy c-means clustering technique. **Water Resources Management**, 30, 3979-3994.

- 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. **Journal of Hydrology**, 253, 91-109.
- Mirbagheri, S.,A., Nourani, V., Rajee, T., Alikhani, A., 2010. Neuro-fuzzy models employing wavelet analysis for suspended sediment concentration prediction in rivers. **Hydrological Sciences Journal**,55(7), 1175-1189.
- Mianaei, S., J., Keshavarzi, A., R., 2010. Prediction of riverine suspended sediment discharge using fuzzy logic algorithms and some implications for estuarine. **Geo-Marine Letters**, 30, 35-45.
- Olyaie, E., Banejad, H., Chau, K.,W., Melesse, A.,M.,2015. A comparison of various artificial intelligence approaches performance for estimating suspended sediment load of river systems: a case study in United States. **Environmental Monitoring and Assessment**,187(189), 1-22
- Özbek, T. ve Özcan, Ç., 2001, Akarsularda Katı Madde. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası,165 s, Ankara.
- Picouet, 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. **Journal of Hydrology**, 250, 19-39.
- Rajae, T., Mirbagheri, S., A., Zounemat-Kermani, M., Nourani, V., 2009. Daily suspended sediment concentration simulation using ANN and neuro-fuzzy models. **Journal of Science of the Total Environment** 407, 4916-4927.
- Salas, J. D. ve Shin, H. S., 1999. Uncertainty analysis of reservoir sedimentation. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, 125(4), 339-350.
- Semed, M., 2000. Dünya Dahilersiz yasabilmir. Azerbaycan Bilimler Akademisi Yayınları, Bakü.
- Shamaei, E., Kaedi, M., 2016. Suspended sediment concentration estimation by stacking the genetic programming and neuro-fuzzy predictions. **Applied Soft Computing**, 45, 187-196
- Sugeno, M. ve Kank, G.T., 1988. **Structure identification of fuzzy model**. Fuzzy Sets and Systems, 28(1): 15-33.
- Şen, Z., 1999. **Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Modelleme İlkeleri**. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim dalı, İstanbul.
- Şen, Z., 2009. **Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme (Mühendislik ve Sosyal Bilimler)**. Su Vakfı yayınları, 361 s, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 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.
- Vafakhah, M.,2013. Comparison of cokriging and adaptive neuro-fuzzy inference system models for suspended sediment load forecasting. **Arabian Journal of Geosciences**, 6, 3003-3018.
- Williams, J. R., 1978. A sediment graph model based on an instantaneous unit sediment graph. **Water Resources Research**, 14, 659-664.
- Williams, J.R., 1978. A Sediment Graph Model Based on An Instantaneous Unit Sediment Graph. **Journal of Water Resources Research**, 14(4), 659-664.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. **Journal of Information Control**, 8(3), 338-353.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1989 yılında Dörtyol/HATAY’da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Lise öğrenimini Dörtyol’da tamamladı. Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü 2007 yılında kazandı ve 2013 yılında “İnşaat Mühendisi” unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 2014 yılında Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görevine başladı. 2015 yılında görev ve yüksek lisans yaptığı Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne aktarıldı. Yazar 2016 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Lisansüstü eğitimine ve Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.