



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**NEHİRDEKİ KATI MADDE
MİKTARININ BULANIK
MANTIK VE GELENEKSEL
YÖNTEMLER İLE TAHMİNİ VE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Feyzullah DAYAN

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

OCAK 2023



**NEHİRDEKİ KATI MADDE MİKTARININ BULANIK MANTIK VE
GELENEKSEL YÖNTEMLER İLE TAHMİNİ VE KARŞILAŞTIRILMASI**

Feyzullah DAYAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

Feyzullah DAYAN tarafından hazırlanan “NEHİRDEKİ KATI MADDE MİKTARININ BULANIK MANTIK VE GELENEKSEL YÖNTEMLER İLE TAHMİNİ VE KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hasan GÜZEL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi. Evren TURHAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji
Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 10/01/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Feyzullah DAYAN

10/01/2023

NEHİRDEKİ KATI MADDE MİKTARININ BULANIK MANTIK VE GELENEKSEL
YÖNTEMLER İLE TAHMİNİ VE KARŞILAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Feyzullah DAYAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Nehirlerdeki katı madde miktarının doğru tahmin edilmesi; akarsuyun kirliliği, barajların ömürlerinin saptanması ve akarsu taşımacılığı gibi konularda önemli yer tutmaktadır. Yaptığımız bu çalışmada, Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Bulanık Mantık- Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique (SMRGT) ve Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE) yöntemleri kullanılarak akarsudaki katı madde miktarı tahmini yapılmıştır. Çalışma alanı olarak ABD'nin Catonsville yakınındaki Patapsco Nehri kullanılmıştır. Bu çalışmada 01589025 nolu Patapsco Nehrindeki sediment gözlem istasyonundan 2015-2018 yılları arasında gerçek zamanlı olarak ölçülen debi-bulanıklık ve katı madde miktarı verileri kullanılmıştır. Girdi verileri olarak debi ve bulanıklık kullanılarak katı madde miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ortaya çıkan model sonuçları, ÇDR, Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), SMRGT ve katı madde anahtar eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık modellerine ait olan sonuçların gözlem sonuçları ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Bulanık mantık, katı madde miktarı, SMRGT, ANFIS, katı madde anahtar eğrisi, çoklu lineer regresyon

Sayfa Adedi : 83

Danışman : Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ

ESTIMATION AND COMPARISON OF THE AMOUNT OF SEDIMENT IN THE RIVER
WITH FUZZY LOGIC AND TRADITIONAL METHODS
(M.Sc. Thesis)

Feyzullah DAYAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2023

ABSTRACT

Accurate estimation of the amount of sediment in rivers has an important place in issues such as pollution of the river, determination of the life-span of dams and river transportation. In this study, sediment amount in a stream was estimated using Multiple Linear Regression (MLR), Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS), Fuzzy Logic-Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique (SMRGT) and Sediment Rating Curve (KMAE) methods. The Patapsco River near Catonsville, USA was used as the study area. In this study, real-time flow rate-turbidity and sediment matter data from the sediment observation station 01589025 in the Patapsco River between 2015 and 2018 were used. The amount of sediment was tried to be estimated by using flow rate and turbidity as input data. Obtained results were compared with MLR, ANFIS, SMRGT and sediment key curve. It has been seen that the values using with the fuzzy logic models give results consistent with the observation ones.

Key Words : Fuzzy logic, sediment, SMRGT, ANFIS, sediment rating curve, multiple linear regression
Page Number : 83
Supervisor : Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmalarım ve yüksek lisans öğrenimim boyunca tecrübesi, bilgi birikimi ve çalıŐmalarımda büyük bir titizlikle bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ 'ye, bilgi ve katkılarını esirgemeyen Prof. Dr. Fatih NEŐ 'e sonsuz teşekkür ederim. Aynı zamanda desteğiyle her zaman yanımda olan ve çalıŐmam esnasında yol gösterici olarak bir abi gibi yardımcı olan ArŐ. Gör. Bestami TAŞAR' a sonsuz teŐekkürlerimi arz ederim. Benim bu günlere ulaŐmamı sağlayarak eğitim ve normal hayatımda bana inanıp güvenen aileme (babam Mehmet Sadık DAYAN, annem Adile DAYAN, kardeŐlerim Nurullah DAYAN, Hayrullah DAYAN, Nisanur DAYAN ve biricik eŐim Fatma DAYAN)'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Çalışılan Alan.....	17
3.2. Çalışmada Ele Alınan Modeller	22
3.3. ÇDR Çoklu Doğrusal Regresyon	22
3.4. Bulanık Mantık.....	24
3.4.1. Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları.....	25
3.4.2. Bulanıklaştırma	29
3.4.3. Bulanık çıkarım.....	29
3.4.4. Durulaştırma	31
3.5. Bulanık Mantık ve SMRGT yöntemleri	34
3.6. Yapay Sinir Ağları (YSA).....	37
3.6.1. Uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım işlemi (ANFIS).....	37
3.7. Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE).....	39
4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR.....	40

4.1. Farklı Üyelik Fonksiyonlarına Göre Oluşturulan SMRGT Modelleri.....	40
4.2. SMRGT Model Sonuçları.....	58
4.3. Çoklu Doğrusal Regresyon Sonuçları.....	70
4.4. ANFIS Sonuçları.....	73
4.5. Katı Madde Anahtar Eğrisi Sonuçları.....	75
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Katı madde hareketine etki eden değişkenler	4
Çizelge 3.1. Patapsco Nehrine ait Bilgiler	19
Çizelge 3.2. Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki farklılıklar	24
Çizelge 3.3. 11’li üyelik fonksiyonuna ait SMRGT sonuçları	36
Çizelge 4.1. 11’li üyelik fonksiyonuna ait SMRGT sınır değerleri	42
Çizelge 4.2. Sediment miktarı için kullanılan modellere ait değerlerin gösterimi	77

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Sediment taşınımının gösterimi	2
Şekil 1.2. Akarsuda taşınan katı madde miktarının sınıflandırılması	3
Şekil 3.1. Patapsco nehrindeki istasyonun konumu.....	17
Şekil 3.2. Patapsco nehrindeki istasyonun konumu.....	18
Şekil 3.3. Özgürlük Rezervuarı Patapsco nehri genel görünümü	19
Şekil 3.4. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki maksimum bulanıklık (fnu) miktarları.....	20
Şekil 3.5. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki minimum bulanıklık (fnu) miktarları.....	20
Şekil 3.6. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki ortalama bulanıklık (fnu) miktarları.....	21
Şekil 3.7. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki ortalama debi (m ³ /s) miktarları	21
Şekil 3.8. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki ortalama sediment (mg/L) miktarları	22
Şekil 3.9. Klasik mantık çalışma sistemi	25
Şekil 3.10. Genel bulanık sistem şeması.....	25
Şekil 3.11. Klasik mantığa ait kümelerin üyelik fonksiyonları	27
Şekil 3.12. Bulanık mantığa ait küme sisteminin üyelik fonksiyonları	27
Şekil 3.13. Bulanık mantık üyelik fonksiyonları (üçgen ve trapez)	28
Şekil 3.14. Üyelik fonksiyonunun genel kısımları.....	28
Şekil 3.15. Ağırlık merkezi yöntemiyle durulaştırma işlemi.....	31
Şekil 3.16. Maksimum üyelik derecesi ile durulaştırma işlemi	32
Şekil 3.17. Ortalama en büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma işlemi	33
Şekil 3.18. Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma işlemi	34
Şekil 3.19. SMRGT üyelik fonksiyonların yapısı.....	35

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. SMRGT yöntemine formüllerin grafiksel gösterimi	36
Şekil 3.21. ANFIS modeli.....	38
Şekil 4.1. SMRGT2 modeline ait sediment üyelik fonksiyonuna ait sınır değerler	41
Şekil 4.2. SMRGT2 modeline ait sediment üyelik fonksiyonuna ait sınır değerler	41
Şekil 4.3. SMRGT2 modeline ait sediment üyelik fonksiyonuna ait sınır değerler	41
Şekil 4.4. SMRGT1 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,..,Q9) Matlab programındaki gösterimi.....	42
Şekil 4.5. SMRGT1 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,..B9) Matlab programındaki gösterimi.....	43
Şekil 4.6. SMRGT1 modeline ait Sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,..S9) Matlab programındaki gösterimi	43
Şekil 4.7. Matlab bulanık mantık kural modellemesi gösterimi	44
Şekil 4.8. SMRGT2 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,..,Q11) Matlab programındaki gösterimi.....	45
Şekil 4.9. SMRGT2 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,..B11) Matlab programındaki gösterimi.....	45
Şekil 4.10. SMRGT2 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,..S11) Matlab programındaki gösterimi.....	46
Şekil 4.11. Matlab bulanık mantık kural modellemesi gösterimi	47
Şekil 4.12. SMRGT3 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,..,Q11) Matlab programındaki gösterimi.....	48
Şekil 4.13. SMRGT3 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,..B13) Matlab programındaki gösterimi.....	48
Şekil 4.14. SMRGT3 modeline ait Sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,..S13) Matlab programındaki gösterimi.....	49
Şekil 4.15. Matlab bulanık mantık kural modellemesi gösterimi	49
Şekil 4.16. SMRGT4 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,..,Q13) Matlab programındaki gösterimi.....	50
Şekil 4.17. SMRGT4 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,..B11) Matlab programındaki gösterimi.....	51

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. SMRGT4 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,...S13) Matlab programındaki gösterimi.....	51
Şekil 4.19. Matlab bulanık mantık kural modellemesi gösterimi	52
Şekil 4.20. SMRGT5 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,...,Q11) Matlab programındaki gösterimi.....	53
Şekil 4.21. SMRGT5 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,..B11) Matlab programındaki gösterimi.....	53
Şekil 4.22. SMRGT5 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,..S13) Matlab programındaki gösterimi.....	54
Şekil 4.23. Matlab bulanık mantık kural modellemesi gösterimi	54
Şekil 4.24. SMRGT kurallarının Matlab programında Gösterimi	55
Şekil 4.25. SMRGT6 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,.....,Q13) Matlab programındaki gösterimi.....	56
Şekil 4.26. SMRGT6 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,.....B13) Matlab programındaki gösterimi.....	56
Şekil 4.27. SMRGT6 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,.....S13) Matlab programındaki gösterimi.....	57
Şekil 4.28. Matlab bulanık mantık kural modellemesi gösterimi	57
Şekil 4.29. SMRGT1 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	58
Şekil 4.30. SMRGT1 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği.....	59
Şekil 4.31. SMRGT1 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	59
Şekil 4.32. SMRGT1 modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	60
Şekil 4.33. SMRGT2 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	60
Şekil 4.34. SMRGT2 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği.....	61
Şekil 4.35. SMRGT2 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	61
Şekil 4.36. SMRGT2 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	62
Şekil 4.37. SMRGT3 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	62
Şekil 4.38. SMRGT3 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği.....	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.39. SMRGT3 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	63
Şekil 4.40. SMRGT3 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	64
Şekil 4.41. SMRGT4 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	64
Şekil 4.42. SMRGT4 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği.....	65
Şekil 4.43. SMRGT4 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	65
Şekil 4.44. SMRGT4 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	66
Şekil 4.45. SMRGT5 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	66
Şekil 4.46. SMRGT5 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği.....	67
Şekil 4.47. SMRGT5 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	67
Şekil 4.48. SMRGT5 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	68
Şekil 4.49. SMRGT6 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	68
Şekil 4.50. SMRGT6 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği.....	69
Şekil 4.51. SMRGT6 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	69
Şekil 4.52. SMRGT6 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	70
Şekil 4.53. ÇDR modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği	71
Şekil 4.54. ÇDR modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği	71
Şekil 4.55. ÇDR modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği	72
Şekil 4.56. ÇDR modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği	72
Şekil 4.57. ANFIS modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	73
Şekil 4.58. ANFIS modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği.....	73
Şekil 4.59. ANFIS modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	74
Şekil 4.60. ANFIS modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	74
Şekil 4.61. KMAE modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	75
Şekil 4.62. KMAE modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği.....	75

Şekil 4.63. KMAE modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	76
Şekil 4.64. KMAE modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Q_s	Toplam Katı Madde Debisi (ton/gün)
Q	Akımın Debisi (m^3/s)
h	Su Derinliği(m)
τ	Kayma Gerilmesi (kg/m^2)
ν	Suyun Kinematik Viskozitesi (m^2/s)
ρ	Suyun Özgül Kütlesi ($kg. m^{-3}$)
ρ_s	Katı Maddenin Özgül Kütlesi ($kg. m^{-3}$)
d_s	Katı Maddenin Ortalama Dane Çapı (mm)
ω	Katı Maddenin Dane Çökelme Hızı (m/s)
g	Yer çekimi İvmesi (m/s^2)
ϵ	Katı Maddenin Karışım Katsayısı
γ_s	Sediment Danesinin Özgül Ağırlığı
$c\sqrt{a/b}$	Dane Biçim Faktörü
D_{50}	Katı Maddenin Ortalama Çapı
UW	Bulanık Kümelerin Birim Genişliği
EUW	Bulanık Küme Genişletilmiş Taban Genişliği
C_i	Bulanık Küme Çekirdek Değeri
K_i	Bulanık Küme Anahtar Değeri

Simgeler**Açıklamalar**

X_R	Bulanık Küme Değişim Aralığı
X_{min}	Bulanık Küme En Düşük Değeri
X_{max}	Bulanık Küme En Yüksek Değeri
n_u	Bulanık Küme Dik Üçgen Sayısı
S	Sediment Miktarı
B	Bulanıklık Miktarı
y	ÇDR Yönteminde Bağımlı Değişken
β	Regresyon Katsayısı
X	ÇDR Yönteminde Bağımsız Değişken
Σ	Cebirsel Toplam
\bar{Z}	Alan
$\ddot{U}(x)$	Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonu

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AI	Yapay Zeka
ANFIS	Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
BM	Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi
ÇDR	Çoklu Doğrusal Regresyon
FNU	Formazin Nepelometrik Birimi
HEC-RAS	Nehir Analiz Sistemi
JTU	Jackson Bulanıklık Birimi

Kısaltmalar**Açıklamalar****KKOH**

Ortalama Karesel Hataların Karekökü

MLR

Multiple Linear Regression

MLFN

Çok Katmanlı İleri Beslemeli Ağları

MOH

Mutlak Ortalama Hata

NTU

Bulanıklık Nipelometrik Bulanıklık Birimi

R

Korelasyon Katsayısı

SMRGTSimple Membership Functions and Fuzzy Rules
Generation Technique**USGS**

United States Geological Survey

WSN

Kablosuz Sensör Ağı

YSA

Yapay Sinir Ağı

1. GİRİŞ

Akarsular için katı madde miktarının doğru bilinmesi çok önemlidir. Akarsu üzerindeki yapıların (köprü, viyadük, baraj) vb. planlanmasında ve projelendirmesinde katı madde miktarının bilinmesi gerekmektedir. Akarsularda taşınan katı maddelerin bir kısmı akarsu havzasında yağmur ve karların erimesi sonucu meydana gelen yüzeysel akışın sebep olduğu erozyondan diğer kısmı akarsuyun kendi yatağında meydana gelen aşınmalardan kaynaklanmaktadır. Yüzeysel akışa geçen suyun akarsu yatağı boyunca taşınması olayına havza erozyonu, akarsuyun kendi yatağındaki aşınmalara yatak erozyonu denilmektedir. Havza ve yatak erozyonu sonucu taşınan verimli topraklar akarsuda yığılma ve oyulmalara sebebiyet vererek akarsuyun yatak şeklini değiştirmekte ve tarım arazilerinin düzleşmesine ve çoraklaşmasına neden olmaktadır. Bu değişikliğin neden olduğu pek çok istenmeyen durum ortaya çıkmaktadır. Yatak şeklinin değişmesi, akarsu üzerine yapılacak olan uygulamaların kullanım sürelerini kısaltmakta, akarsularda yapılacak olan taşımacılığa ve tarımsal alanlara da zarar vermektedir. Ayrıca barajların haznelerinde biriken katı maddeler zamanla barajın hazne kapasitesini azaltıp barajın kullanım süresini düşürmektedir. Bu süreyi artırmak için barajın haznesinde ölü hacim bırakılmaktadır. Barajların kullanım süresi hazne kapasitesinin büyüklüğüyle doğru orantılı olacak şekilde değişiklik gösterir. Bu nedenlerle birlikte, barajların planlanması ve projelendirilmesinde sediment miktarının doğru olarak tahmin edilmesi büyük bir öneme sahiptir.

Sediment miktarı ile ilgili bir diğer sorun akarsuyun bulanık olmasıdır. Başka bir deyişle akarsu kirliliğidir. Sediment hareketi olan akarsularda su kalitesinde bir değişme ve etkilenme beklenir. Bu etkilenme ve değişmeyi belirleyebilmek için sediment miktarını doğru tahmin etmek gerekir.

Aynı zamanda akarsulardaki taşkın olaylarının kontrol altına alınabilmesi için yapılacak olan köprü ve baraj gibi sanat yapılarındaki oyulma ve yığılma miktarlarının belirlenip sanat yapısının ömrünü belirlemede katı madde taşınım miktarının tahmini oldukça önemlidir. Şekil 1.1’de nehirdeki sediment taşınımı (Wikipedia,2021) örneği gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Sediment taşınımının gösterimi

✓ Katı Maddenin Sınıflandırılması

Akarsular boyut olarak büyüklükleri ne olursa olsun bir miktar katı maddeyi taşırlar. Taşıdıkları bu katı maddeleri malzemenin kaynağına göre ve akarsudaki taşınma şekillerine göre sınıflandırırlar.

✓ Akarsuda taşınan malzemenin kaynağına göre sınıflandırma:

Akarsular taşınan malzemeyi kaynağına göre iki farklı şekilde taşırlar. Bunlar:

- i. Yatak malzemesi,
- ii. Yıkanmış malzeme.

Yatak malzemesi: Irmak ve nehir zeminindeki hareketli malzemeye yatak malzemesi denir. Bu malzeme sadece akarsu yatağında bulunmaktadır.

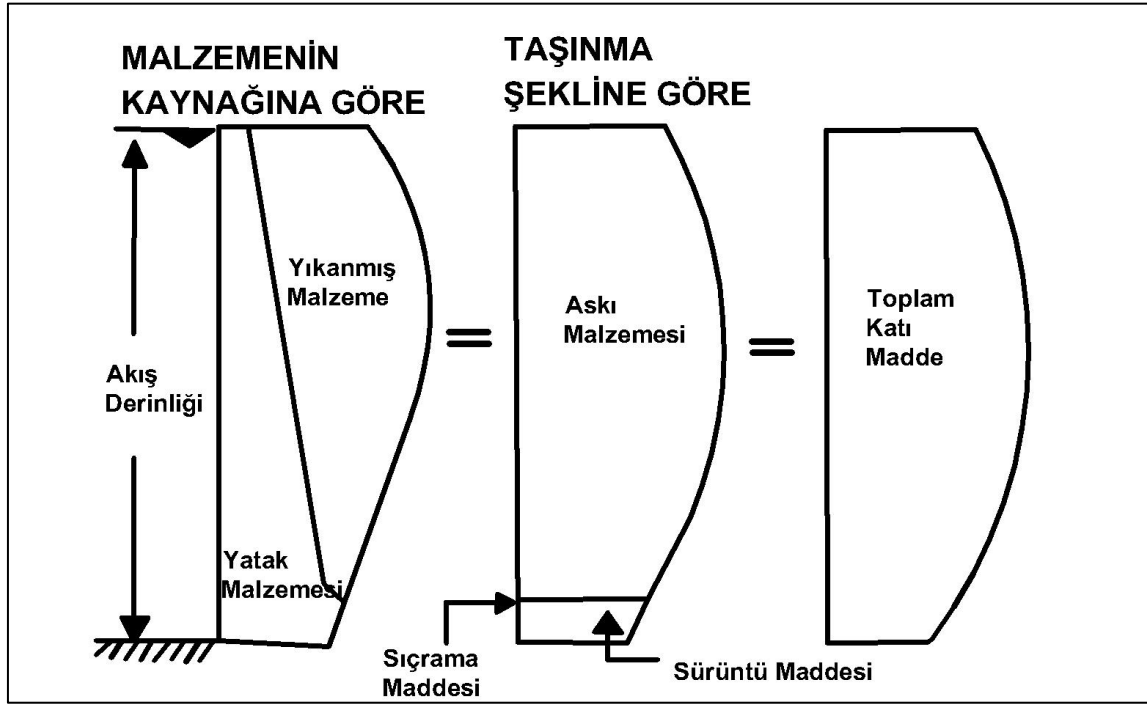
Yıkanmış malzeme: Büyük çoğunluğun havza erozyonuyla oluşmasıyla akarsuya gelen aynı zamanda yatak malzemesinden dane olarak daha küçük olan malzemeye denir.

✓ Akarsudaki taşınma şekline göre sınıflandırma:

Akarsular katı madde yüklerini üç farklı şekilde taşırlar bunlar:

- Çözünmüş halde,
- Askıda katı madde,
- Taban boyunca kayarak veya yuvarlanarak

Akarsuyun içerisinde asılı halde hareket eden maddelere askı maddesi denir. Taban boyunca kayarak veya yuvarlanarak taşınan malzemelere ise sürüntü malzemesi denir. Şekil 1.2’de akarsuların taşıdığı katı madde miktarının sınıflandırılması gösterilmektedir. Akarsuyun sediment taşıma miktarı akarsuyun akımına, akışkanın özelliklerine, katı maddenin özellikleri ve yer çekim ivmesine bağlıdır.



Şekil 1.2. Akarsuda taşınan katı madde miktarının sınıflandırılması

✓ Katı Madde Hareketine Etki Eden Değişkenler

Akarsularda taşınan sediment miktarına birçok parametre etki etmektedir. Katı madde debisinin (Q_s) belirlenebilmesi için bu parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Katı madde debisi için bilinmesi gereken bu parametreler Eş. 1.1’deki fonksiyonel bağıntıda gösterilmektedir.

$$Q_s = f(Q, h, \tau, v, \rho, \epsilon, \rho_s, d_0, w, g) \quad (1.1)$$

Bu bağıntıda verilen ve katı madde hareketine etki eden değişkenler Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Katı madde hareketine etki eden değişkenler

Q_s	Toplam katı madde debisi (ton/gün),
Q	Akımın debisi (m^3 /s),
h	Su derinliği(m),
τ	Kayma gerilmesi (kg/m^2),
ν	Suyun kinematik viskozitesi (m^2 /s),
ρ	Suyun özgül kütlesi ($kg.m^{-3}$),
ρ_s	Katı maddenin özgül kütlesi ($kg.m^{-3}$),
d_s	Katı maddenin ortalama dane çapı (mm),
ω	Katı maddenin dane çökme hızı (m/s),
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2),
ϵ	Katı maddenin karışım katsayısı.

Çizelge 1.1'deki tablodan katı madde hareketinde etkili olan parametreleri dört başlık altında toplayabiliriz. Bu başlıklar aşağıdaki gibidir;

- Akımın özellikleri (Q, w, h, τ)
- Akışkanın özellikleri (ν, ρ, ϵ)
- Katı madde özellikleri (d_s, w, ρ_s)
- Yer çekimi ivmesi (g)

✓ Akımın Özellikleri

Akımın özellikleri suyun hızına, suyun akış geometrisine ve suyun viskozitesine bağlıdır.

Suyun hızı: akarsularda suyun hızı arttıkça taşınan katı madde miktarı da artar. Bütün akan akarsular, laminer ve türbülanslı olmak üzere iki farklı biçimde akarlar. Laminer akımda akarsuyun hızı daha düşük ve akım hatları birbirine paraleldir. Laminer akışla akan akarsular denge profillerine yakın akarsulardır. Türbülanslı akışta ise akım hatları düzensiz ve birbirine karışır vaziyette akarlar. Türbülanslı akış çalkantılı akıştır. Akarsuyun hızı oldukça fazladır. Yeni açılan baraj kapağı ve sel anında görülen akış buna örnek olarak verilebilir.

Suyun akış geometrisi: akarsuyun derinliği ile ilgilidir.

Suyun viskozitesi: suyun akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Aynı zamanda suyun kıvamı da denir. Viskozite arttıkça akım laminer duruma gelir.

✓ Akışkanın özellikleri

Akışkanlar kayma gerilmesinin etkisiyle akarlar. Bundan dolayı buldukları kabın şeklini alırlar. Akışkanlar genel olarak denge halinde kayma gerilmelerine karşı koymazlar.

Doğadaki tüm akışkanların küçük bir miktar sıkıştırılabilme özellikleri vardır. Akışkanlar şekil değiştirmeye karşı küçük de olsa bir direnç gösterirler.

✓ Katı maddenin özellikleri

Akarsular katı maddeleri taşıırken onları aynı zamanda boyutuna göre sıralar. İlk önce küçük ve ağırlıkça hafif olan katı madde taşınırken sonrasında daha büyük ve ağırlıkça daha ağır olan katı maddeler taşınırlar. Buna göre yapılan katı maddelerin sınıflandırılmasında: Dane çapı, özgül ağırlığı biçimi, boyutu ve çökme hızı etkilidir. Bu niceliklerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

✓ Dane çapı

Parçacığın geçebildiği elek çapına denir ve daneyi sınıflandırmak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir.

Nominal çap: Danenin hacminin kürenin hacmine eşit olan çapına denir.

Katı madde çapı: Aynı cins akışkan içindeki danenin çökme hızı ve danenin özgül ağırlığı parçacığına eşit kürenin çapına dane çapı denir.

✓ Dane özgül ağırlığı

Taşınan katı maddelerin özgül ağırlığı, katı madde parçacıklarının koparıldığı yere göre değişir. Doğada katı maddenin özgül ağırlığı yapılan deneyler sonucunda ortalama 2650 kg/m³ olarak bulunmuştur (Beyazıt 1971). Dane özgül ağırlığı (γ_s) şeklinde Eş. 1.2'de gösterilir.

$$\gamma_s = \rho_s * g \quad (1.2)$$

✓ Dane biçimi

Danenin biçimi biçim faktörü yardımıyla belirlenir.

Biçim faktörü: $c\sqrt{a/b}$ şeklindeki formül ile belirlenir. Bu formüldeki a, b, c harfleri parçacığın birbirine dik eksenler üzerindeki en uzun, orta ve en kısa boyutlarını gösterir. Biçim faktörü çökme hızının da bulunmasında kullanılır.

✓ Dane boyutunun dağılımı (granülometri eğrisi)

Dane boyutunun dağılımının belirlenmesindeki en büyük amaç katı madde taşınımı sırasında taşınan katı maddenin ortalama çapını (D_{50}) tespit etmektir. Daha hassas ölçümler

için D_{35} , D_{65} , D_{85} ve D_{90} gibi çapların da belirlenmesi gerekir. Bu çaplar belirlendikten sonra katı madde için granülometri eğrisi çizilir.

✓ Danenin çökme hızı

Durgun bir akarsuya bırakılan katı parçacıklarının serbest bırakıldıklarından itibaren başlangıçta hızları sıfır iken kendi ağırlıklarının etkisiyle düşey yönde birim zamanda aldıkları yola çökme hızı denir.

Bir katı madde parçacığının su içindeki çökme (düşme) hızı akarsu yığılma problemlerinde çökelmeye, katı madde miktarına, parçacığın ve akımın özelliklerine etki eder. Çökme hızına dane parçacığının biçimi, danenin özgül ağırlığı, akımın rejimi, suyun sıcaklığı ve askı maddesi değişimi etki eder.

Bu çalışmada bulanıklık, debi parametreleri ile katı madde miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bulanıklık ve debinin katı madde taşınımına etkisi aşağıda anlatıldığı gibidir.

✓ Yer çekimi ivmesi

Yer çekim ivmesi, herhangi bir cismin yer çekiminin etkisi ile sahip olduğu ivmedir ve (g) ile gösterilir. Yer çekimi ise dünyanın kütle çekimidir. Yani yer çekimi dünyanın üzerindeki veya etrafındaki nesnelere etkiler. Yer çekimi ivmesinin etkilediği nesnelere bu ivme ile hareket ederler. İvmenin değeri Paris'te 9.80665 m/s^2 dir.

✓ Debi

Bir akarsuyun herhangi bir yerdeki kesitinden bir saniyede geçen suyun metre küp cinsinden miktarına debi denir.

Debiyi etkileyen parametreler:

- Yağışlar,
- Sıcaklık,
- Eğim,
- Yükselti,
- Yeraltı suları

gibi faktörler etkilemektedir. Akarsuyun debisi arttıkça, akarsuların taşıdığı malzemelerden, boyut olarak daha büyük çaplı danelerin (çakıl ve kum) kayarak ve yuvarlanarak taşınmasına sebebiyet verir. Ayrıca akarsu içerisindeki daha küçük ebatlı malzemenin (silt ve kil) su içinde askıda kalarak yer değiştirdiği kısma ise askı yükü denir.

Akarsudaki akıntının debisi arttıkça, taşınan katı madde miktarı ve boyutu her iki kısımda da artar.

✓ Bulanıklık

Bulanıklık suyun ışık geçirgenliğinin ölçülmesidir. Yani suyun berraklığının görsel olarak tayini de denebilir. Bulanıklık sağlık açısından oldukça önem arz etmektedir. Bulanık su koyu çamurumsu renk görünümüne sahiptir. Akarsudaki Katı maddeler suyun rengini bulanık ve çamurlu şekle getirip suyun kalitesini ve duruluğunu azaltır. Bulanıklık ve katı madde miktarı birbiriyle yakından ilişkilidir. Bulanıklık akarsu içindeki toplam katı madde yoğunluğundaki farklılıkları ifade eder. Akarsuyun içindeki katı madde miktarı ne kadar çok ise suyun berraklığı o denli az olur. Akarsu ne kadar berrak ise sudaki katı madde miktarı o derece az ve suyun ışık geçirgenliği o derece fazla olur.

Akarsuların berraklığı ve ışık geçirgenliği birçok sebepten etkilenir. İnsan faaliyetlerinden, organik ve inorganik maddelerden, kimyasal çökeltiler, sudaki tuzluluk, kil, silt vb. sebepler akarsuların bulanıklığını etkiler.

Yüksek miktarda katı madde taşıyan ve bulanık olan akarsular insan hayatı için gerekli suyun niteliğini azaltabilir ve taşkın riskini artırabilir. Buna ek olarak, bulanık olan akarsular güneşten gelen ısı ve güneş ışınlarını soğurdukları için suyun sıcaklığını artırabilir. Suyun sıcaklığının artması su içindeki çözülmüş oksijen seviyesini düşürebilir. Bulanıklıların artması güneş ışığının geçişini engelleyeceğinden, fotosentezin yapılamamasına neden olur bu da çözülmüş oksijen seviyesini düşürebilir ve sonunda akarsu içindeki bitkiler ölebilirler. Bitkilerin ölmesiyle birlikte suyun içinde fotosentez miktarı daha fazla azalır ve daha az çözülmüş oksijen üretilmeye başlanır. Ayrıca bitkilerin yok olması, besin zincirlerinde bozulmalara ve değişimlere neden olabilir. Akarsu içindeki katı madde miktarı genellikle sel ve erozyonla oluşur. Bulanıklıdaki artışın sebepleri olarak nehir kıyılarındaki erozyon ve sel (taşkın) işaret edilebilir.

Bulanıklık ve su debisi de birbiriyle yakından ilişkilidir. Akarsuyun debisi yüksek olduğunda katı madde partikülleri akarsuyun zeminine çökmez ve askıda kalır. Bundan dolayı, yüksek debiye sahip akarsular çoğunlukla bulanıktır.

Bulanıklık genellikle bulanıklık ölçerle ölçülür. Bulanıklık Nepelometrik Bulanıklık Birimi (NTU), Jackson Bulanıklık Birimi (JTU) veya Formazin Nepelometrik Birimi (FNU) ile kaydedilir.

Çalışmamızın ilk kısmında akarsulardaki katı madde taşınması ile ilişkili konulara yer verilmiştir. İkinci bölümde ise teze konu olan katı madde taşınması ile ilgili önceden yapılan çalışmalara örnekler verilmiştir. Üçüncü bölümde tezde çalışılan istasyona ait çalışma alanı ve konu ile ilgili gerekli bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde kullanılan metotlardan ve bu metotlardan elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Beşinci bölümde metotlardan elde edilen genel sonuçlardan bahsedilmiştir. Son olarak tezde yararlanılan çalışmaların kaynakça kısmı yer almaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Katı madde miktarının akarsudan ölçülmesi en sağlıklı ve en güvenilir yöntem olmasına karşın, katı maddeyi birebir akarsudan ölçmek çok zor ve pahalı bir yöntemdir. Taşkın ve sel gibi doğal afet durumlarında akarsuyun debisinin taşıdığı katı madde miktarının belirlenmesi çok düşük bir ihtimal dahilinde gerçekleşebilir. Tüm bu sebeplerden dolayı araştırmacılar genellikle kolay, basit ve kısa zaman gerektiren çözümler bulma yoluna gitmişlerdir. Yapılan bu araştırmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Wu, Wang ve Jia (2000), nehirlerdeki üniform olmayan kesitlerdeki sediment miktarı ve akıdaki sediment taşıma hızlarını hesaplamak için formüller geliştirmişlerdir. Bu formüller çok çeşitli laboratuvar ve saha verileriyle test edilmiş ve mevcut diğer birkaç deneysel yöntemle karşılaştırılmıştır. Yeni önerilen formüller ile elde edilen tahminlerin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Merritt, Letcher ve Jakeman (2003), sediment taşınımı modelleriyle ilgili birkaç farklı modeli gözden geçirmişlerdir. Bunlar; erozyon ve sediment ile ilişkili taşıma modelleridir. Bu modelleme sonuçlarına göre erozyon ve sediment taşıma modellerini iyileştirmek için önemli ölçüde çalışma gerekli olmakla birlikte, bunun veri kalitesini ve izlemeyi iyileştirme çabalarıyla birlikte üstlenilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Model tahminlerinin kalitesi nihai olarak modeli desteklemek için kullanılan verilere bağlıdır. Model faydası ve performansı açısından maksimum faydayı elde etmek için makul veri toplanması gerekliliği belirtilmiştir.

Wu (2004), açık kanallarda kararsız akış ve üniform olmayan kesitlerdeki katı madde taşınımı için derinlik ortalamalı iki boyutlu sayısal bir model oluşturmuştur. Bu model kademesiz eğrisel bir ızgara üzerinde sonlu hacim yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. 2 boyutlu sığ su denklemleri, Rhie ve Chow'un momentum interpolasyon tekniği ile SIMPLE(C) algoritmaları tarafından çözülmüştür. Bu çalışmada önerilen katı madde taşıma modeli, üniform olmayan toplam yük sediment taşınması için denge dışı bir yaklaşımı benimsemiştir. Yatak yükü ve asılı yük, sediment taşıma moduna göre ayrı ayrı veya birlikte hesaplanmıştır. Dik eğimli kanallarda yer çekiminin sediment taşıma kapasitesi ve yatak yükü hareket yönü üzerindeki etkilerini dikkate almak için ampirik bir

formül önerilmiştir. Model, çeşitli deneysel ve saha durumlarına karşı test edilmiş ve simüle edilen sonuçlar ile ölçülen veriler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir.

Bhattacharya, Price ve Solomatine (2007), Makine öğrenimi (ML) modelinin, sedimentasyon modellerindeki yanlışlıkları azaltmak için alternatif bir yaklaşım olduğunu belirtmiştir. Ölçülen verileri kullanarak yatak yükü ve toplam yük taşımacılığını modellemek için, yapay sinir ağları ve model ağaçları yöntemlerini kullanmışlardır. Yatak yükü taşıma modelleri, Bagnold, Einstein, Parker ve diğerleri ve van Rijn'in modelleriyle karşılaştırılmıştır. Toplam yük taşıma modelleri, Ackers ve White, Bagnold, Engelund ve Hansen ve van Rijn'e bağlı modellerle karşılaştırılmıştır. Yatak yükü ve toplam yük taşımacılığına ilişkin seçilen veri setleri ile ML modellerinin, mevcut olanlardan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Demirci ve Baltacı (2013), yaptıkları çalışmada, nehirlerdeki askıdaki sediment konsantrasyonunu tahmin etmek için bulanık mantık yöntemini kullanmışlardır. Sediment tahmini için Bulanık Mantık (FL), Katı Madde Anahtar Eğrisi (SRC) ve Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) modelleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu tarafından işletilen Sacramento Freepport istasyonunun 5 yıllık sürekli akış miktarı, askıdaki sediment konsantrasyonu ve ortalama su sıcaklığı verileri kullanılarak askıdaki sediment konsantrasyonu tahmini yapılmıştır. Sonuçların karşılaştırılması sonucunda FL modelinin diğer tekniklere göre daha iyi tahminler verdiği görülmüştür.

Afan, El-shafie, Mohtar ve Yaseen (2016), özellikle askıdaki sediment olmak üzere sediment taşınımının tahmininde uygulanan tüm yapay zeka yaklaşımlarının kapsamlı bir incelemesini yapmışlardır. Yapılan araştırma sonucunda Yapay Zeka (AI) yöntemlerinin nehirlerde sediment taşınımının tahmininde başarılı sonuçlar gösterdiği sonucuna varılmıştır. Son yıllarda, Yapay zeka ve hesaplama yöntemleri, askıdaki sedimenti tahmin etmenin karmaşıklığının üstesinden gelme başarısını gösterdiğini belirtmişlerdir.

Wang ve diğerleri (2016), Sarı Nehrinin sediment taşınımındaki azalışını araştırmışlardır. Sediment yükündeki düşüş hem bölgesel iklim değişikliğinden hem de insan faaliyetlerinden etkilenen debi ve sediment konsantrasyonundaki değişikliklerden

kaynaklandığını belirtmişlerdir. Sarı Nehrin Çin'deki sediment yükünün %90'ının kaynağı olan Loess Platosu üzerinden geçen 60 yıllık sediment yükü gözlemlerini analiz etmek için bir ilişkilendirme yaklaşımı yapmışlardır. Peyzaj mühendisliği, teraslama ve kontrol barajlarının ve rezervuarların inşasının, 1970'lerden 1990'lara kadar sediment yükündeki azalmayı sağlayan başlıca faktörler olduğunu, ancak büyük ölçekli bitki örtüsü yenileme projelerinin 1990'lardan itibaren toprak erozyonunu da azalttığı bulunmuştur. Mevcut barajların ve rezervuarların sediment tutma kabiliyeti gelecekte azaldıkça, Loess Platosu'ndaki erozyon oranlarının Sarı Nehrin tortu yükünü giderek daha fazla kontrol edeceğini belirtmişlerdir.

Vercruyse, Grabowski ve Rickson (2017), nehirlerdeki askıda sediment taşınımı için daha önce yayınlanmış çalışmaları eleştirel bir şekilde değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışmada, gelecekteki araştırmalar için nehirlerdeki askıdaki sediment taşınmasının itici güçlerini daha iyi belirleyebilecek, sediment taşınım modellemesini iyileştirebilecek ve sediment yönetimi sorunlarına etkili, sürdürülebilir çözümler önermişlerdir.

Béjar ve ark (2017), Pirene nehrindeki bir madencilik bölümünde askıda kalan sediment miktarındaki artışlara zayıf sürüklenme tepkilerini incelemişlerdir. Madencilik faaliyetlerinin olduğu dönemlerde, askıya alınmış sediment konsantrasyonları, nehirdeki doğal sel sırasında gözlenenlere benzer şekilde maksimum derecede artmıştır. Madencilığe en yakın kesimlerde maksimum sediment yükleri kaydedilmiştir. Zayıf sürüklenme oranları, sürüklenen sediment sayısı ve sürüklenmenin yapısı, askıya alınmış sediment konsantrasyonları ve sediment yüklerinin yüksek olduğu madencilığe yakın kesimlerde değişmiştir. Sediment yükleri ile sürüklenme arasında önemli ilişkilerin olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmada, tek başına denge halindeki sediment miktarındaki artışların sürüklenmedeki değişiklikleri tetiklemek için yeterli olduğunu göstermiştir.

Hajigholizadeh, Melesse ve Fuentes (2018), sığ sularda sediment taşıma modellemesi ile ilgili literatürü gözden geçirmeye çalışmışlardır. Toprak erozyonu ve sediment taşınım modellerinin (ampirik, kavramsal, fiziksel ve hibrit) temsil süreçlerine dayanan bir sınıflandırma benimsenmiş ve yaygın olarak kullanılan modeller ve özellikleri listelenmiştir. Bu çalışma, uygulayıcıların mevcut modellerin türlerini, güçlü yönlerini ve temel uygulanabilirlik kapsamalarını tanımlamaları ve genel olarak karakterize etmeleri için yararlı olmasını sağlamaktadır.

Goldstein, Coco ve Plant (2019) kıyı morfodinamiği ve sediment taşınımı çalışmalarında makine öğrenme (ML) kullanımını incelemişlerdir. Makine öğrenimi araçlarının "hangi" bilim problemlerini ele almak için kullanıldığı, makine öğrenimi kullanılırken "ne" öğrenildiği ve yazarların makine öğrenimi yöntemlerini "neden" kullandığı gibi "ne" ve "neden" yönlerini incelemişlerdir. Küçük ölçekli sediment taşınımı tahminlerinden daha büyük ölçekli kum barı morfodinamiğine ve gelişmiş bir bölgedeki kıyı taşmasına kadar çeşitli araştırma sorularını ele almışlardır. Öngörülebilirliği en üst düzeye çıkarma, model bileşenlerinin belirlenmesi, düzgün ve sürekli doğrusal olmayan regresyon ihtiyacı ve belirsizliğin açıkça dahil edilmesi dahil olmak üzere makine öğreniminin kullanımını haklı çıkaran çeşitli nedenler ortaya koymuşlardır.

Nones (2019), İtalya'daki Secchia Nehri'ni sediment taşınımı için, ücretsiz iRIC paketi ile gerçekleştirilen iki sayısal simülasyonu karşılaştırmıştır. Aynı sınır koşullarıyla sabit ve hareketli yatağı karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, alüvyonlu kumlu nehirler için beslenme senaryolarının çizilmesinde sediment taşınımının dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

Richardson, Perron ve Schurr (2019), sediment taşınımını yaygın olarak eğime bağlı bir hız yasası ve aktarım mekanizmalarının yoğunluğunu temsil ettiği anlaşılan bir hız katsayısı olan D ile modellemişlerdir. Dünyanın dört bir yanından önceki D tahminleri derlenmiş olup ayrıca yeni tahminler yapılmıştır. D 'nin nispeten daha kuru yerler arasında artan nem ile güçlü bir şekilde arttığı ve nispeten daha ıslak yerler arasında artan nem ile daha az güçlü bir şekilde arttığı genel eğilimini ortaya koymakta olduğu belirtilmiştir. Bitki örtüsü türü, daha kurak alanlar arasında D üzerinde ikincil bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. D , çöllerden çayirlara ve ormanlara doğru artmaktadır. Bu eğilimler, bir peyzajda yaşamın kurulmasının toprak kaymasını önemli ölçüde hızlandırdığını, oysa bol neme sahip alanlar arasındaki biyolojik topluluklardaki farklılıkların toprak kayması üzerinde nispeten küçük bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Wilkes ve diğerleri (2019), çapı 2 mm'den küçük partiküller içeren aşırı ince tortuların nehirlerdeki ekolojik bozulmanın başlıca nedeni olduğunu belirtmişlerdir. Bu bağlamda, yeni bilimsel bilginin üretilmesine ve yönetim yeniliğine ilham vermesine yardımcı olabileceği inancıyla mevcut anlayışın geniş bir sentezini sunmuşlardır. Özellikle, ince

tortunun taşınmasını ve depolanmasını kontrol eden biyojeomorfik süreçleri ve bunun ekolojik tepkileri ve geri bildirimlerini ortaya çıkaran mekanizmaları vurgulamışlardır.

Watt, Phillips, Campbell, Wells ve Hole (2019), kablosuz sensör ağı (WSN) teknolojisinin sediment hareketi olmak üzere kıyı şeridinin ve kıyı süreçlerinin izlenmesinin zorlukların üstesinden gelmenin bir yolu olarak ele alınmaktadır. Bu inceleme, kıyı mühendisliği ve bilgisayar ağları disiplinler arasında iş birliğini içeren çok disiplinli bir çalışmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Sedimentlerin sadece görünen kumsalda değil, su altında hareketini izlemek için bir yöntem oluşturmak, kıyı izleme programlarının kıyı çevresini ve ilgili süreçleri daha iyi anlamasını sağlayacak ve daha etkili kıyı yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunacaklarını belirtmişlerdir.

Rahman ve Chakrabarty (2020), alüvyal nehirlerde özellikle barajlardan suyun salınması sırasında sediment akışının ve taşınmasının simülasyonunun karmaşık bir model olduğunu belirtmişlerdir. Bu tür sayısal modellerle ilgili sorunları Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak çözmeye çalışmışlardır. Çalışmanın temel amacı, alüvyal nehirlerdeki morfolojik değişiklikleri tahmin etmede en iyi performans gösteren YSA modellerini keşfetmek ve belirlemektir. Bu çalışmada, çok katmanlı ileri beslemeli ağları (MLFN) eğitmek için veri tabanı oluşturmak için tek boyutlu hidrodinamik modelleme sistemi HEC-RAS (Hidrolojik Mühendislik Merkezinin Nehir Analiz Sistemi) kullanılmıştır. Geliştirilen tüm MLFN modellerinin performans değerlendirmeleri, Ortalama Karesel Hata (MSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Determinasyon katsayısı (R^2) olmak üzere üç istatistiksel parametre kullanılarak yapılmıştır.

Guvel ve Yurtal (2020), Seyhan Baraj rezervuarındaki sediment birikimi CBS yöntemiyle tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu durumda baraj için sediment kaynağı ve istasyonu olan Çakıt ve Körkün çaylarından alınan gözlem verileriyle rezervuarda bulunan katı madde miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Seyhan barajı rezervuarından önceki yıllarda yapılan çalışmalarla CBS sonuçları karşılaştırılmıştır. Bölgede bulunan Çatalan barajının işletmeye alınmasıyla Seyhan nehrinden Seyhan barajına sediment taşınımı önemli derecede azalmış olup Çakıt kolunda yapılan teknik tedbirlerin sürdürülebilir yönetim açısından önemli olduğunu belirlemişlerdir.

Kuriqi ve diğeri (2020), laboratuvar koşullarında Shields sayısının tahmini ve farklı boyutsuz Meyer-Peter ve Müller sayısının kalibrasyonu için iki farklı deney yapmışlardır. İlk deney sırasında, yatak eğimine püskürtülen su miktarı, denge durumuna ulaşılan kadar eşzamanlı olarak değiştirilmiştir. İkinci deney sırasında su miktarı sabit kalırken, sadece yatak eğimi sürekli olarak değiştirilmiştir. Her iki deney de aynı sediment boyutunda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, boyutsuz Meyer-Peter ve Müller sayısının kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden sonra, Meyer-Peter ve Müller formülünün diğer hidrolik koşullar için de uygulanabileceği ve diğer durumlarda boyutsuz Meyer-Peter ve Müller sayısını kalibre etmek için benzer prosedürün uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Titik (2021), Ankara Sanayi Odası 2. ve 3. Organize Sanayi Bölgesi için atık su arıtma tesisinde çinko (Zn) tahminini YSA ile gerçekleştirmiştir. Çinko zehirli bir element olup ağır metal kirliliği kapsamında atık sularda fazla miktarda bulunduğu belirlenmiştir. Çinkonun arıtma sonrasında belirlenen limit değere gelmesi son derece önemlidir. YSA ile yapılan modellemede pH, Zn ve Fe konsantrasyonu giriş değişkeni, çıkış değişkeni olarak Zn çıkış konsantrasyonu seçilmiştir. Geliştirilen model sonuçları kıyaslandığında, YSA ile modellenen sistemin daha iyi çıktılar ürettiği görülmüştür.

Dayan, Demirci, Üneş ve Taşar (2021) katı madde tahmini için Catonsville yakınında Patapsco Nehri üzerinde bulunan katı madde (sediment) gözlem istasyonuna ait verileri kullanarak Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), Bulanık Mantık (SMRGT), ANFIS ve Katı madde anahtar eğrisi (KMAE) modellerini geliştirmişlerdir. Geliştirilen model sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında Bulanık Mantık modellerinin kullanılan diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Huai, Li, Katul, Liu ve Yang (2021) bitki örtülü nehirde sediment taşınımı ve akış dinamikleri arasındaki etkileşimi incelemiştir. Nehir restorasyonunu etkileyen sebepler dikkate alındığında, su bitkileri, akış dinamikleri ve bitki örtüsüyle kaplı nehirlerde sediment taşınımı arasındaki etkileşime ilişkin yöntemleri özetleyen bir inceleme yapılması kanaatine varılmıştır. Sediment taşınımına ilişkin eksiklikler, tuzaklar, bilgi boşlukları ve mevcut bilgi durumuna yönelik göz korkutucu zorluklar olarak ortaya çıkmaktadır. Çok disiplinli bir araştırma konusu olarak, nehir yönetimi ve ekosistem hizmetlerinin

geliştirilmesine ilişkin gelecekteki bir araştırma gündemi ve fırsatlarının detaylı bir şekilde incelenmesi kanısına varılmıştır.

Carrillo ve diğerleri (2021), yüksek eğimli ve iri daneli sedimentli kanallarda yatak yükü sediment taşıma hızlarını belirlemek için deneysel bir prosedür sunmuşlardır. Daha sonraki araştırmalar için yatak yükü taşıma hızlarını hesaplamak için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Deneyler, %3 ila %5 arasında değişen eğimlere sahip bir eğimli laboratuvar kanalında gerçekleştirilmiştir. Sediment parçacıkları tek biçimli küre şeklinde seçilmiştir. Deneyler, tortu boyutuna göre dört duruma ayrılmıştır. Deneysel model, çakıl yataklı nehirler için elde edilen literatürde sunulan denklemlerle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile görülen uyum, bu çalışmada ele alınan özellikle en yüksek eğimler ve dik eğimler için geliştirilen modellerde görülmüştür. Bu nedenle, kullanılan metodolojinin, yüksek gradyanlı kanalların yatak yükü taşıma hızlarının ve iri daneli tortu parçacıklarının incelenmesi için, bu sürecin tekdüze olmayan şekil ve büyüklükteki sedimentler gibi daha genel durumlarını incelemek için tekrar edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Üneş ve diğerleri (2021), nehirlerdeki askıdaki sediment miktarı tahmini için radyal tabanlı destek vektör makineleri (SVM-RBF), çoklu çekirdek destek vektör makineleri algoritmaları (SVM-PK), Library SVM (LibSVM), nöro-bulanık (NF), katı madde anahtar eğrileri (SRC) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada USGS (Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu) tarafından işletilen Augusta istasyonunda ölçülen günlük su sıcaklığı ve akım verileri kullanılmıştır. SVM-PK, SVM-RBF, LibSVM, NF ve MLR model çalışmaları için 15 farklı giriş kombinasyonu kullanılmıştır. Tüm modeller birbiriyle ortalama mutlak hata (MAE), ortalama karesel hata (RMSE) ve korelasyon katsayısı (R) istatistiksel verilerine göre karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda LibSVM ve NF model sonuçları en iyi sonuçları vermiştir.

Wang, Guo ve Huai (2021), buzla kaplı alüvyal kanallarda, askıdaki sediment konsantrasyonu ve boyuna dağılım katsayısını hesaplamak için zaman ortalamalı akış hızı $U(z)$, sediment çökme hızı (ω) ve türbülanslı difüzyon katsayısı $Dz(z)$ parametreleri ile rastgele bir yer değiştirme modeli kurmuşlardır. Kurulan bu model ilk olarak, literatürde yayınlanan sınırlı deneylerle karşılaştırılarak sediment konsantrasyon profillerini tahmin etmek için kullanılıp kullanılamayacağını belirlemek için denenmiştir. Ortaya çıkan

sonuçlar, modellerin, buz örtüsü sınırına yakın hafife alınmış konsantrasyon dışında ölçümlerle iyi bir şekilde uyuruşunu göstermişlerdir.

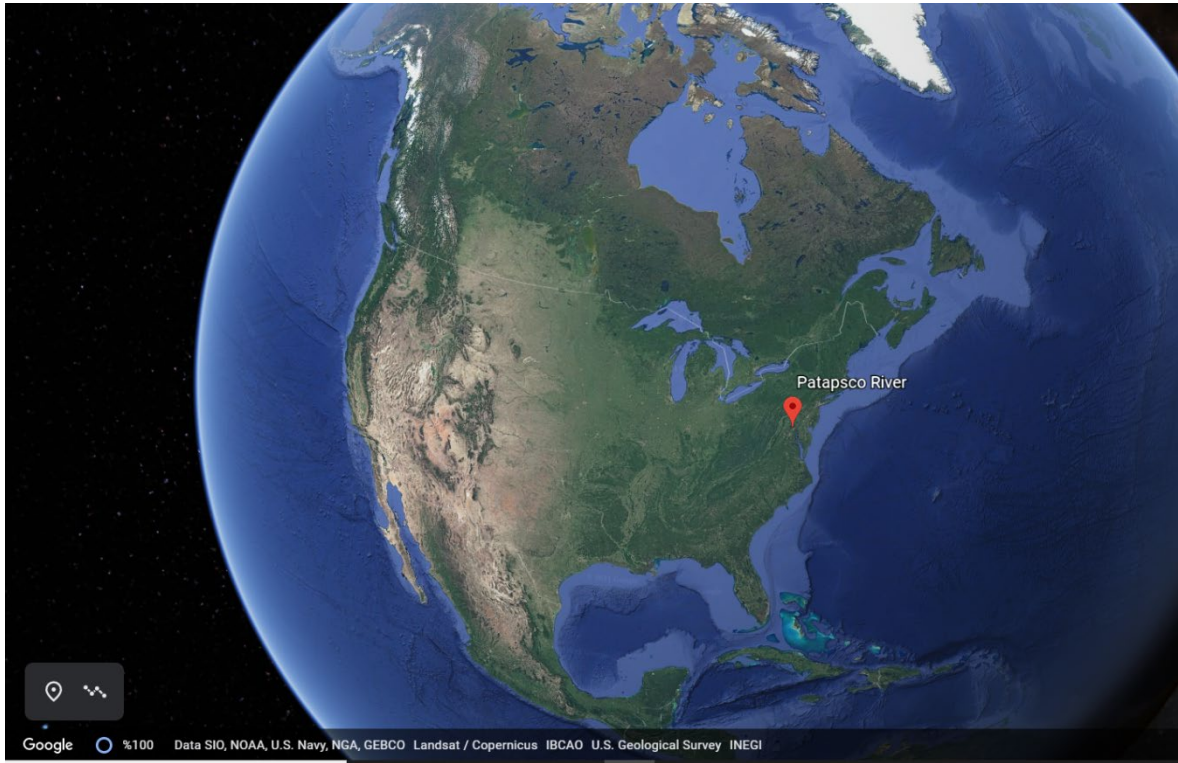
Serra, Soler, Barcelona ve Colomer (2022), yaptıkları çalışmada sediment takviyeli yapay taşkınların, sediment takviyeli olmayan muadilleriyle karşılaştırılmasını yapmışlardır. Mevcut çalışmada, sediment ikmal, sediment ikmal olmayan durumların aksine, dengeli bir askıya alınmış sediment taşınmasının üretildiği grlmştir. Ayrıca, taşkın olayları sırasında hem askıda kalan sediment taşınımı hem de parçacıkların sedimentasyon hızı, tortu ikmal durumları için, sediment ikmal olmayan durumlara göre daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak, sediment takviyeli yapay taşkın, bir nehir restorasyonu uygulamasında kullanılabilir bir modellerden biri olduğu grlmştir.

Yang, Kang, Lee ve Julien (2022), Güney Kore'nin mevcut nehir akışı ve sediment ölçüm verilerinin kapsamlı bir incelemesini yapmışlardır. Güney Kore'deki saha ölçümleri ile doğrulan ortalama yıllık akış deşarjını, akış süresi eğrilerini, sediment verimini ve kümülatif su ve sediment dağılım eğrilerini kullanarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, kk, muson ağırlıklı dağlık nehirlerde sellerin sediment taşınımındaki rolü araştırılmıştır. Ülkedeki sediment taşınımında sellerin önemli rolünü kk ve büyük su havzalarındaki sellerin göreceli öneminden bahsetmişlerdir.

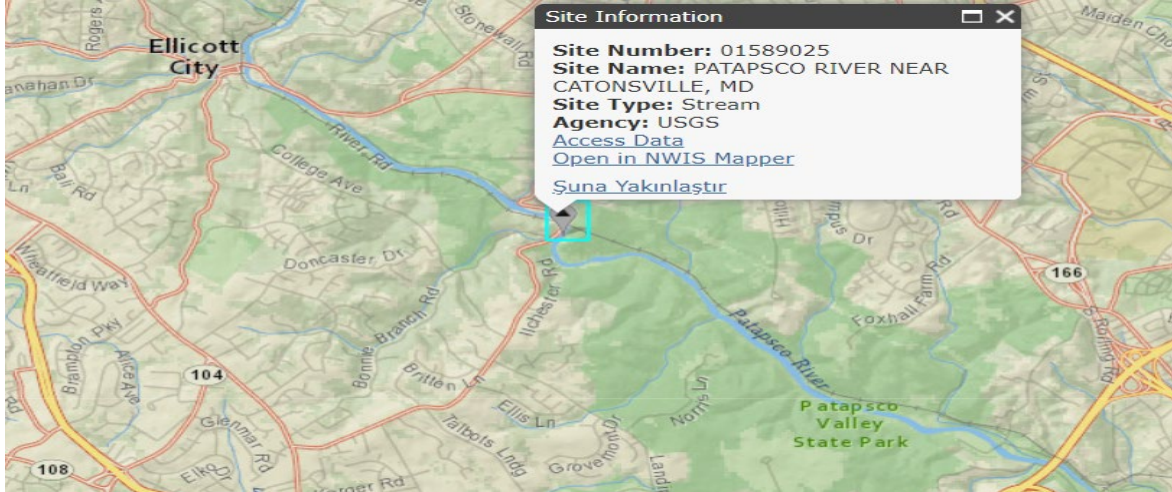
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışılan Alan

Yapılan bu çalışmada çalışılan alan olarak, şekil 3.1’de gösterilen ABD’nin Maryland eyaletindeki Catonsville yerleşimine bağlı Patapsco Nehrindeki bir istasyona ait verilerden faydalanılmıştır (Google Maps,2020). 39°15'04.5" Kuzey enlemi ve 76°45'49.6" Doğu boylamı üzerinde yer alan bu istasyona ait 2015-2018 yılları arasında 915 veri olmak üzere 3 yıllık meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu veriler Amerika Birleşik Devletleri İçişleri Bakanlığı bünyesinde faaliyet gösteren Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması Kurumu USGS (United States Geological Survey) web sayfasından alınmıştır. Çalışılan bu istasyonun konumu (USGS,2020) şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Patapsco Nehrindeki istasyonun konumu



Şekil 3.2. Patapsco Nehrindeki istasyonun konumu

Patapsco Nehri, 1770'lerde başlayan Maryland Sanayi Devrimi'nin merkezi olarak kabul edildiği için Tarih Nehri olarak da bilinir. Patapsco Nehri boyunca, 18. ve 19 yüzyıllarda, genellikle çok sayıda küçük barajın ürettiği su gücüne bağlı olarak, öğütme ve imalat işlemlerinin yapıldığı ifade edilmektedir. Ayrıca ülkenin ilk demiryolu olan Baltimore ve Ohio Demiryolu ana hattı 1829 yılında Patapsco Vadisi boyunca inşa edilmiştir. Vadide birçok eski demiryolu köprüsü inşa edilmiş, en önemlisi hâlâ mevcut durumunu koruyan Thomas Viyadüğü ve Patterson Viyadüğü kalıntıları dikkat çekmektedir. 1907'de inşa edilen un değirmenleri ve hidroelektrik barajı Bloede Barajı, daha önce nehir tarafından destekleniyordu.

Patapsco nehri vadisi sel baskınlarına karşı oldukça meyillidir. Sel baskınları arasında 1868 yılında Ellicott Şehri çevresinde 14 evin yıkılmasına ve 39 kişinin ölümüne sebep olan sel de yer almaktadır. 1923'te bir sel köprüleri doldururken, 1952'de sekiz metrelik bir su duvarı Ellicott City'nin dükkânlarını yıkmıştır. 1956'da meydana gelen sel, Bartigis Kardeşler fabrikasında ağır hasara yol açmıştır. 1972'de Agnes Kasırgası kalıntılarında yağın yağmur sonucu Ellicott Şehri ciddi hasar gördü. Temmuz 2016'daki Maryland seli, Main Street'i iki kişinin ölümü ile kasıp kavurdu, ardından sadece iki yıl sonra 27 Mayıs 2018'de bir kurtarıcının hayatını alan ani bir sel meydana geldi. Patapsco nehrinin görünümü şekil 3.3'te gösterilmiştir (Wikipedia,2021).



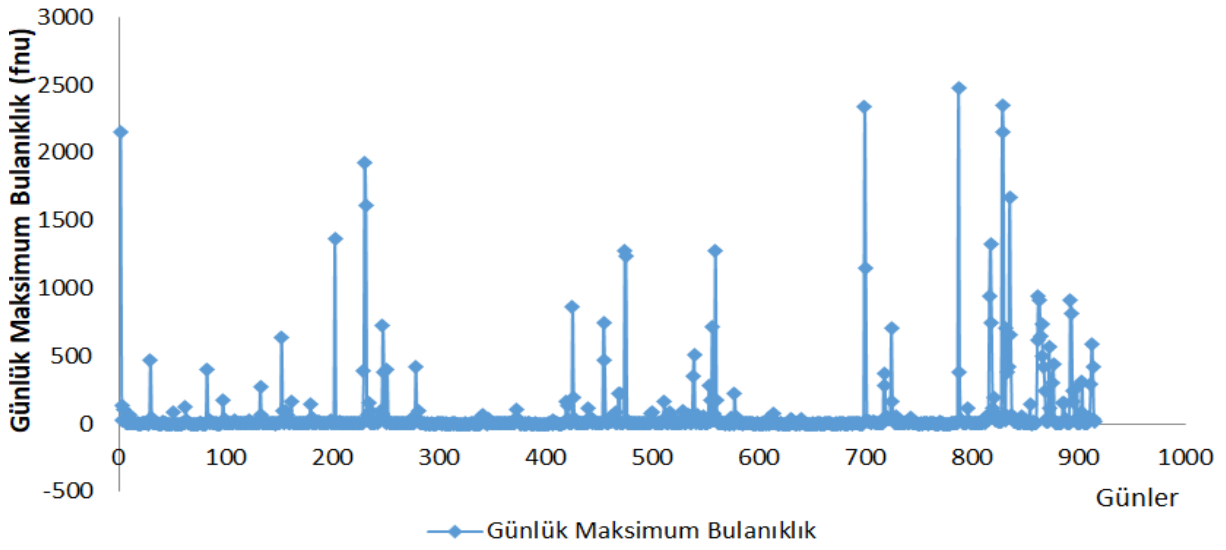
Şekil 3.3. Özgürlük Rezervuarı Patapsco Nehrinin görünümü

Patapsco Nehrine ait çalışmanın yapıldığı istasyona ait büyüklükler Çizelge 3.1’de verilmiştir (Wikipedia,2021).

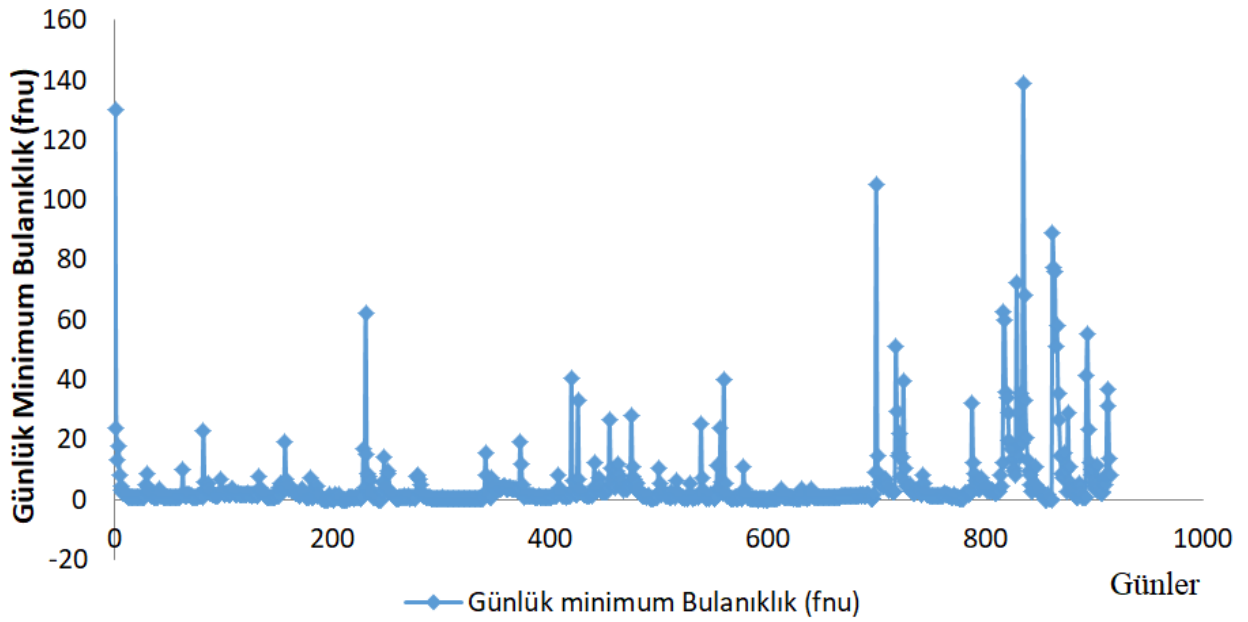
Çizelge 3.1. Patapsco Nehrine ait bilgiler

Uzunluk	39 mil (63 km)
Havza Boyutu	632 mil (1640 km ²)

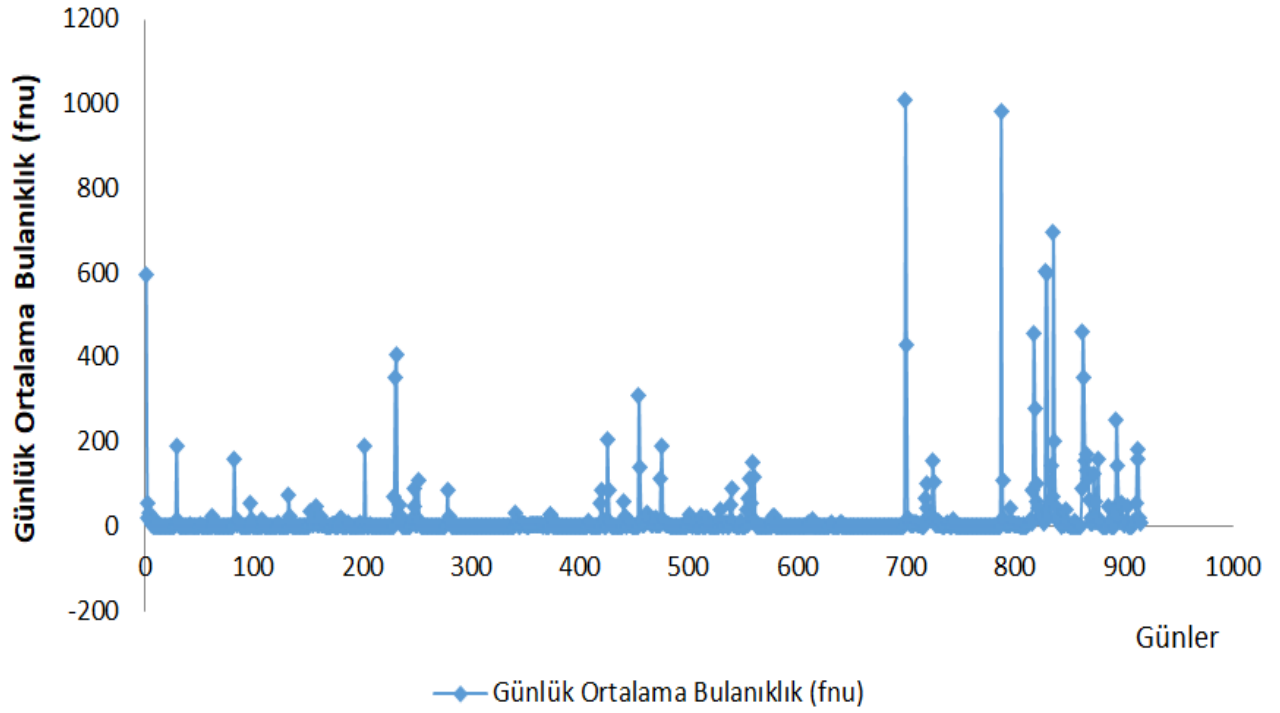
Yapılan bu çalışmada ABD’nin Catonsville yakınındaki Patapsco nehri üzerinde bulunan ve koordinatları 39°15’04.5" Kuzey enlemi ve 76°45’49.6"Doğu boylamında yer alan ve aynı zamanda 01589025 nolu istasyona ait 2015-2018 yılları arasındaki 915 adet gerçek zamanlı günlük meteorolojik veriler kullanılmıştır. Kullanılan tüm verilerin %78’i eğitim (715 adet) ve %22’si test (200 adet) için ayrılmıştır. Bu modelde kullanılan veriler USGS’den alınmıştır. Bu çalışmada ortalama günlük debi (Q), bulanıklık (B), katı madde miktarı (S) kullanılarak katı madde tahmin edilmiştir. Patapsco Nehrine ait 2015-2018 yılları arasındaki günlük maksimum bulanıklık (fnu) miktarları şekil 3.4’te, günlük minimum bulanıklık (fnu) miktarları şekil 3.5’te, günlük ortalama bulanıklık (fnu) miktarları şekil 3.6’da, günlük ortalama debi (m³/s) değişimleri şekil 3.7’de, günlük sediment (mg/L) miktarları şekil 3.8’de verilmiştir.



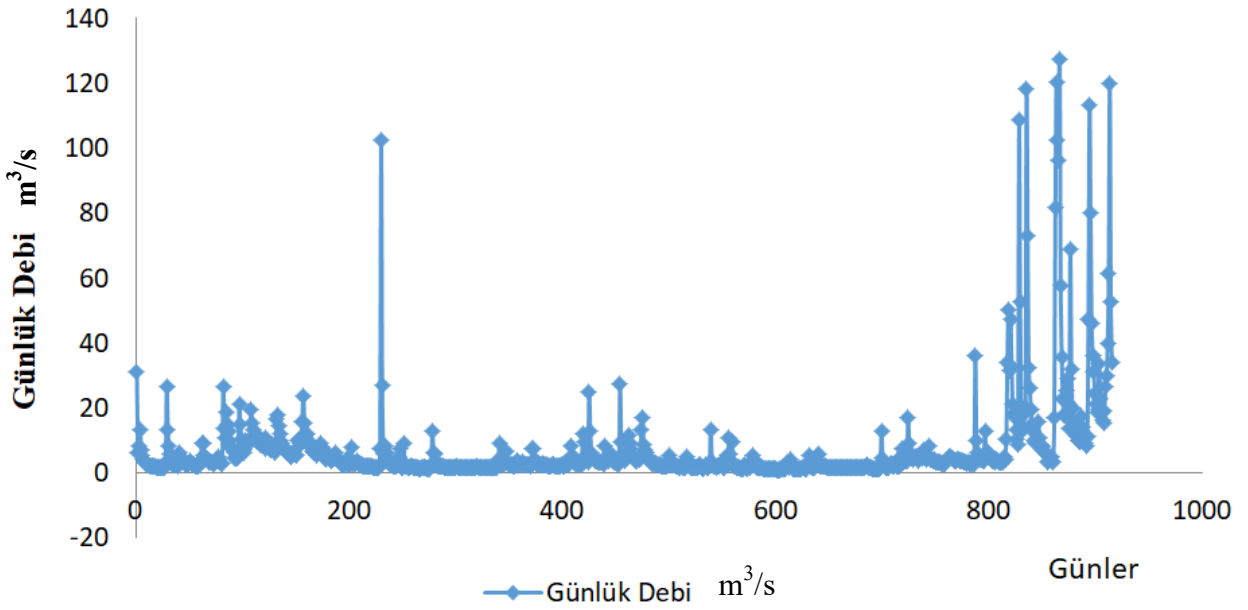
Şekil 3.4. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki maksimum bulanıklık (fnu) miktarları



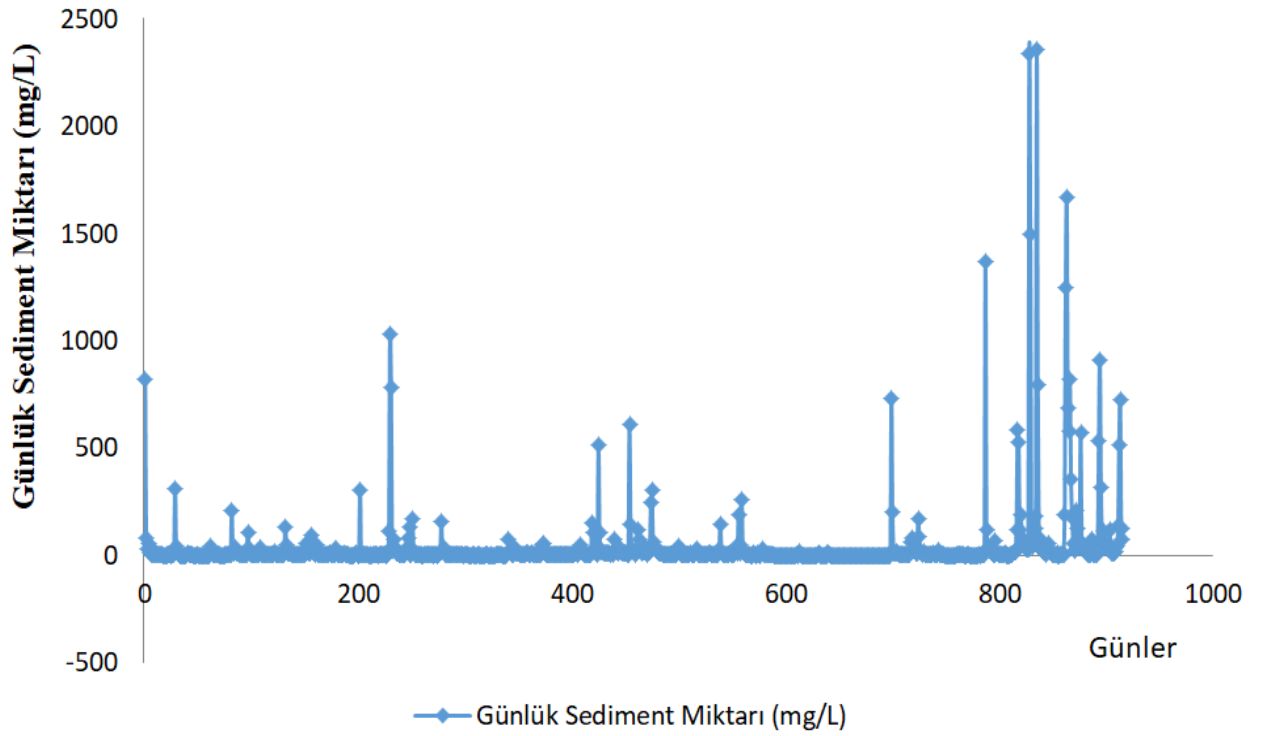
Şekil 3.5. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki minimum bulanıklık (fnu) miktarları



Şekil 3.6. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki ortalama bulanıklık (fnu) miktarları



Şekil 3.7. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki ortalama debi (m³/s) miktarları



Şekil 3.8. Patapsco Nehrindeki istasyona ait 2015- 2018 yıllarındaki ortalama sediment (mg/L) miktarları

3.2. Çalışmada Ele Alınan Modeller

Bu çalışmada katı madde tahmini için ABD Jeolojik Araştırma kurumunun web sitesinden alınan Patapsco Nehri yakınındaki istasyona ait olan 2015-2018 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Bu verilere göre katı madde miktarı, Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), bulanık mantık tabanlı SMRGT yöntemi, ANFIS ve katı madde anahtar eğrisi ile modellenmiş, kullanılan bu modellerin en iyi sonucuna ulaşılmış olup model sonuçları kendi aralarında ve katı madde anahtar eğrisiyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma koşulu olarak determinasyon katsayısı (R^2), ortalama karasel hataların karekökü (KHOK) ve mutlak ortalama hata (MOH) parametreleri kullanılmıştır. Bu kriterlere göre yapılan değerlendirmelere göre problemin çözümü için en iyi sonucu gösteren modeller seçilmiştir.

3.3. ÇDR (Çoklu Doğrusal Regresyon)

Regresyon analizi, bilinmeyen bir değişkenin değerinin bilinen bir değişkenden tahmin edilmesinde, bir değişkenin değerinin tahmin edilmesinde ve başka bir değişkenin değeri göz önüne alındığında, bu değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerine göre kullanılan

istatistiksel analiz alanında güçlü bir tekniktir. Temel olarak, regresyon analizi, tarihsel verilere dayanarak bir sonucu tahmin etmek için kullanılır. Aynı zamanda tahmine dayalı analiz olarak da adlandırılır. Regresyon analizi türleri:

- Basit doğrusal regresyon,
- Çoklu doğrusal regresyon
- Doğrusal olmayan (non-linear) regresyon

Şeklinde sıralanabilir.

Doğrusal regresyon, tahminlerde bulunmak için verileri analiz etmeye yönelik bir modelleme tekniğidir. Basit doğrusal regresyonda, açıklayıcı bir değişkenden (x) başka bir değişkeni (y) tahmin etmek için iki değişkenli bir model oluşturulur. Çoklu doğrusal regresyonda bu model, çok değişkenli bir model üreten birden fazla açıklayıcı değişkeni (x_1, x_2, \dots, x_n) içerecek şekilde genişletilir.

ÇDR'de gerçek değere daha yakın bir sonuca ulaşmak için incelenen konu hakkında bütün faktörleri gözlemlemek gerekmektedir. Örneğin; bir nehirdeki katı madde miktarının doğru tahmin edilmesi nehrin debisine, nehrin akımına, suyun bulanıklığına, sudaki sediment miktarına, taşınan katı madde türüne ve suyun özgül ağırlığı gibi faktörlere bağlı olmaktadır. Bütün bu faktörler incelenir ve sonrasında bu faktörlerden en etkili olana göre günlük katı madde miktarı tahmin edilir.

Çoklu doğrusal regresyon analizine başlarken ilk olarak aralarında bir ilişki aranacak olan değişkenler belirlenmelidir.

ÇDR yöntemindeki, bağımlı değişkenler y , bağımsız değişkenlere ise (x_1, x_2, \dots, x_n) diye adlandırıldığında aralarındaki ilişki Eş. 3.1'de gösterilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (3.1)$$

Bu eşitlikten $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j, \dots, \beta_n$ gibi bilinmeyenlere regresyon katsayısı denir. β_j katsayısı, diğer değişkenler sabit olduğunda x_j 'de meydana gelen bir birimlik değişmeye karşı y değişkeninde meydana gelen değeri vermektedir. β_j ($j = 1, 2, \dots, n$), genellikle kısmi regresyon katsayısı denmektedir. β_0 'a kesim noktası denmektedir. β_0 tüm x_j değerleri sıfır olduğu anda bağımlı değişkenin aldığı değeri gösterir. ε ise hata terimi olarak adlandırılmaktadır.

3.4. Bulanık Mantık

Klasik Mantık doğru ve yanlış arasındaki ilişkinin ayrımını yapan bir düşünme biçimidir. Bulanık mantıkta ise kesin bir doğru veya yanlış yoktur. Belirsizlikler büyük bir yer tutmaktadır. Herhangi bir şey doğru veya yanlış olabileceği gibi, tamamen doğru veya yanlış olmayabilir. Bazen yanlışlar, yanlışlarla birlikte bazı doğruları da içerebilir. İnsanlar sayısal olarak düşünmek yerine çoğu kez sözel düşünmektedir. Bu da demek oluyor ki insanlar bulanık düşünür, bulanık tanımlar ve bulanık tasvir ederler (Toprak, 2009). Bulanık Mantık 1965 yılında Zadeh aracılığıyla bulanık küme teorisi ortaya atılarak bulunmuştur (Zadeh, 1965). Zadeh'in bulduğu bu yöntemde belirsizlik kavramı açıklığa kavuşmuştur. İnsanlar karşılaştıkları bütün sorunları çözmek isterler. Bu sorunların çözülmesi bazen basitçe olabilirken bazen de karmaşık olmaktadır. Bulanık Mantık teorisi problemleri kümeleme şeklinde değerlendirmektedir. Bulanık model problemlerindeki dikkat edilmesi gereken en önemli kısım bulanık küme ve bulanık kural tabanının doğru şekilde belirlenmesidir. Bulanık küme ve bulanık kural tabanını doğru belirleyen SMRGT yöntemi ilk olarak Toprak (2009) tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntemde, üyelik fonksiyonları üçgen/trapez şeklinde belirlenmektedir. Bu yöntemde bulanık kurallar "ağırlık merkezi" ve durulaştırma yöntemiyle belirlenmektedir. Bu çalışmada SMRGT yönteminin kendi içinde farklı üyelik fonksiyonlarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Seçilen girdi ve çıktı verilerine göre Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan SMRGT modeline ait bulanık kümeler oluşturulmuştur.

Klasik mantıkta keskin sınırlar vardır. Bir şey ya doğrudur ya da yanlıştır. Hava ya sıcaktır ya da soğuktur. Bulanık mantıkta ise hava kısmen sıcak veya çok sıcak olabileceği gibi çok soğuk veya kısmen soğuk da olabilir. Klasik sistem davranışı üç farklı kısımdan oluşur. Bunlar giriş, sistem davranışı ve çıkış bölümleri şekil 3.9'da gösterilmektedir. Çizelge 3.2'de klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki farklar gösterilmiştir.

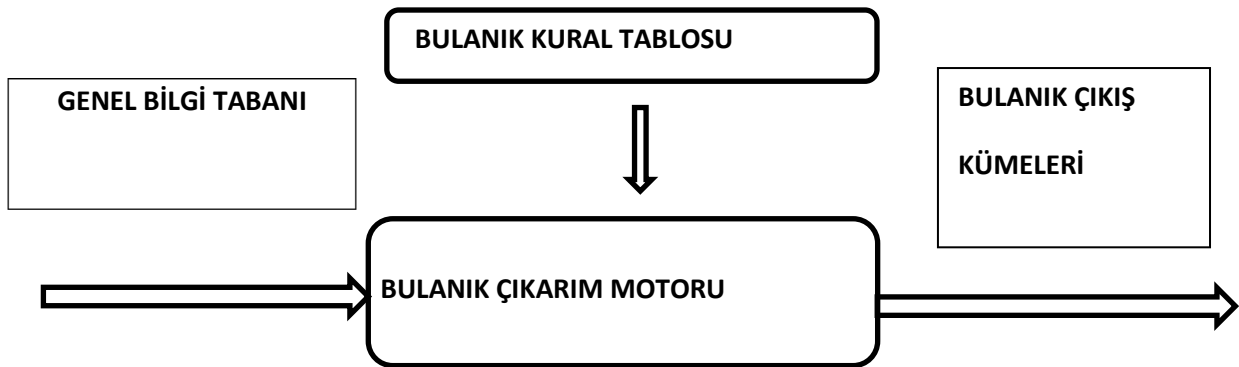
Çizelge 3.2. Klasik mantık ve Bulanık Mantık Arasındaki Farklılıklar

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
Veya	Ve
Modeller Kesin	Modeller Kısmi
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler



Şekil 3.9. Klasik mantık çalışma sistemi

Bulanık mantık sistemi ile klasik mantık sisteminin farklı olmasının sebebi bulanık sistem davranışının birbiriyle bağlantılı dört farklı birime sahip olmasıdır. Bu birimler şekil 3.10’da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Genel bulanık sistem şeması

- ☑ **Giriş:** Bulanık sistemde araştırılacak olan bölümü etkileyen parametreleri ve bu bölüm hakkındaki bilgileri içeren kısma denir. Aynı zamanda genel bilgi tabanı da denilmektedir.
- ☑ **Bulanık Kural Tabanı:** Bulanık sistemdeki giriş parametrelerini çıkış parametrelerine bağlayan kısımdır.
- ☑ **Bulanık Çıkarım Motoru:** Kuralların çıkarımlarını toplayarak çıktının nasıl olacağını belirler.
- ☑ **Çıkış:** Bulanık sistemdeki Giriş, bulanık kural tabanının ve bulanık çıkarım motorunun birbirleriyle olan etkileşimleriyle ortaya çıkan çıktı değerlerini belirtmektedir.

Bulanık mantık modellemelerinde sınırların kesin sonuçlarla ifade edilemeyip belirsizliklerin olduğu problemlerin çözümü için bulanık mantık gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir.

3.4.1. Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

Bir bulanık modellemede dikkat edilmesi gereken hususlardan biri bulanık kümelerin ve bulanık kural tabanının doğru biçimde belirlenmesidir. Bulanık mantık, bulanık küme mantığına dayanmaktadır. Klasik mantıkta bulunan kümeler çok keskindir. Klasik mantık küme anlayışında kümedeki herhangi bir eleman ya o kümeyle aittir ya da o kümeyle ait

değildir. Bu küme anlayışında üyelik derecesi 0 ya da 1 derecesini almaktadır. Eğer ki eleman kümeye bağlı ise (1), değil ise (0) değerini alır. Bundan dolayı klasik kümede küme sınırları bellidir ve kesindir.

Bulanık mantık kümelerinde sınırlar net ve kesin değildir. Bulanık küme sınırları genellikle iç içe geçmektedir. Klasik kümelerde kümeden sonraki kümeye geçiş keskin ve aniden üyelik dereceleriyle oluyorken, bulanık kümelerdeki geçişler daha yumuşak ve sürekli şeklindedir.

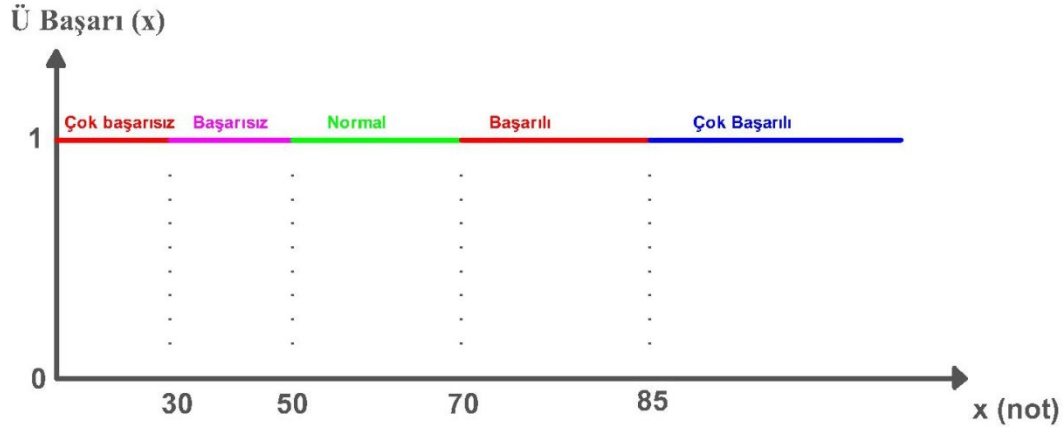
Üyelik fonksiyonları

Bulanık mantıktaki üyelik fonksiyonları ele alınan ifade ve değerle ilgili bilgi sahibi olmamızı ve değer aralığını belirler. Mesela öğrencilerin almış oldukları herhangi bir ders sınav notları değişiminin 0 ile 100 arasında olduğu görülüyor. Bu ders için oluşturulan başarı kümesinin harf notlandırması “çok başarısız” “başarısız”, “normal”, “başarılı”, “çok başarılı” gibi aralıklarla belirlenir. Oluşturulan bu kümenin klasik küme ve bulanık küme şeklinde üyelik fonksiyonları aşağıda gösterilmiştir. Klasik kümelerde üyelik fonksiyonları arasında geçiş bölgesi olmamaktadır. Örneğin klasik bir kümeye göre; çok başarısızın 0 ile 30, başarısız öğrencilerin 30 ile 50, normal öğrencilerin 50 ile 70, başarılı öğrencilerin 70 ile 85, çok başarılı öğrencilerin ise 85’ten başladığını kabul edelim. Bu altkümeler ile oluşturulan başarı uzayına ait klasik küme şekil 3.11’de gösterilmiştir.

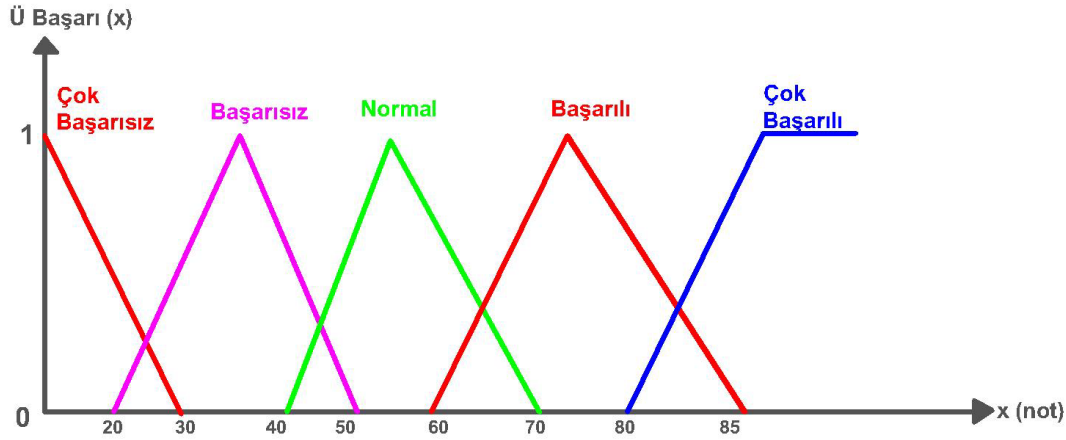
Bulanık kümeye göre oluşturulan üyelik fonksiyonları şekil 3.12’de “Çok Başarısız” notu sıfırdan başlayıp sınav notu 30 puan olan öğrenciye dek sürmektedir. Sıfır olan nottan uzaklaştıkça Çok Başarısız notundan uzaklaşma ve başarısız notuna yaklaşma meydana gelmektedir. “Çok Başarısız” kümesinin üyelik fonksiyonu azaldıkça çok başarısız notu 30 notuna varacaktır. Notun 30 olduğu anda üyelik fonksiyonu değeri 0 olmaktadır. Çok Başarısız notu ile “Çok Başarısız” bulanık kümesinin üyelik derecesi doğrusal bir bağlantı mevcut ise çok başarısız üyelik fonksiyonuna ait olan bulanık küme dik bir üçgen şeklinde olmaktadır.

“Çok başarılı” bulanık kümesi incelendiğinde; 80 notu çok başarılı kümesinin ilk noktası olarak seçildiğinde üst notun sınırı kesin olmamaktadır. Aynı zamanda üyelik fonksiyonu 80 notunda iken üyelik derecesi sıfır değerinde olup, lineer bir şekilde 1 olana kadar artmaktadır. Artış 90 notuna ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Bu değerden sonra ise sabit olarak üyelik derecesi 1 olarak devam etmektedir.

“Başarısız”, “Normal”, “Başarılı” bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları, sıfır değerinden lineer olarak artarak 1 değerini almaktadır. Daha sonra aynı şekilde doğrusal olarak 1 değerinden 0 değerine doğru azalmaktadır. Bu şekilde olan bulanık kümeler için üyelik fonksiyonu üçgen şeklini almaktadır.



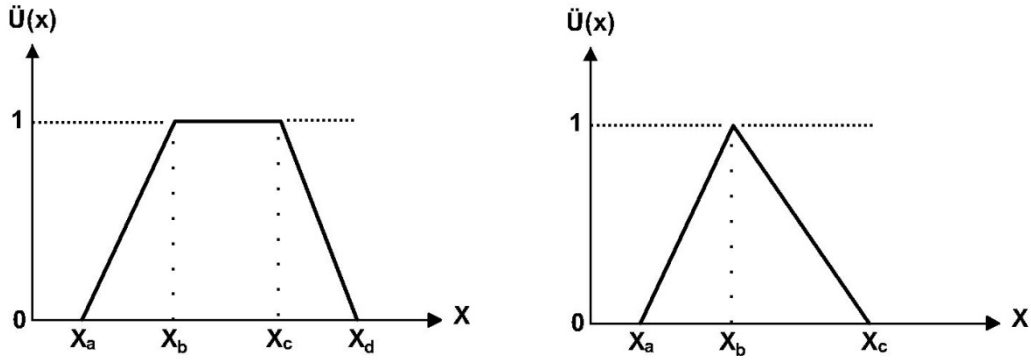
Şekil 3.11. Klasik mantığa ait kümelerin üyelik fonksiyonları



Şekil 3.12. Bulanık mantığa ait küme sisteminin üyelik fonksiyonları

Üyelik fonksiyonlarının şekilleri ve kısımları

Bulanık mantık kümelerinin şekilleri küme ile arasındaki aitlik derecesine bağlı olmakla birlikte arasında sadece doğrusal bir ilişki söz edilemez. Herhangi bir fonksiyonel ilişki de olabilir. Bu yüzden bulanık mantık da oluşabilecek üyelik fonksiyonları üçgen ya da yamuk dışında Gauss, Çan Eğrisi, S ve Z şekillerinde de olabilirler. Şekil 3.13'te bulanık mantık üyelik fonksiyonuna ait şekiller gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Bulanık mantık üyelik fonksiyonları (üçgen ve yamuk)

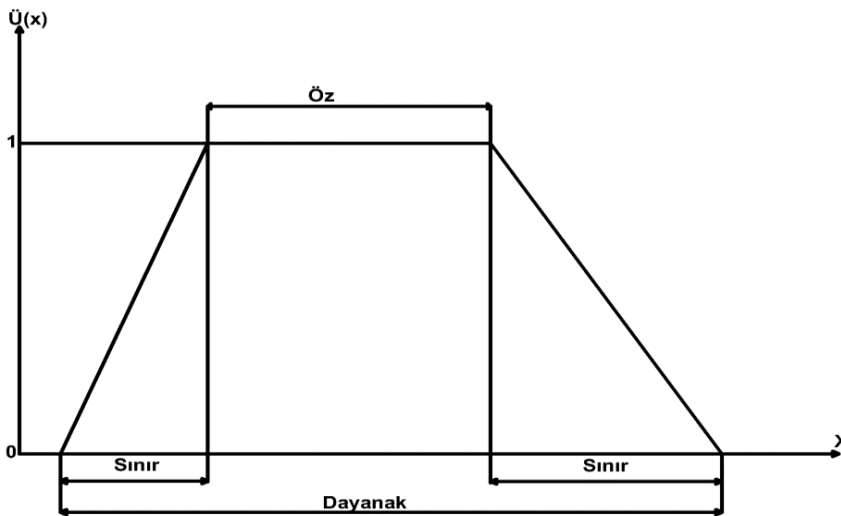
Üyelik fonksiyonunun kısımları

Üyelik fonksiyonları genellikle üç bölgeden oluşmaktadır. Bunlar: Öz, Dayanak ve Sınır

Öz Bölgesi: Üyelik fonksiyonunun üyelik derecesinin 1'e eşit olan bulanık küme elemanına öz bölgesi denmektedir. Bu kısımda $\ddot{U}(x) = 1$ 'dir. Bir tek nokta olabileceği gibi (üçgen üyelik fonksiyonu) birden fazla öz bölgesi de olabilir (yamuk üyelik fonksiyonu.)

Dayanak: Bulanık kümenin tüm elemanlarını içeren kısma denir. Üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değişir. $0 \leq \ddot{U}(x) \leq 1$ şeklinde gösterilir.

Sınır: Üyelik fonksiyonlarının geçiş bölgeleridir. Bu bölgede üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değişir. Bulanık mantığın bulanıklık özelliği kazanmasını sağlayan kısımlardır. Şekil 3.14'te bulanık mantık üyelik fonksiyonuna ait genel kısımlar gösterilmiştir (Şen, 2009).



Şekil 3.14. Bulanık mantık üyelik fonksiyonunun genel kısımları

3.4.2. Bulanıklaştırma

Zadeh (1968), tanımlaması zor ve karmaşık olayları bilinen geleneksel yöntemlerle modellemenin zorluğundan bahsetmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için, bu değişkenleri sayılarla modellemek yerine, kelimelerle ifade edilen sözel modeller oluşturmak daha doğru olmaktadır. Bunun için, sözel olarak belirlenen giriş parametrelerine karşılık üyelik fonksiyonlarının değerinin 0 ile 1 arasındaki üyelik dereceleriyle belirtilir. Bundan dolayı oluşan üyelik fonksiyonuna ait kümelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir. Bu belirsizlik sayısal olmayan sözel modellerden olduğu zaman bulanıklaştırmadan bahsedilir. Örneğin bir internet kullanıcısının kullandığı internetten memnuniyet algısı sözel bir değişkendir. Bu değişkene ait değerler: ‘hiç memnun değil’, ‘memnun’ ve ‘çok memnun’ vb. şekillerde pek çok değer alabilmektedir. Bu sözel değerlerin matematiksel modeller yardımıyla anlaşılmasını sağlayan sisteme bulanık mantık denir.

3.4.3. Bulanık çıkarım

Bulanık Mantık için oluşturulan kurallar, bulanık çıkarım sistemlerinin kaynağını oluşturmaktadır. Oluşturulan bu kurallar içerisinden kıyaslama yapılarak sonuç değerinin oluşmasına “çıkartım” denir (Doğan, 2016). Bulanık çıkartım çıkartımın yapıldığı ve karar verme mekanizmasının modellendiği kısımdır. Bu modellemeyi gerçekleştirirken matematiksel ifadelerin yerine bulanık mantık kümeleri ve bulanık mantık kuralları kullanılmaktadır.

Bu modellemede karar verme ve çıkartım yapılmasını sağlayan pek çok çıkartım yöntemi uygulanmaktadır (Elmas, 2011).

Bu bulanık modellemelerde genellikle kullanılan çıkartım yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Bunlar;

1. Mamdani çıkartım yöntemi,
2. Larsen çıkartım yöntemi,
3. Tsukamoto çıkartım yöntemi,
4. Sugeno çıkartım yöntemidir.

Çalışmalarda genellikle kullanılan yöntemler Mamdani ve Takagi-Sugeno yöntemleridir. Bu çalışmada Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Bütün bu bulanık çıkarım yöntemlerine ait açıklamalar aşağıdaki bölümde açıklanmıştır.

Mamdani çıkarım yöntemi

Mamdani tarafından 1975 yılında bulunan bu sistem insanların algı yapısına daha elverişli, modellenmesi ve açıklanması açısından daha kolaydır. Mamdani çıkarım yöntemi bulanık mantıkta çok sık kullanılan yöntemlerden biridir. Mamdani yönteminde kullanılan sözel bulanık modellerin genellikle 'eğer, ise' şeklinde nitelendirilmesi sağlanır. Bu şekilde kurallar oluşturulur. Oluşturulan kurallardan sonra ulaşılan bulanık çıktılar ağırlık merkezi, ortalama merkezi, ortalama en büyük üyelik derecesi gibi farklı metotlar uygulanarak durulanmış çıktı şekline varırlar. Bu yöntemlerden hangisinin daha iyi sonuç vereceği ile ilgili herhangi bir sistematik yol olmamakla beraber çalışılan problemin özelliklerine göre seçilen yöntem farklılık gösterebilir.

Sugeno tipi bulanık çıkarım

Takagi ve Sugeno tarafından 1985 yılında geliştirilen bu modelde sayısal analiz ve hesaplamalar için oldukça iyi sayısal sonuçlar vermektedir (Takagi ve Sugeno, 1985). Mamdani çıkarım yönteminde 'eğer, ise' şeklinde olan kurallar Sugeno yönteminde ise sonuçlar kesin bir fonksiyon olarak ifade edilir. Sugeno tipi bulanık çıkarım ile Mamdani çıkarım yöntemi arasındaki en belirgin fark Mamdani yönteminde bir çıkış kümesi oluşturulurken, Sugeno yönteminde ise çıkış kümesi bir fonksiyon şeklinde verilmektedir.

Larsen çıkarım yöntemi

Larsen çıkarım yönteminde oluşturulan kümenin bütün giriş değerleri için üyelik derecesine göre bağlantılı olduğu kümeyi de etkilemektedir. Ortaya çıkan çıkış değeri bu bulanık kümeler içinden en büyük değeri alarak belirlenir (Gündoğdu, 2012).

Tsukamoto çıkarım yöntemi

Tsukamoto çıkarım yönteminde çıkış için oluşan fonksiyon tek yönlü artan bir fonksiyon olmaktadır. Oluşturulan kuralların her biri için çıkış değeri alınarak sonuca ulaşılmaktadır (Gündoğdu, 2012).

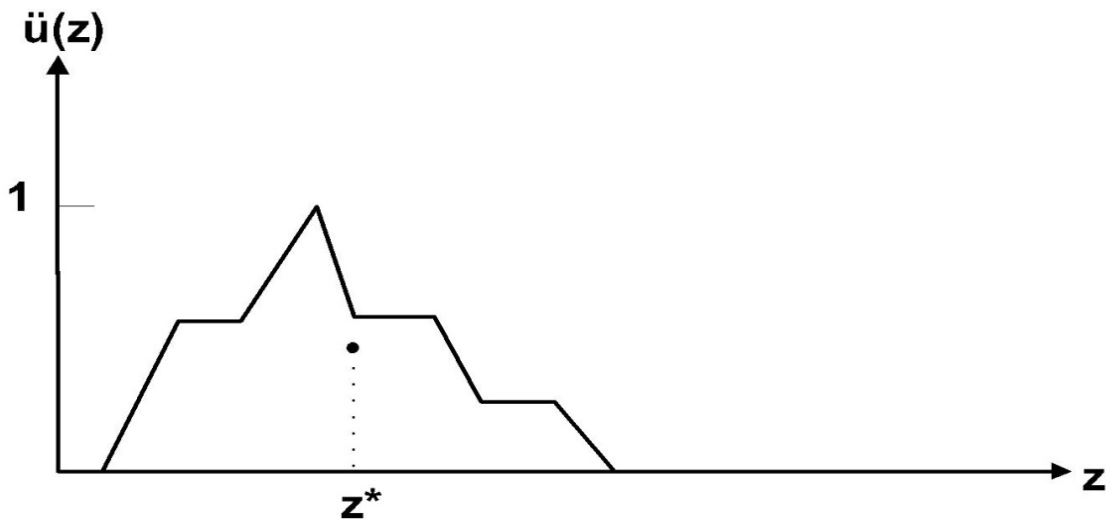
3.4.4. Durulaştırma

Bulanık mantıktan çıkarılan sonuçlar bulanık bir kümedir. Mühendislik proje ve tasarımında ise kesin sayısal değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık küme yöntemlerinin sonucunda ortaya çıkan sözel sonuçların tekrar sisteme yüklenebilmesi için sayısal değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Bu işleme durulaştırma denilmektedir. Durulaştırma bulanıklaştırma olayının tam tersidir. Durulaştırma işlemi yapılırken birbirinden farklı yöntemler kullanılmaktadır. İlk olarak, bulanık mantık için oluşturulan kümelerin her biri için değer ve sonuç kuralları belirlenir. Bundan sonra durulaştırma için en uygun yöntem seçilir. Seçilen yöntemin hangisi olduğunun belirlenmesinde uzman görüşü son derece önemlidir. Kullanılan durulaştırma yöntemleri aşağıdaki gibidir.

- Sentroid (ağırlık merkezi) yöntemi
- En büyük (maksimum) üyelik derecesi yöntemi
- Ortalama en büyük (mean-max) üyelik derecesi yöntemi
- Ağırlıklı ortalama yöntemi

Sentroid (ağırlık merkezi) yöntemi

Diğer adı ağırlık merkezidir. Kümenin ağırlık merkezi bulunarak üyelik fonksiyonunun derecesinin belirlenmesiyle sonuca ulaşılır. Bu yöntem Eş. 3.2’de gösterilmektedir. Durulaştırma işleminde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Z^* değerinin elde edilişi şekil 3.15’te görülmektedir.

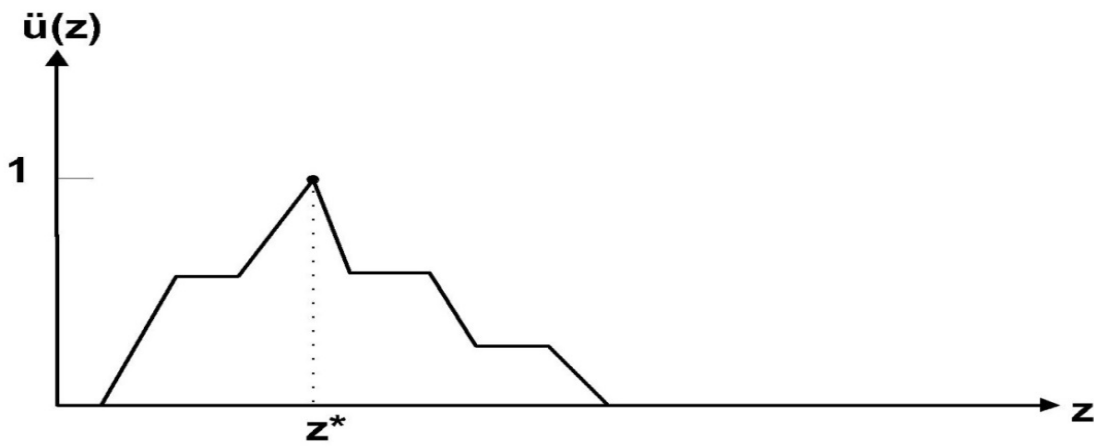


Şekil 3.15. Ağırlık merkezi yöntemiyle durulaştırma işlemi.

$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_c(z) z dz}{\int \ddot{u}_c(z) dz} \quad (3.2)$$

En büyük (maksimum) üyelik derecesi yöntemi

Bu yöntemin adından da anlaşılacağı üzere en büyük üyelik derecesini veren yöntemdir. Bütün üyelik dereceleri arasından üyelik derecesi en büyük olan yöntemdir. Z^* değerinin elde edilişi şekil 3.16'da görülmektedir.

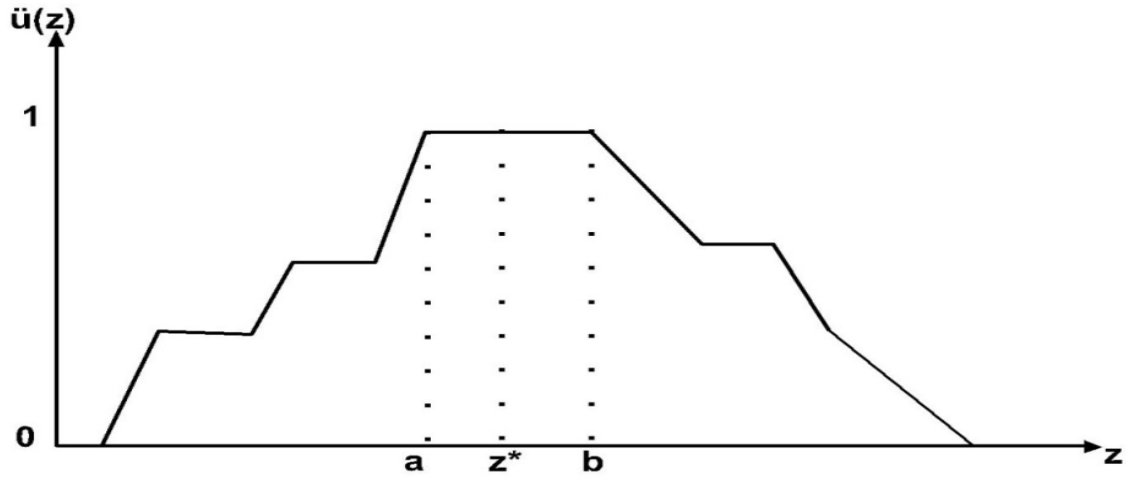


Şekil 3.16. Maksimum üyelik derecesi ile durulaştırma işlemi

Ortalama en büyük (mean-max) üyelik derecesi yöntemi

Bu yöntem ile en büyük üyelik derecesi yöntemi birbiriyle ilişkilidir. Bunun nedeni en büyük üyelik derecesinin orta noktası olmasıdır. Bu yöntem Eş. 3.3'de gösterilmektedir (Şen, 2009; Elmas, 2011). Z^* değişkenine ulaşılması şekil 3.17'de görülmektedir.

$$z^* = \frac{a + b}{2} \quad (3.3)$$

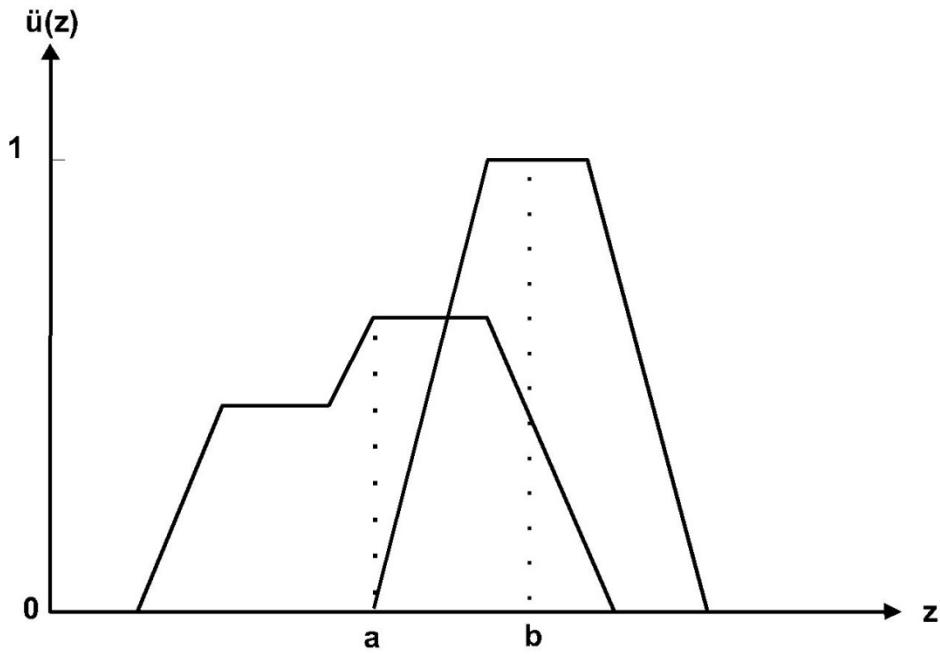


Şekil 3.17. Ortalama en büyük üyelik derecesi yöntemi ile durulaştırma işlemi

Ağırlıklı ortalama yöntemi

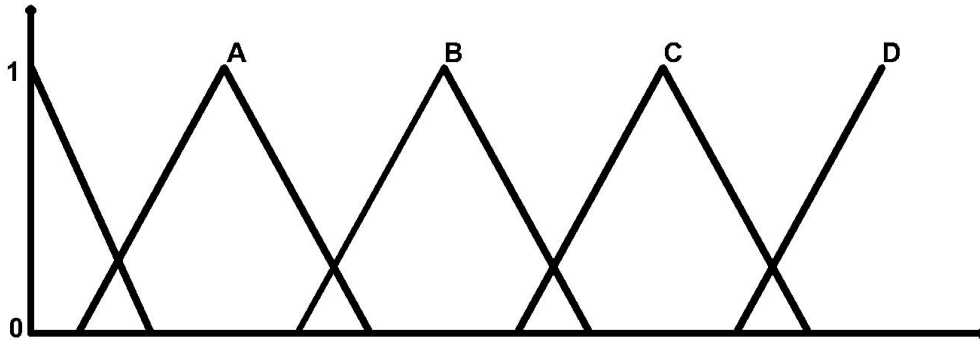
Bu yöntem simetrik fonksiyonlara sahip üyelik fonksiyonları için kullanılır. Ağırlıklı ortalama yönteminde girişlerden elde edilen değerler ile üyelik değerleri kullanılır. Üyelik değeri ile o değer çıkış kümesi üzerinde kesiştiği yerin alanıyla çarpımı yapılır. Yapılan bu çarpımların toplamı ile bütün kurallardan alınan üyelik değerlerinin toplamına oranı ağırlıklı ortalamayı verir. Eş. 3.4'te ağırlıklı ortalamayı veren formül gösterilmiştir. Bu formülde \sum sembolü cebirsel toplamayı ifade etmektedir. \bar{Z} Sembolü alanı göstermektedir. Z^* değerinin elde edilişi şekil 3.18'de görülmektedir.

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{u}_c(\bar{Z}) \bar{Z}}{\sum_{i=1}^n \bar{u}_c(\bar{Z})} \quad (3.4)$$



Şekil 3.18. Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma işlemi.

3.5. Bulanık Mantık SMRGT Modelleri



Şekil 3.19. SMRGT üyelik fonksiyonlarının yapısı

SMRGT yönteminin basamaklarından ilki bağımlı değişkenler ve bağımsız değişkenler için maksimum ve minimum olan değerler belirtilir. Daha sonrasında ise üyelik fonksiyonların şekli ve yapısı belirlenir. Üyelik fonksiyonlarının şekli ve yapısı bulunması gereken değişkenler aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır (Eş. 3.5-3.13). Bulanık kümelerin şekli üçgen olarak seçilmiştir. Bu kümelerde kullanılan üyelik fonksiyonlarının yapısı şekil 3.19'da gösterilmiştir. Kullanılan verilerden oluşturulan SMRGT tahmin modellerine ait sonuçlar Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

$$X_R = X_{\max} - X_{\min} \quad (3.5)$$

$$UW = \frac{X_R}{n_u} \quad (3.6)$$

$$EUW = \frac{X_R}{n_u} + A \quad (3.7)$$

$$A = \frac{UW}{2} \quad (3.8)$$

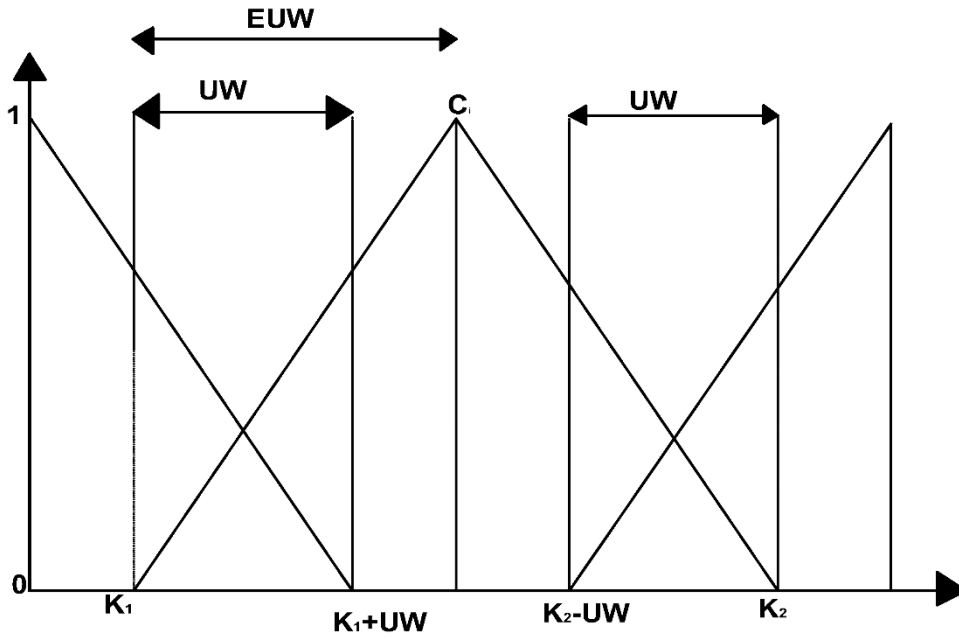
$$K_1 = X_{\min} + \frac{EUW}{3} \quad (3.9)$$

$$K_2 = X_{\max} - \frac{EUW}{3} \quad (3.10)$$

$$C_i = \frac{X_R}{2} + X_{\min} \quad (3.11)$$

$$C_{i-1} = \left(\frac{C_i - X_{\min}}{2} \right) + X_{\min} \quad (3.12)$$

$$C_{i+1} = X_{\max} - \left(\frac{X_{\max} - C_i}{2} \right) \quad (3.13)$$



Şekil 3.20. SMRGT yöntemine formüllerin grafiksel gösterimi

Çizelge 3.3. 11' li üyelik fonksiyonuna ait SMRGT sonuçları

	Bulanıklık	Debi	Sediment
X_{\min}	0	0	0
X_{\max}	1100	140	2400
X_R	1100	140	2400
C_{i-1}	275	35	600
C_i	550	70	1200
C_{i+1}	825	105	1800
n_u	20	20	20
UW	55	7	120
EUW	82,5	10,5	180
K1	27,5	3,5	60
K2	1072,5	136,5	2340

Çizelge 3.3'te verilen bu değerlerden UW bulanık kümelerin birim genişliği, çekirdek değeri (C_i) ve anahtar değerleri (K_i) gösterilmiştir. Bu değerler için bulanık kümelerin değişim aralığının (X_R) bilinmesi gerekmektedir. Değişim aralığını belirleyebilmek için bulanık kümelerin maksimum ve minimum değerleri kullanılmıştır. Eş. 3.5'te bulanıklık, sediment ve debi için (X_R) formülü gösterilmektedir. Bulanık modelde, yan yana olan iki küme iç içe geçtiğinden genişletilmiş taban genişliğine (EUW) gerek duyulmaktadır. EUW'nin elde edilişi Eş. 3.7'de gösterilmektedir. (UW) üyelik fonksiyonların birim genişliğini ifade etmektedir. n_u dik üçgen sayısını göstermektedir.

3.6. Yapay Sinir Ağları (YSA)

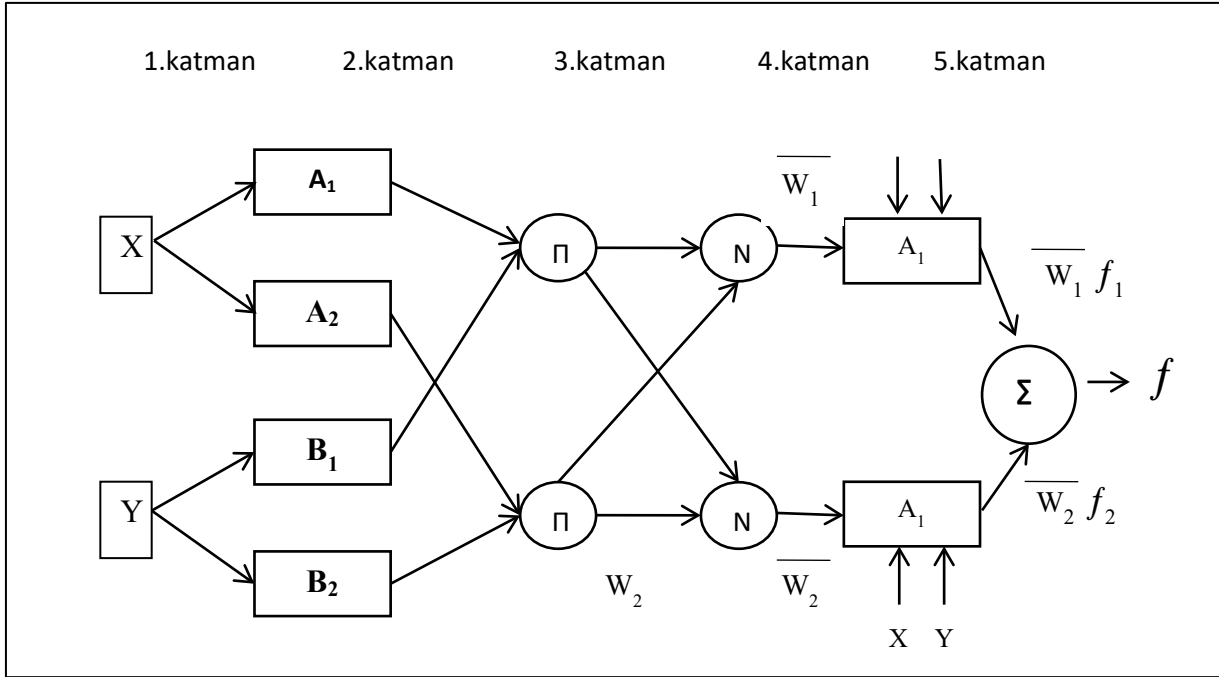
Zadeh karmaşık sistemler için bulanık mantık teoremini önerdiğinden beri YSA yöntemi çok popüler hale gelmiştir. YSA verilerden öğrenme, inşa etme, harcama ve sınıflandırma konusunda oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Ancak bu sinir ağlarıyla öğrenilen bilgileri anlayabilmek zor ve karmaşıktır. Bulanık mantıkta ise bilgiler her insanın anlayabileceği sözel bir yapıdadır. Bulanık sistemleri yapay sinir ağlarından ayıran en önemli farklardan biri budur. Bulanık sistemlerde sözel olduğundan kolayca anlaşılabilir lakin bulanık mantığın herhangi bir öğrenme algoritmaları yoktur.

3.6.1. Uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi

ANFIS kelimesinin anlamı İngilizce olarak Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System demektir. Türkçesi Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi anlamına gelmektedir. Bu yöntem Jang (1993) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem paralel sinir ağı ve yapay sinir ağlarını hesaplama ve öğrenme yeteneğini ve bulanık mantık çıkarımını kullanan yapay zekâ yöntemlerinden biridir. ANFIS, bir girdi uzayını çıktı uzayına eşitlemek için sinir ağı algoritmalarını ve bulanık akıl yürütmeyi kullanan çok katmanlı ileri beslemeli bir ağıdır. ANFIS yönteminin temelinde Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım sistemi vardır (Doğan, 2016).

ANFIS yapısı gereği sinir ağlarının öğrenme algoritmalarını kullanır. Giriş ve çıkış verileri arasındaki etkileşimi belirlemek ve üyelik fonksiyonu yapısını belirlemek için sinir ağları sisteminden yararlanır.

ANFIS yapısı aşağıdaki Şekil 3.21'deki gibi gösterilebilir (Jang, 1993).



Şekil 3.21.ANFIS modeli

ANFIS modelinde bulunan bu katmanlarla:

1. Katmanda bulunan A_i ve B_i değerleri sözel parametreleri belirtmek için kullanılır. A_i ve B_i değerleri üyelik fonksiyonu tarafından, üyelik derecelerini alarak bu katmandan çıkar.

$$\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y) \quad (3.13)$$

2. Katmandaki girdilerin çarpımı ile bu düğümden çıkarlar.

$$W_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad (3.14)$$

3. Katmanda ikinci katmandaki iki düğüm ile üçüncü düğümün çıktısındaki normleştirilmiş değer aşağıdaki gibidir.

$$\overline{W}_i = \frac{W_i}{\sum W_i} \quad (3.15)$$

4. Katmandan sonra, Takagi-Sugeno-Kang modeline geçilir. Bu çıkarım yönteminde çıkış değişkeni sabit bir sayı ya da bir değişkene bağlı polinom olarak tanımlanmaktadır.

$$W_i \cdot f_i \quad (3.16)$$

5. Katmanda bütün çıkış değerlerinden elde edilen toplam çıkış değeri hesaplanır. Σ ile gösterilir.

$$x_0 = \sum \overline{W}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \quad (3.17)$$

3.7. Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE)

Katı Madde Anahtar Eğrisi (KMAE), nehir ve akarsulara ait bir kontrol kesitte tespit edilen katı madde miktarı ile nehir ve akarsuda ölçülen debi arasındaki ilişkiyi gösterir. Akım debisini Q ve katı madde miktarını ise S ile belirtirsek, bu ikisi arasındaki eşitlik Eş. 3.18'de gösterilmiştir.

$$S = xQ^y \quad (3.18)$$

şeklinde bir bağıntı ile gösterilmektedir. Burada Q çalışma alanında ölçülen akım debisini, S ise katı madde miktarını, x ve y ise nehir veya akarsu için akış karakteristiğine bağlı katsayıları göstermektedir. Her iki tarafın logaritması alınarak Eş. 3.19'dan elde edilir.

$$\log S = \log x + y \cdot \log Q \quad (3.19)$$

Buradaki x ve y katsayıları, log(S) ve log(Q) arasındaki lineer regresyon ile bulunur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmanın ilk aşamasında Bulanık SMRGT metoduna ait farklı üyelik fonksiyon kombinasyonları oluşturularak sediment miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. SMRGT modellerinde gerçek verilerin, %78'i eğitim ve %22'si ise test verileri olarak seçilmiştir. Buna göre sediment tahmin modelini oluşturulmak için 715 adet eğitim ve 200 adet test verileri oluşturulmuştur. Hem eğitim hem de test için farklı üyelik fonksiyonları uygulanmıştır. SMRGT metodunda gösterilen değişkenlerin dağılım ve saçılım grafikleri verilmiştir. Bu işlemlerden sonra SMRGT metodundaki değişkenlerin model sonucuna olan etkisi araştırılmıştır. Bu yöntem kullanılarak ulaşılan sonuçlar karşılaştırılmıştır. SMRGT metodunda elde edilen sonuçlar ÇDR, ANFIS ve Katı Madde Anahtar Eğrisi ile kıyaslanmıştır.

ANFIS modeli için Matlab programının ANFIS sekmesinden model oluşturulmuştur. Aynı şekilde eğitim ve test verileri kullanılmıştır. Bu gerçek verilerin, %78'i eğitim (715) ve %22'si (200) ise test verileri seçilmiş ve programa yüklenmiştir. ANFIS yöntemiyle kurulan modellerde, girdi ve çıktılara uygun şekilde üyelik fonksiyonu ve kurallar belirlenmektedir. Üyelik fonksiyonunun belirlenmesinde ve modellemenin oluşturulmasında Matlab programında 3x3 gaussmf seçilmiştir. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar ÇDR, SMRGT ve KMAE ile kıyaslanmıştır.

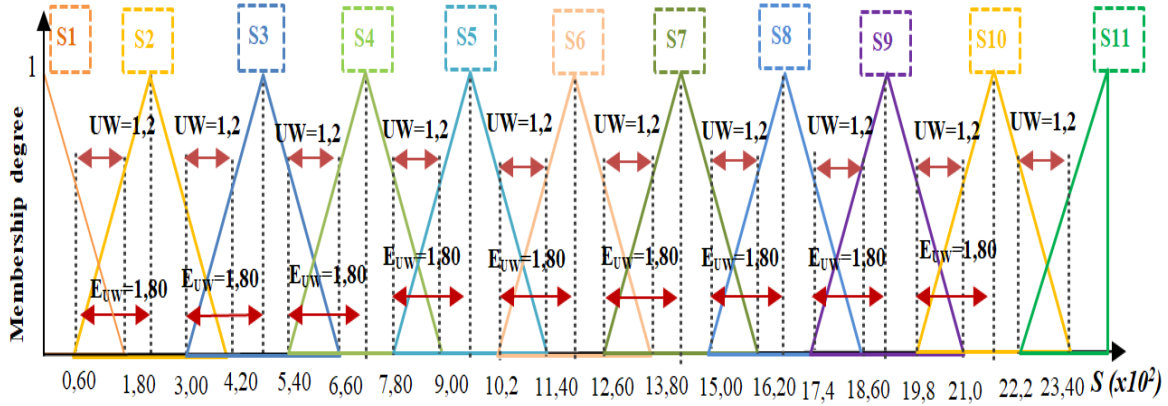
Katı Madde Anahtar Eğrisi modelinde Patapsco nehrinde ölçülen katı madde miktarı ile akarsuda ölçülen debi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu yöntemde verilen değişkenlerin dağılım ve saçılım grafikleri gösterilmiştir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. KMAE metodunda elde edilen sonuçlar SMRGT, ÇDR ve ANFIS ile kıyaslanmıştır.

ÇDR metoduna ait olarak verilen değişkenlerin dağılım ve saçılım grafikleri gösterilmiştir. ÇDR metodunda elde edilen sonuçlar SMRGT, ANFIS ve KMAE ile kıyaslanmıştır.

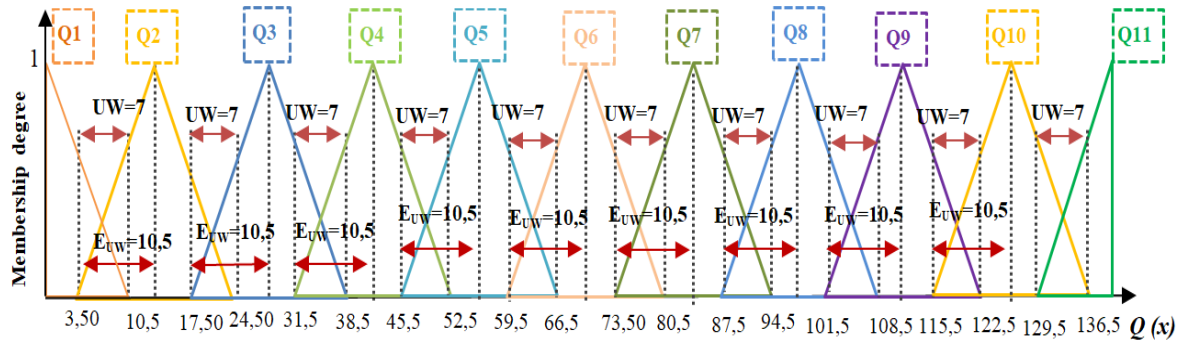
4.1. Farklı Üyelik Fonksiyonlarına Göre Oluşturulan SMRGT Modelleri

SMRGT yöntemine göre farklı üyelik fonksiyonları oluşturulup bu üyelik fonksiyonları kendi aralarında ve bu çalışma kapsamında incelenen ANFIS, ÇDR ve Katı madde anahtar

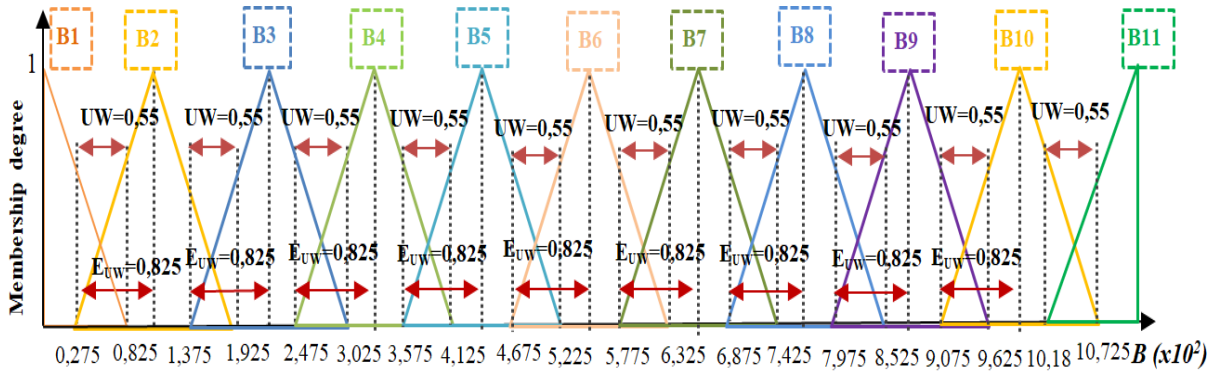
eğrisiyle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan üyelik fonksiyonları bu bölümde verilmiştir. 11'li SMRGT modeline ait üyelik fonksiyonların sınır değerleri şekil 4.1-4.3 gösterilmiştir.



Şekil 4.1. SMRGT2 modeline ait sediment üyelik fonksiyonuna ait sınır değerler



Şekil 4.2. SMRGT2 modeline ait debi üyelik fonksiyonuna ait sınır değerler



Şekil 4.3. SMRGT2 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonuna ait sınır değerler

✓ SMRGT1 Modeli

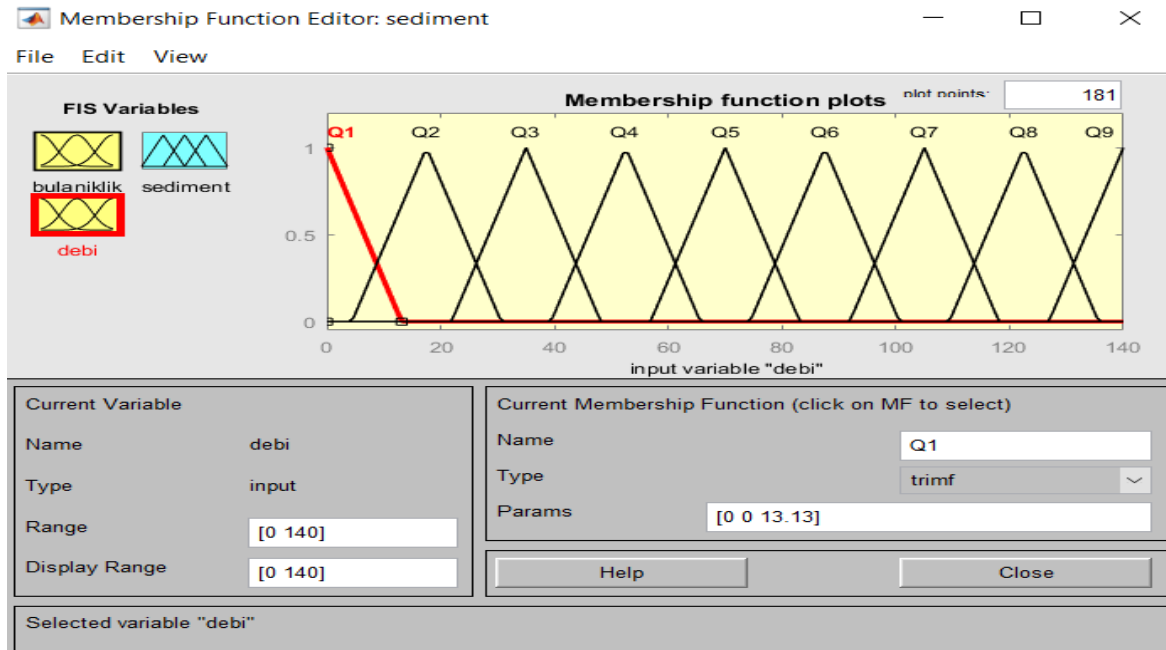
SMRGT1 yöntemine göre hazırlanan modellerde ilk önce bağımlı ve bağımsız değişkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Sonraki adımda ise kurallar oluşturulur. Kural sayısı için her bağımsız değişkene ait bulanık küme sayısı kadar kural oluşturulur. Bulanıklık ve debi parametrelerine ait bulanık kümelerin kural sayısı düşünüldüğünde 9'lu

üyelik fonksiyonu için 81 farklı kuralın oluşturulmasına karar verilmiştir. Çizelge 4.1’de 11’li üyelik fonksiyonlarına ait SMRGT model sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 11’li üyelik fonksiyonuna ait SMRGT sınır değerleri

No	Bulanıklık	Debi	Sediment
1	0-82,5	0-10,5	0-180
2	27,5-192,5	3,5-24,5	60-420
3	137,5-302,5	17,5-38,5	300-660
4	247,5-412,5	31,5-52,5	540-900
5	357,5-522,5	45,5-66,5	780-1140
6	467,5-632,5	59,5-80,5	1020-1380
7	577,5-742,5	73,5-94,5	1260-1620
8	687,5-852,5	87,5-108,5	1500-1860
9	797,5-962,5	101,5-122,5	1740-2100
10	907,5-1072,5	115,5-136,5	1980-2340
11	1017,5-1100	129,5-140	2220-2400

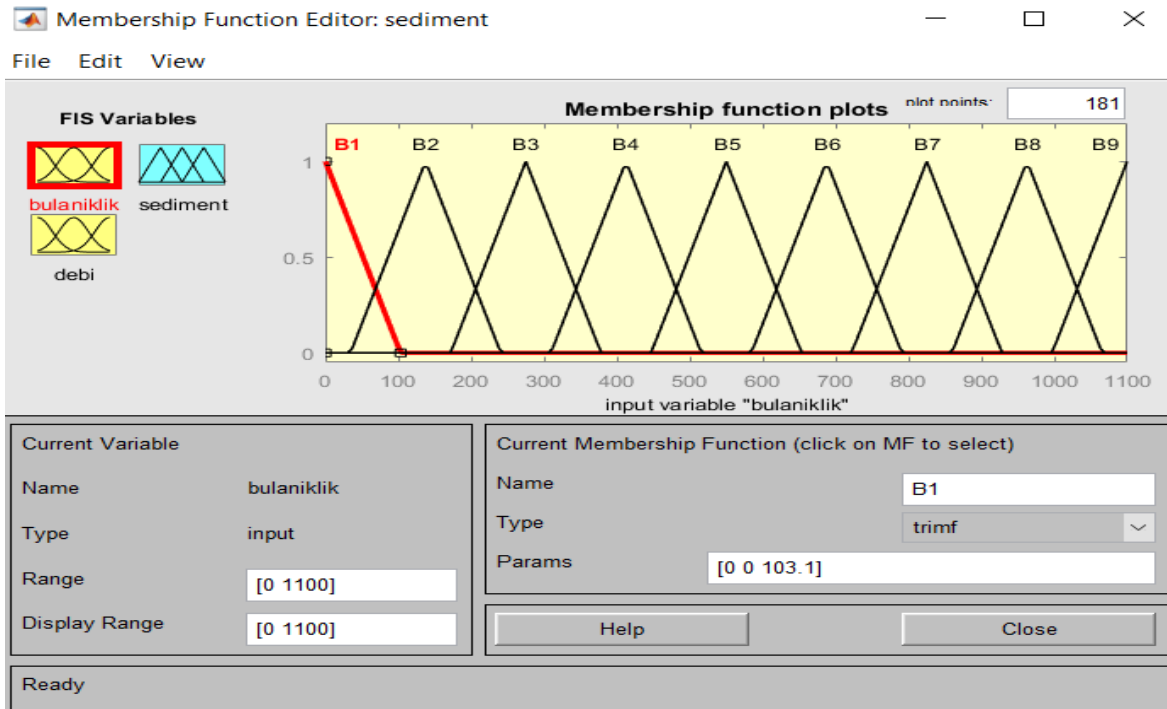
Farklı üyelik fonksiyonlarına göre oluşturulan SMRGT modellerine ait Matlab görüntüleri gösterilmektedir. (Şekil 4.4, 4.5.....4.28).



Şekil 4.4. SMRGT1 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,.....Q9) Matlab programındaki gösterimi

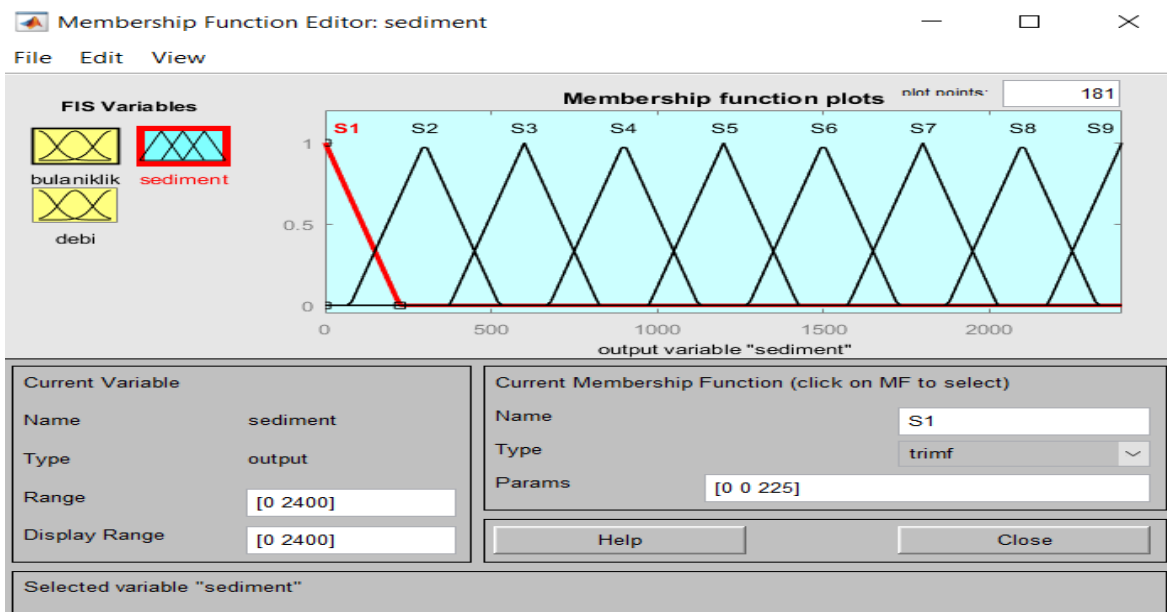
Şekil 4.4’te Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık mantık modeline ait bağımsız değişkenlerden debi için dokuz farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. SMRGT1 modelindeki debi kümesine ait üyelik fonksiyonlarına

Q1,Q2,.....,ve Q9 ismi verilmiştir. Oluşturulan bu modeldeki üyelik fonksiyon değerleri (Eş. 3.4-3.12) kullanılarak bulunmuştur.



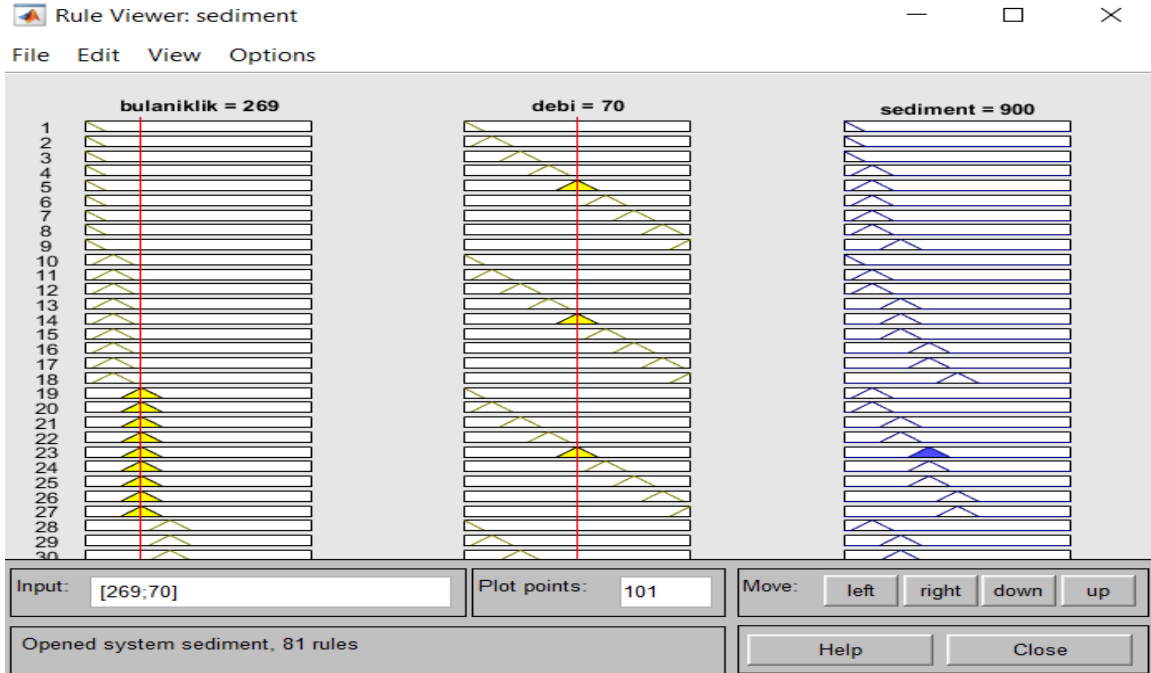
Şekil 4.5. SMRGT1 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,.....B9) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.5’de Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık mantık modeline ait bağımsız değişkenlerden bulanıklık için dokuz farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. SMRGT1 modelindeki bulanıklık kümesine ait üyelik fonksiyonlarına B1,B2,.....,ve B9 ismi verilmiştir.



Şekil 4.6. SMRGT1 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,.....S9) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.6'da Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık mantık modeline ait katı madde miktarı için dokuz farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına S1,S2,.....,ve S9 ismi verilmiştir. Oluşturulan bu modeldeki üyelik fonksiyon değerleri (Eş. 3.4-3.12) kullanılarak bulunmuştur.

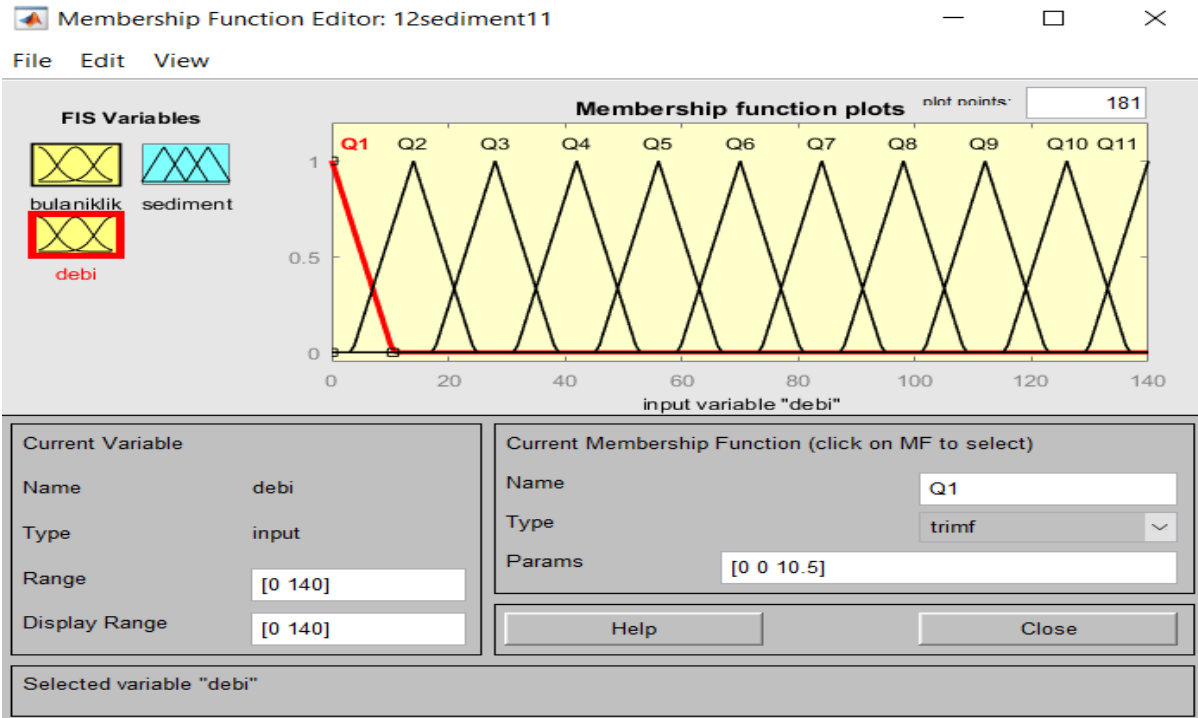


Şekil 4.7. Matlab programında bulanık mantık kural modellemesi

Şekil 4.7'de Matlab programında oluşturulan modele ait kurallar gösterilmiştir. Şekil 4.7'de bulanıklık miktarı 269 fnu ve debi miktarı 70 (m^3/s) için sediment miktarı 900 mg/L çıkmıştır.

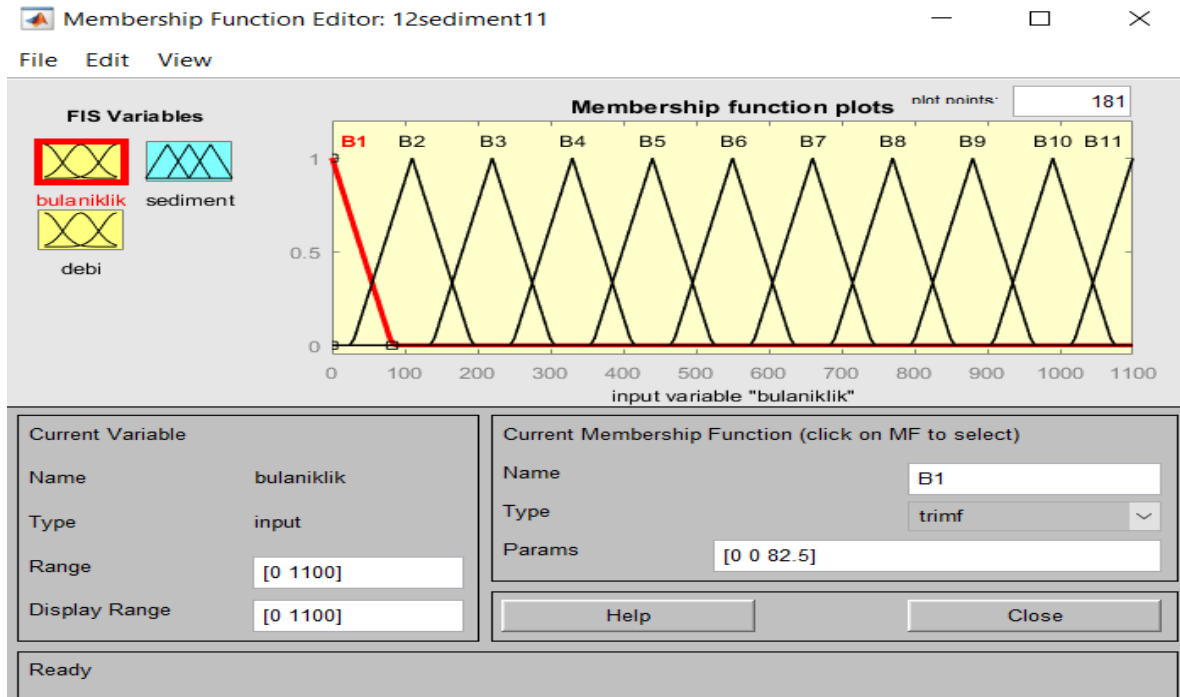
- **SMRGT2 Modeli**

Matlab programındaki SMRGT2 modelinde 11'li üyelik fonksiyonlu debi, 11'li üyelik fonksiyonu bulanıklık ve 11'li üyelik fonksiyonu sediment miktarına göre oluşturulmuştur. Bu modelde 121 adet kural oluşturulmuştur. Modeldeki üyelik fonksiyonları şekil (4.8-4.11) gösterilmiştir.



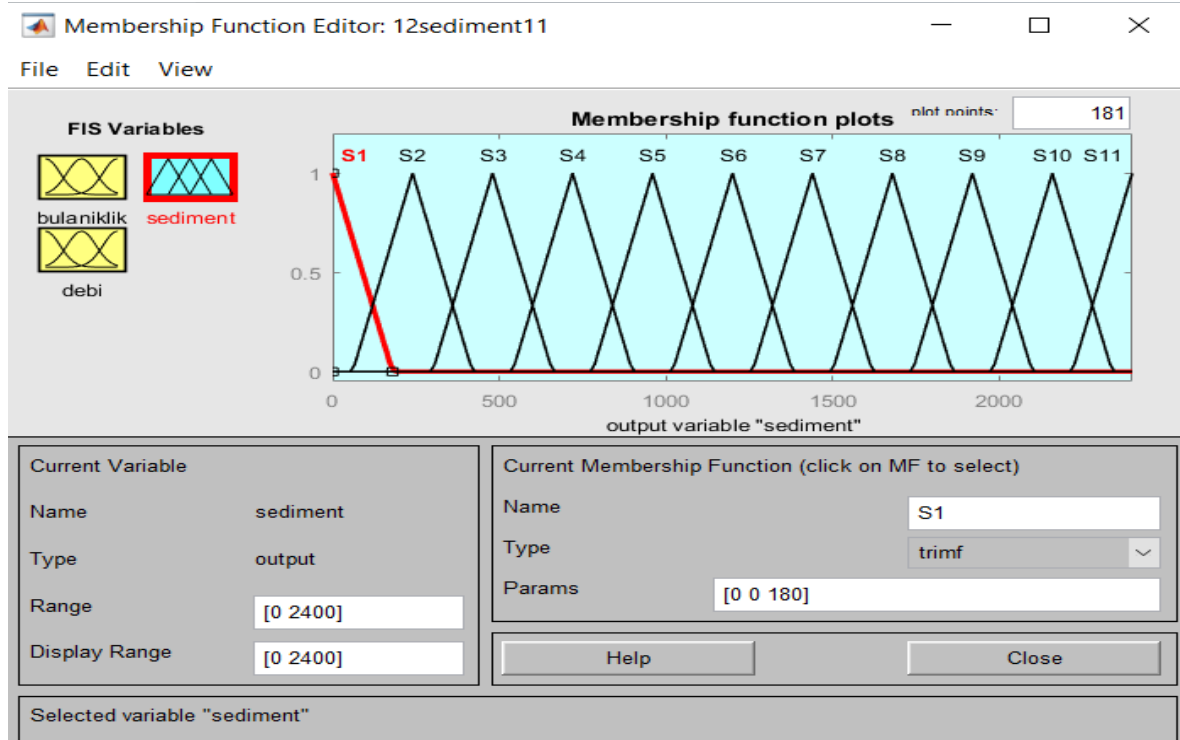
Şekil 4.8. SMRGT2 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,.....Q11) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.8’de debi verileri için Matlab programında oluşturulan model gösterilmiştir. Bu modele ait 11’li debi üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına Q1,Q2,.....,ve Q11 ismi verilmiştir.



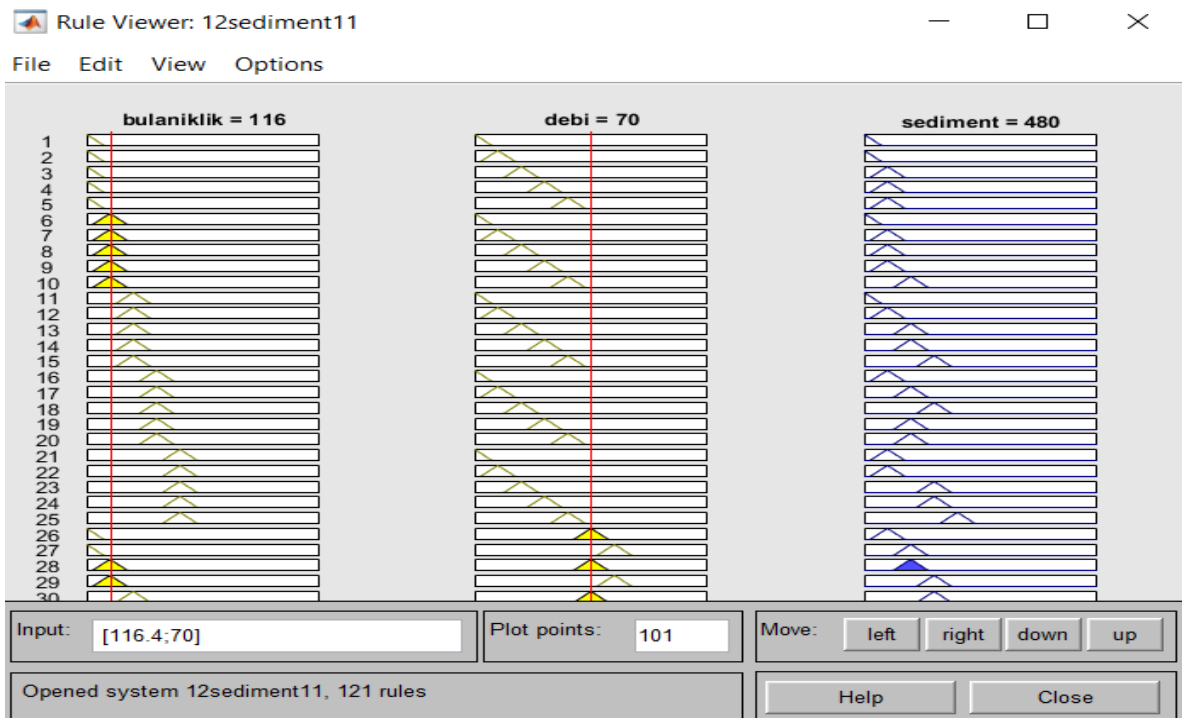
Şekil 4.9. SMRGT2 modeline ait bulaniklik üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,.....B11) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.9’da bulanıklık verileri için oluşturulan bulanık modele ait on bir farklı üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. Bu üyelik fonksiyonlarına B1,B2,.....,ve B11 ismi verilmiştir.



Şekil 4.10. SMRGT2 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,.....S11) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.10’da katı madde verileri için oluşturulan bulanık modele ait on bir farklı üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. Bu üyelik fonksiyonlarına S1,S2,....., ve S11 ismi verilmiştir. Üyelik fonksiyonlarından sonraki aşamada kurallar atanmıştır. SMRGT2 modeli için 121 adet kural oluşturulmuştur.

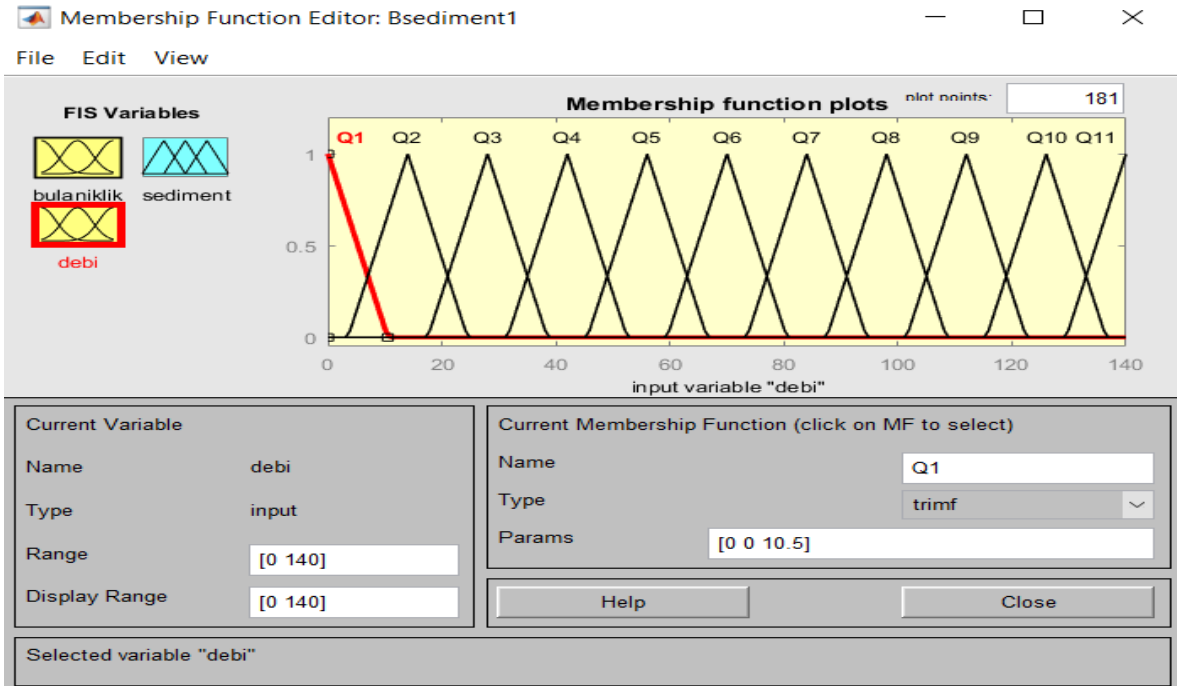


Şekil 4.11. Matlab bulanık mantık kural modellemesi

Şekil 4.11’de Matlab programında oluşturulan modele ait kuralların modellemesi gösterilmiştir. Şekil 4.11’de bulanıklık 116 fnu ve debi 70 (m^3/s) için sediment miktarı 480 mg/L çıkmıştır.

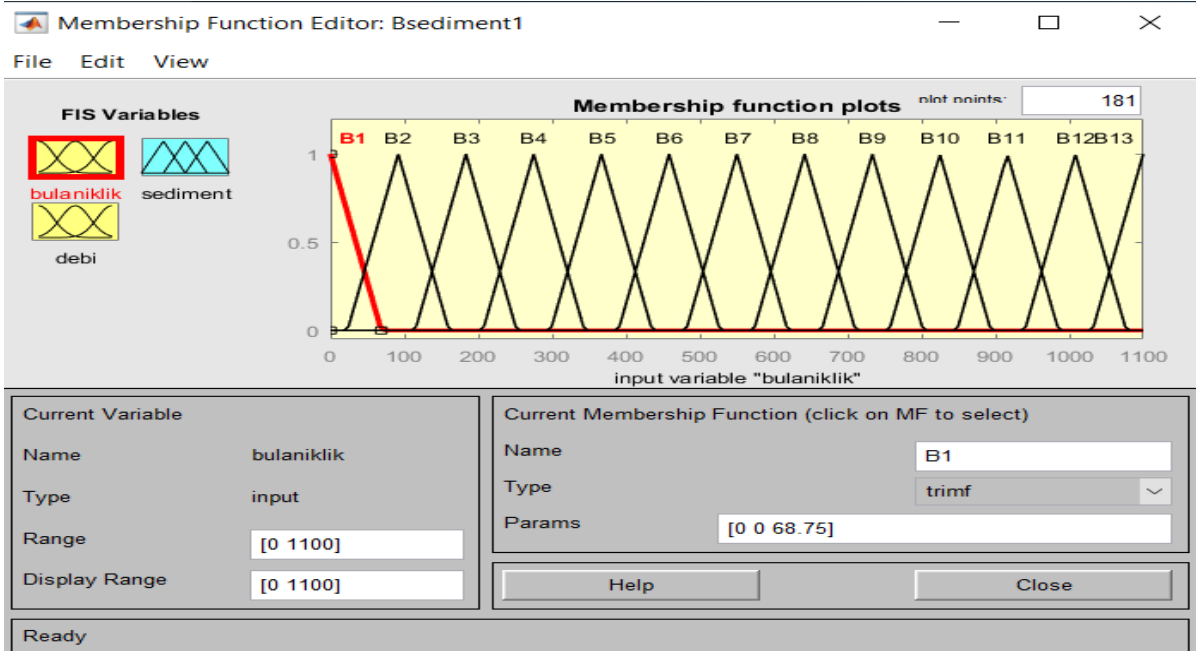
✓ SMRGT3 Modeli

SMRGT3 modelinde 11’li üyelik fonksiyonlu debi, 13’lü üyelik fonksiyonu bulanıklık ve 13’lü üyelik fonksiyonu sediment miktarına göre oluşturulmuştur. Bu modelde 143 adet kural oluşturulmuştur. Modeldeki üyelik fonksiyonları şekil 4.12 ile şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. SMRGT3 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,.....Q11) Matlab programındaki gösterimi

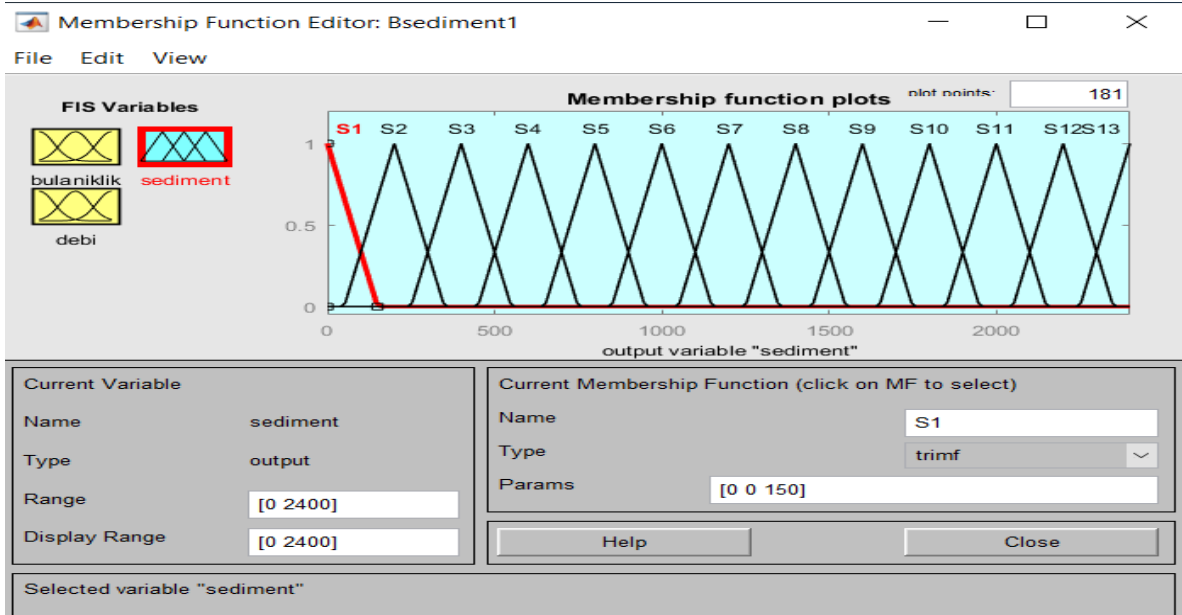
Şekil 4.12’de debi verileri için oluşturulan bulanık modele ait on bir farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına Q1,Q2,.....,ve Q11 ismi verilmiştir.



Şekil 4.13. SMRGT3 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,.....B13) Matlab programındaki gösterimi

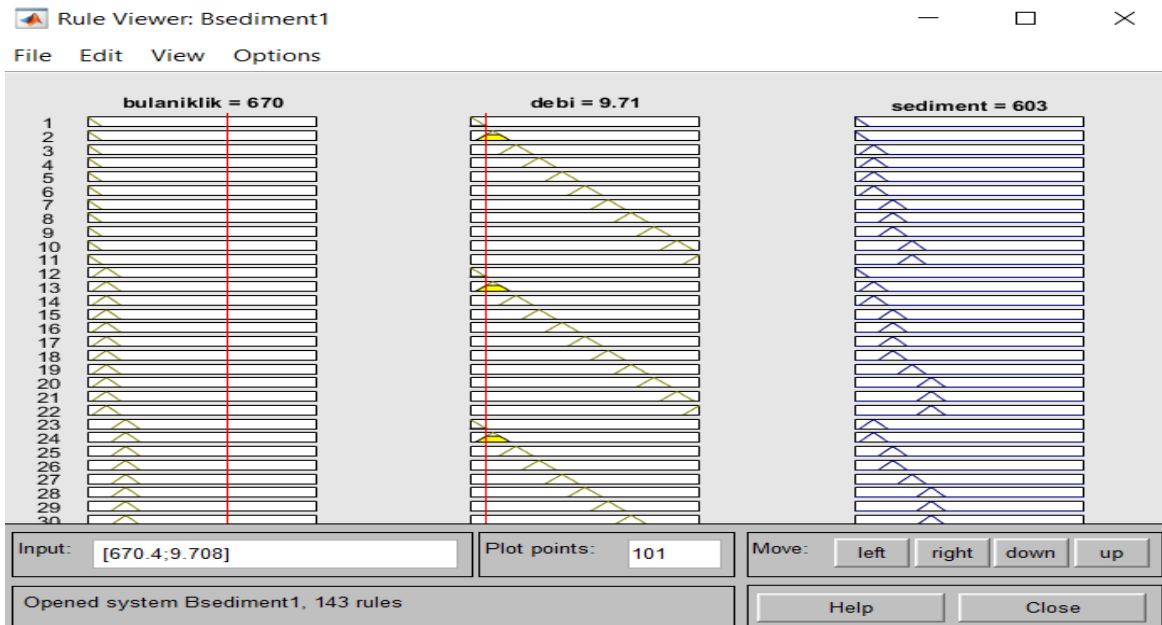
Şekil 4.13’de bulanıklık verileri için oluşturulan modele ait on üç farklı üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. SMRGT3 modeli Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak

oluşturulmuştur. Oluşturulan bu üyelik fonksiyonlarına B1,B2,.....,ve B13 ismi verilmiştir.



Şekil 4.14. SMRGT3 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,.....S13) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.14'te katı madde verileri için oluşturulan on üç farklı üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. SMRGT3 modeli Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulmuştur. Bu modele ait üyelik fonksiyonlarına S1,S2,....., ve S13 ismi verilmiştir.

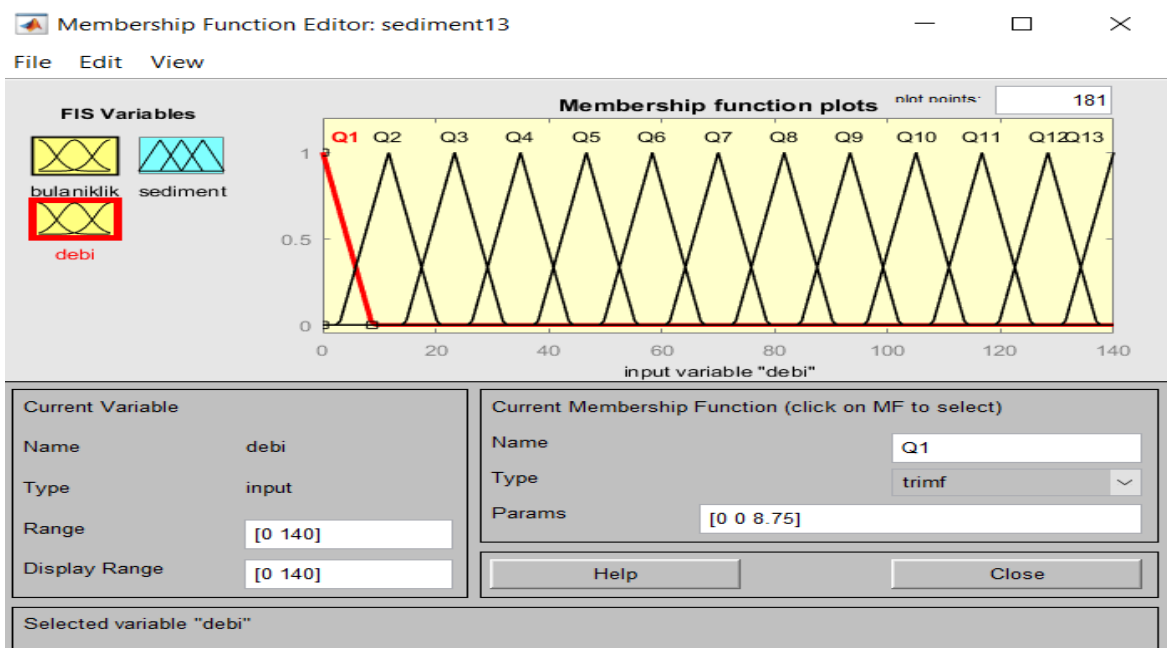


Şekil 4.15. Matlab bulanık mantık kural modellemesi

Şekil 4.15’de Matlab programında oluşturulan modele ait kurallar gösterilmiştir. Şekil 4.15’de bulanıklık 670 fnu ve debi 9,71 (m³/s) için sediment miktarı 603 mg/L çıkmıştır.

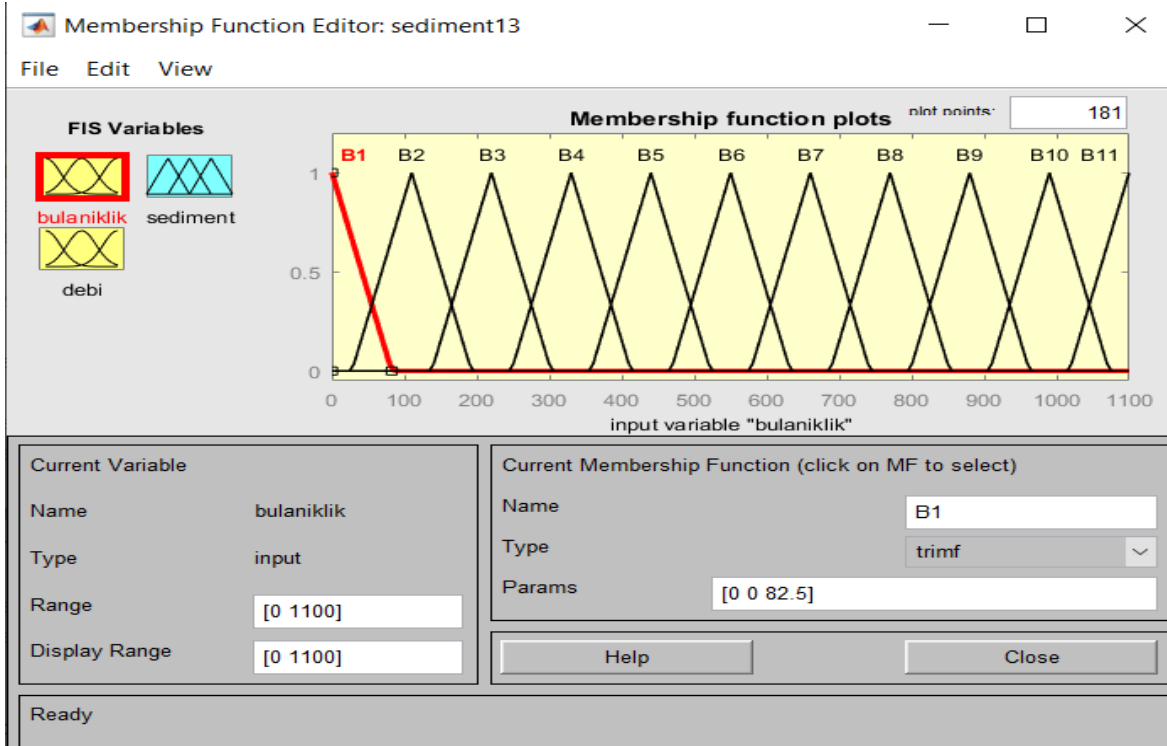
✓ SMRGT4 Modeli

SMRGT4 modelinde 13’lü üyelik fonksiyonlu debi,11’li üyelik fonksiyonu bulanıklık ve 13’lü üyelik fonksiyonu sediment miktarına göre oluşturulmuştur. Bu modelde 143 adet kural oluşturulmuştur. Modeldeki üyelik fonksiyonları Şekil (4.16 ile 4.19)’da gösterilmiştir.



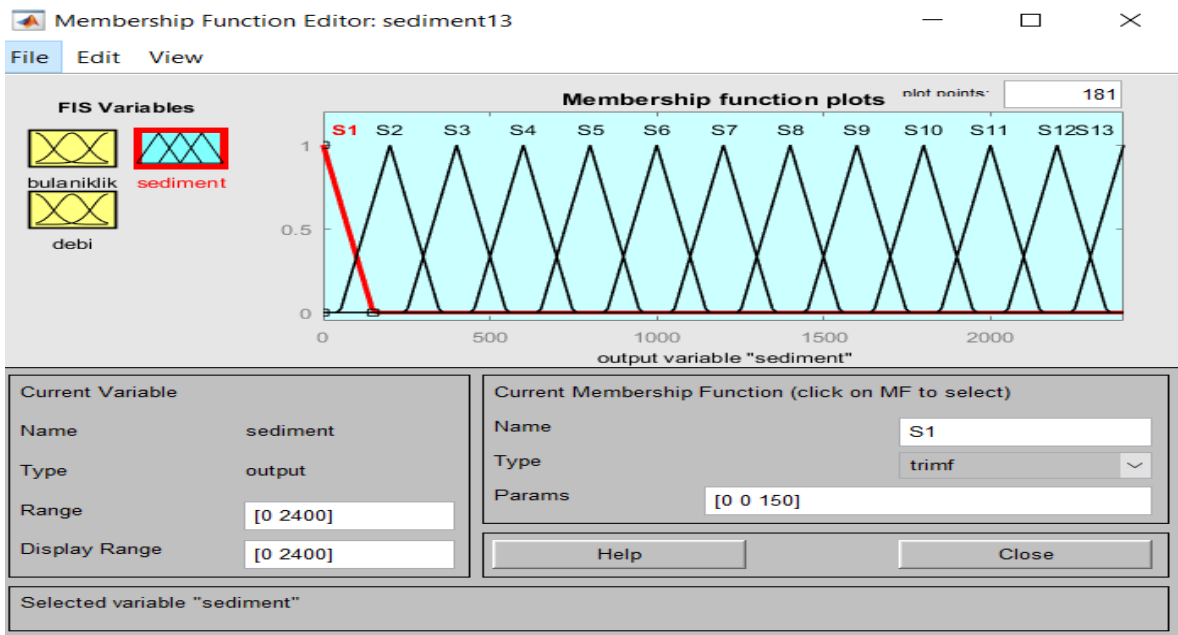
Şekil 4.16. SMRGT4 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,.....Q13) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.16’da debi verileri için Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık modele ait on üç farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına Q1,Q2,.....,ve Q13 ismi verilmiştir.



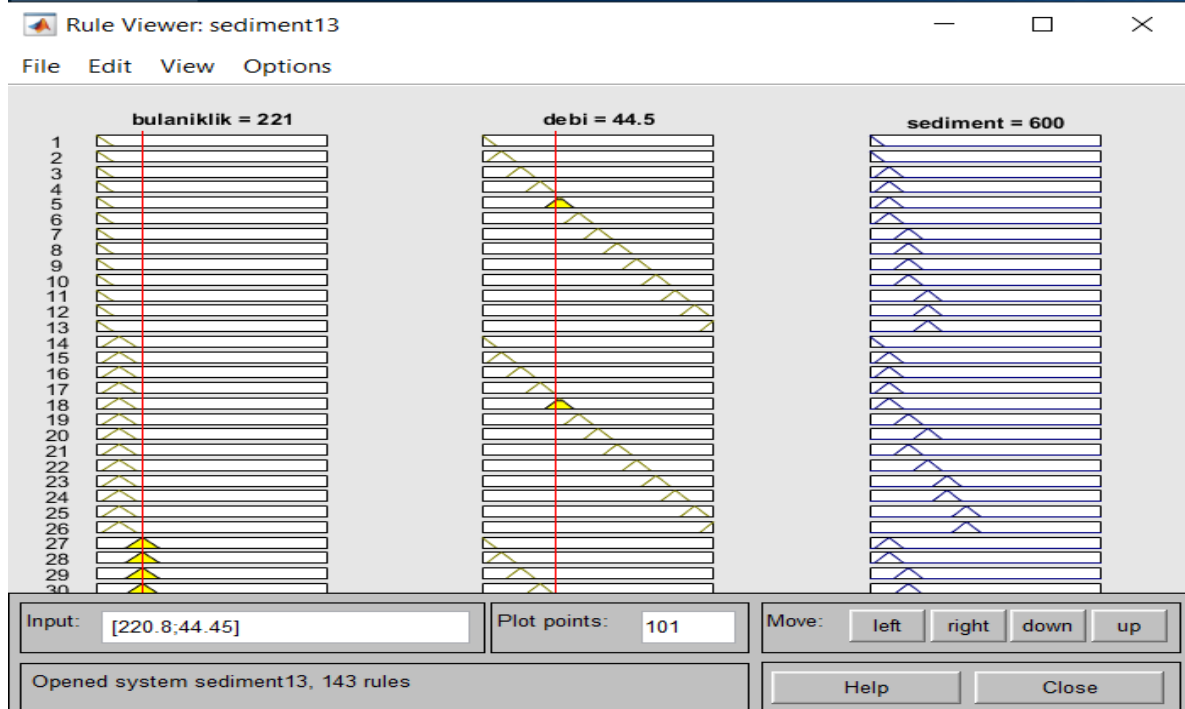
Şekil 4.17. SMRGT4 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,.....B11) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.17'de bulanıklık verileri için Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık modele ait on üç farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına B1,B2,.....,ve B11 ismi verilmiştir.



Şekil 4.18. SMRGT4 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,.....S13) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.18’de katı madde verileri için Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık modele ait on üç farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına S1,S2,.....,S13 ismi verilmiştir.

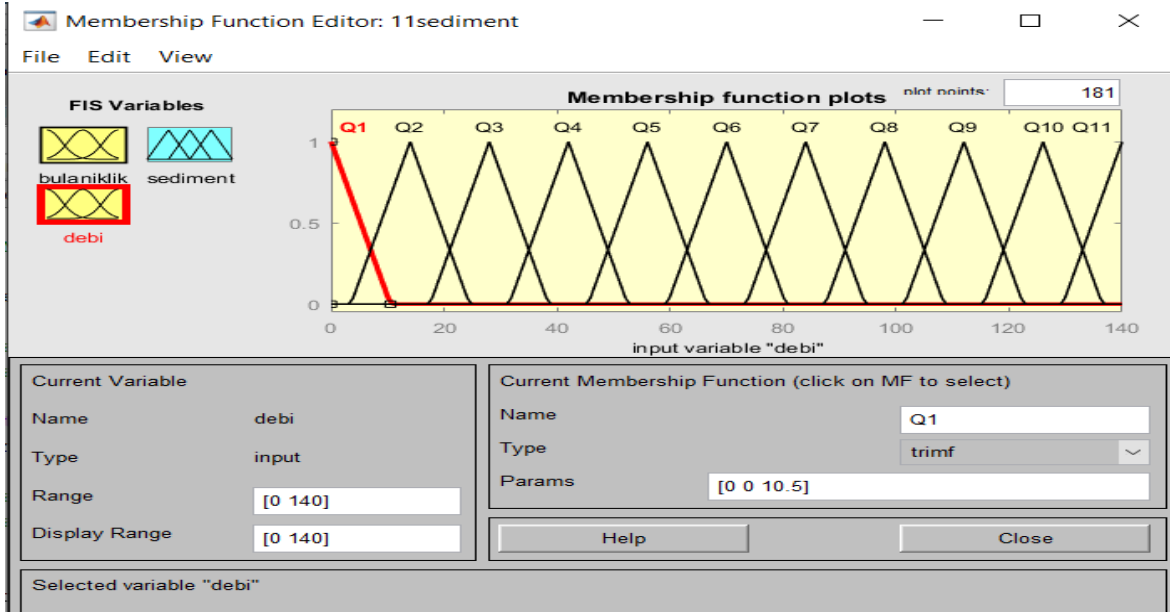


Şekil 4.19. Matlab bulanık mantık kural modellemesi

Şekil 4.19’da Matlab programında oluşturulan modele ait kurallar gösterilmiştir. Şekil 4.19’da bulanıklık 221 fnu ve debi 44,5 (m^3/s) için sediment miktarı 600 mg/L çıkmıştır.

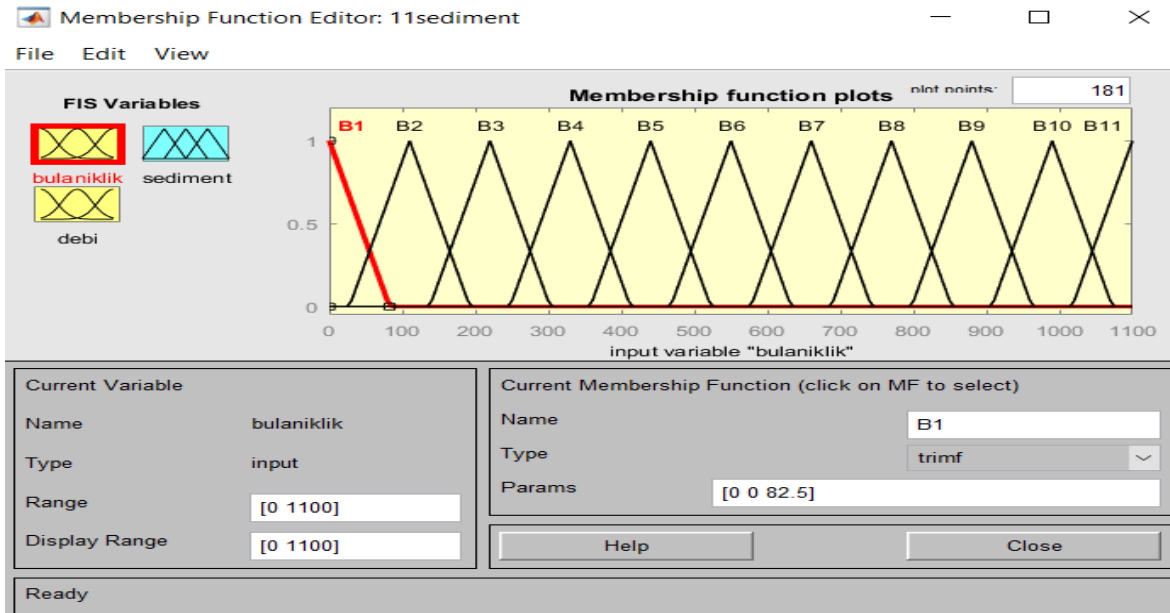
✓ SMRGT5 modeli

SMRGT5 modelinde 11’li üyelik fonksiyonlu debi, 11’li üyelik fonksiyonu bulanıklık ve 13’lü üyelik fonksiyonu sediment miktarına göre oluşturulmuştur. Bu modelde 121 adet kural oluşturulmuştur. Modeldeki üyelik fonksiyonları şekil 4.20 ile şekil 4.24’de gösterilmiştir.



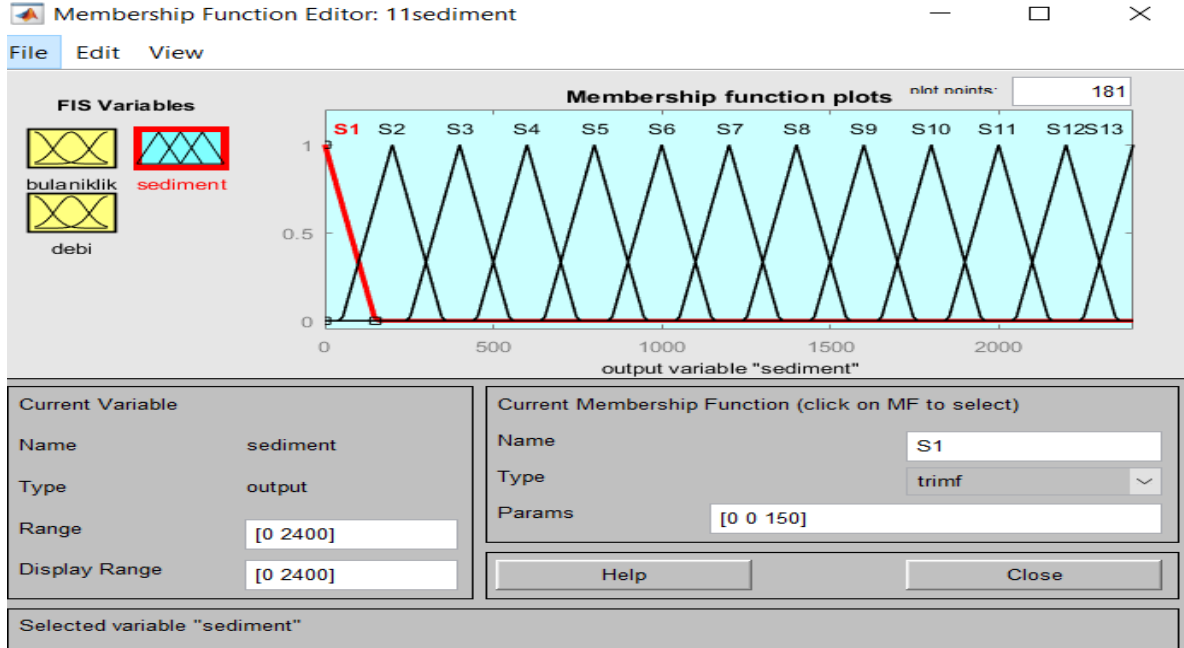
Şekil 4.20. SMRGT5 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,.....Q11) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.20’de debi verileri için on üç farklı üyelik fonksiyonlu bulanık model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu üyelik fonksiyonlarına Q1,Q2,.....,ve Q11 ismi verilmiştir.



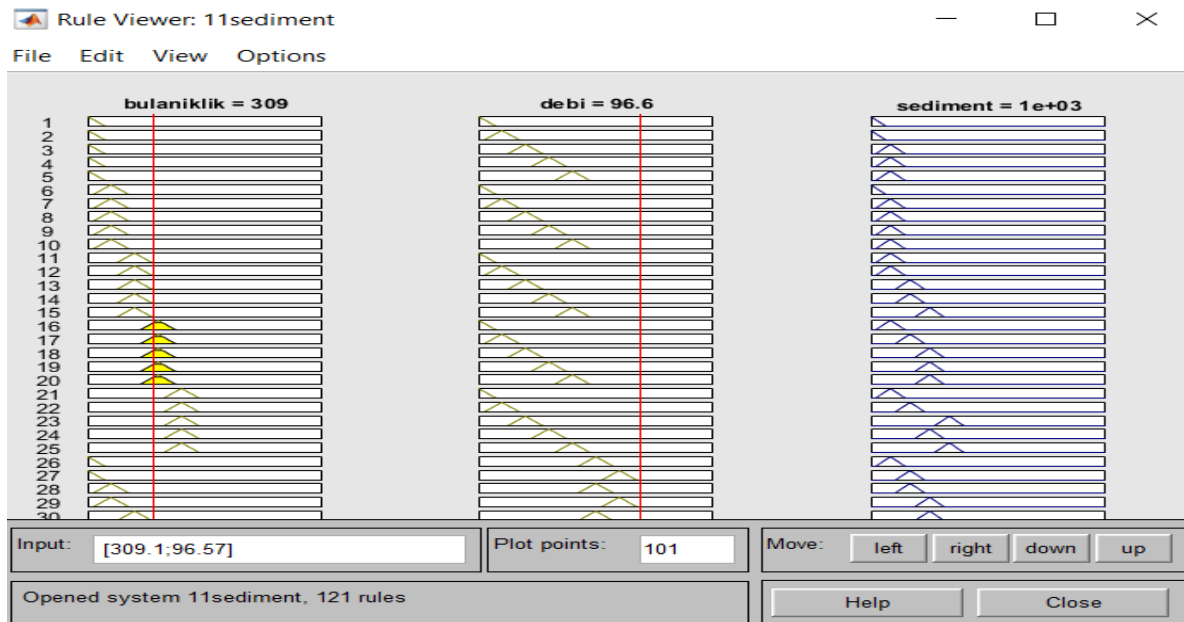
Şekil 4.21. SMRGT5 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,.....B11) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.21’de bulanıklık verileri için Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık modele ait on bir farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına B1,B2,.....,ve B11 ismi verilmiştir.



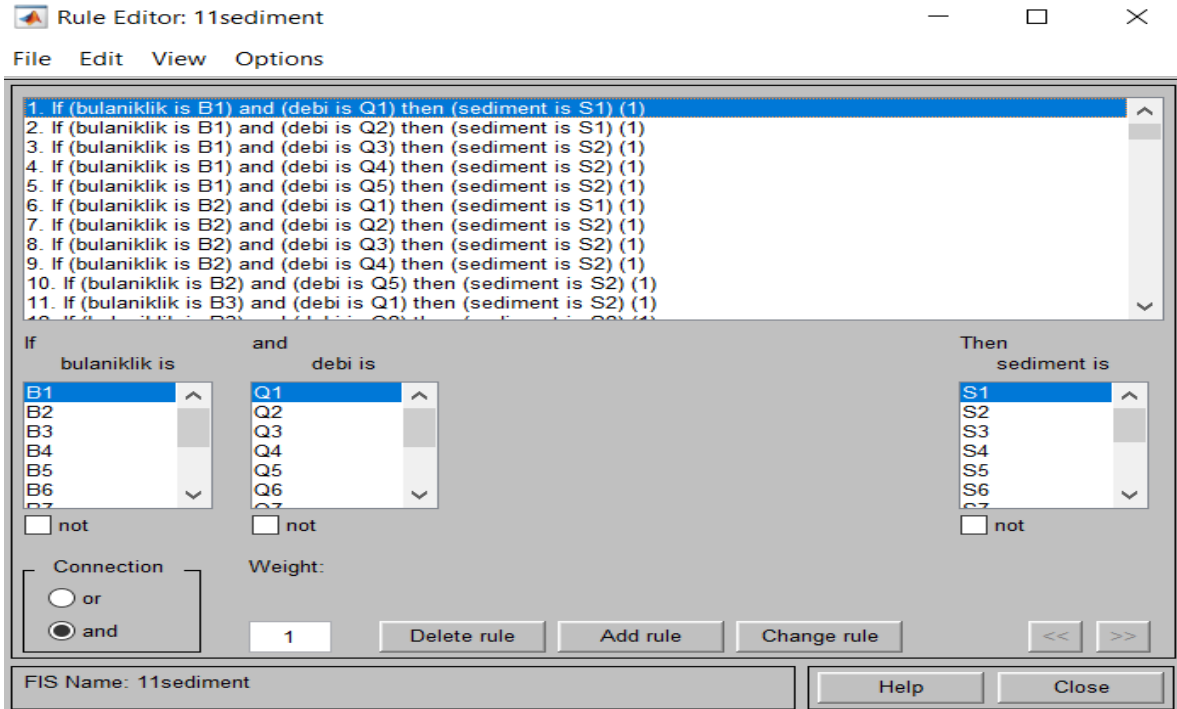
Şekil 4.22. SMRGT5 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,...S13) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.22'de katı madde verileri için Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık modele ait on üç farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına S1,S2,...S13 ismi verilmiştir.



Şekil 4.23. Matlab bulanık mantık kural modellemesi

Şekil 4.23'te Matlab programında oluşturulan üyelik fonksiyonlarına ait kurallar gösterilmiştir. Şekil 4.23'te bulanıklık 309 fnu ve debi 96,6 (m^3/s) için sediment miktarı 1000 mg/L çıkmıştır.

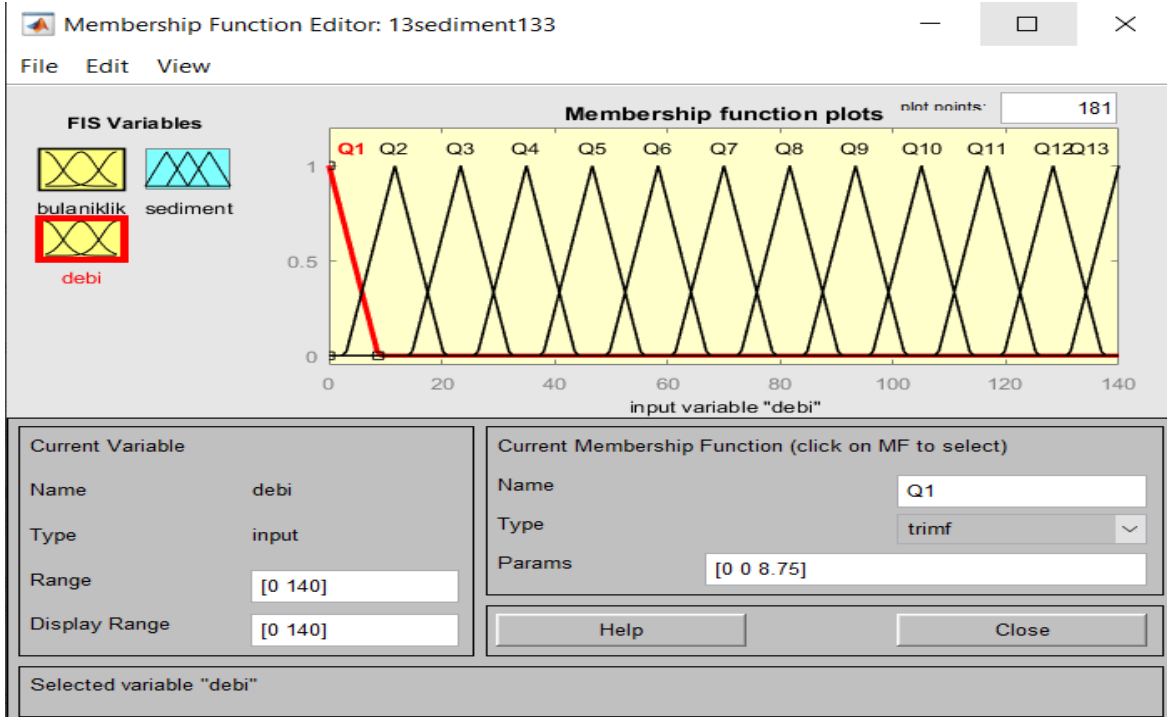


Şekil 4.24. SMRGT kuralların matlab programında gösterimi

Şekil 4.24'te Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan 11'li bulanıklık 11'li Debi ve 13'lü Sediment üyelik fonksiyonuna ait SMRGT model kuralları yukarıdaki gibidir.

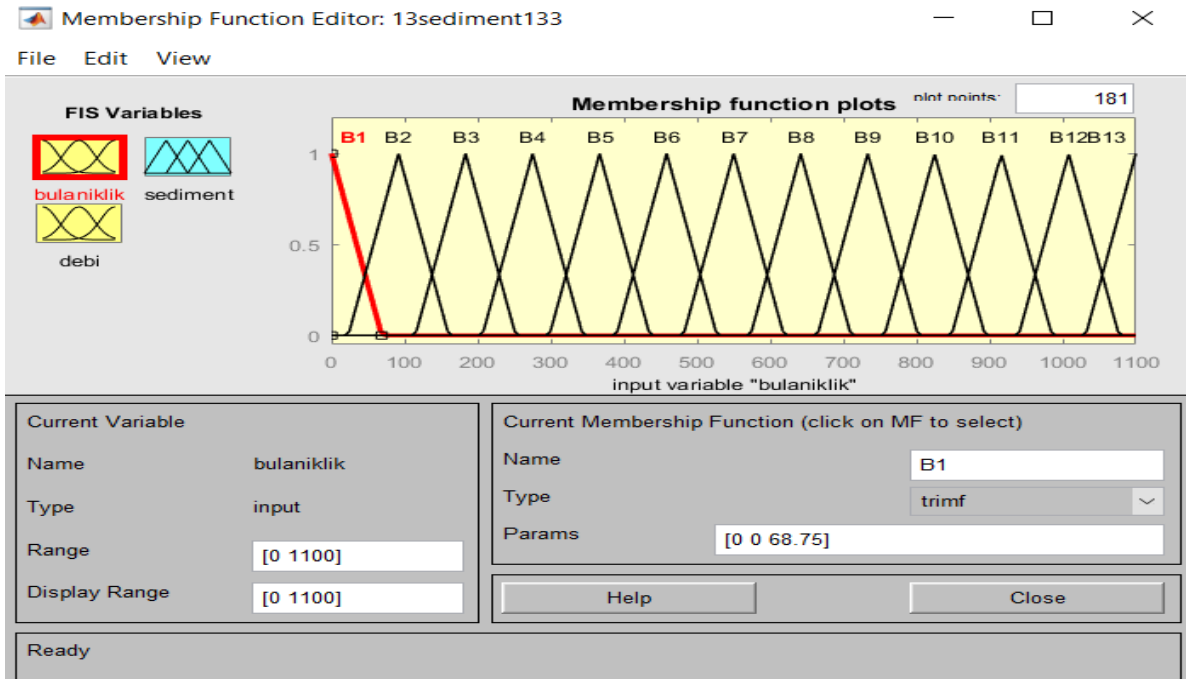
✓ SMRGT6 Modeli

SMRGT6 modelinde 13'lü üyelik fonksiyonlu debi, 13'lü üyelik fonksiyonu bulanıklık ve 13'lü üyelik fonksiyonu sediment miktarına göre oluşturulmuştur. Bu modele ait 169 adet kural oluşturulmuştur. SMRGT6 modelindeki üyelik fonksiyonları şekil 4.25 ile şekil 4.28'de gösterilmiştir.



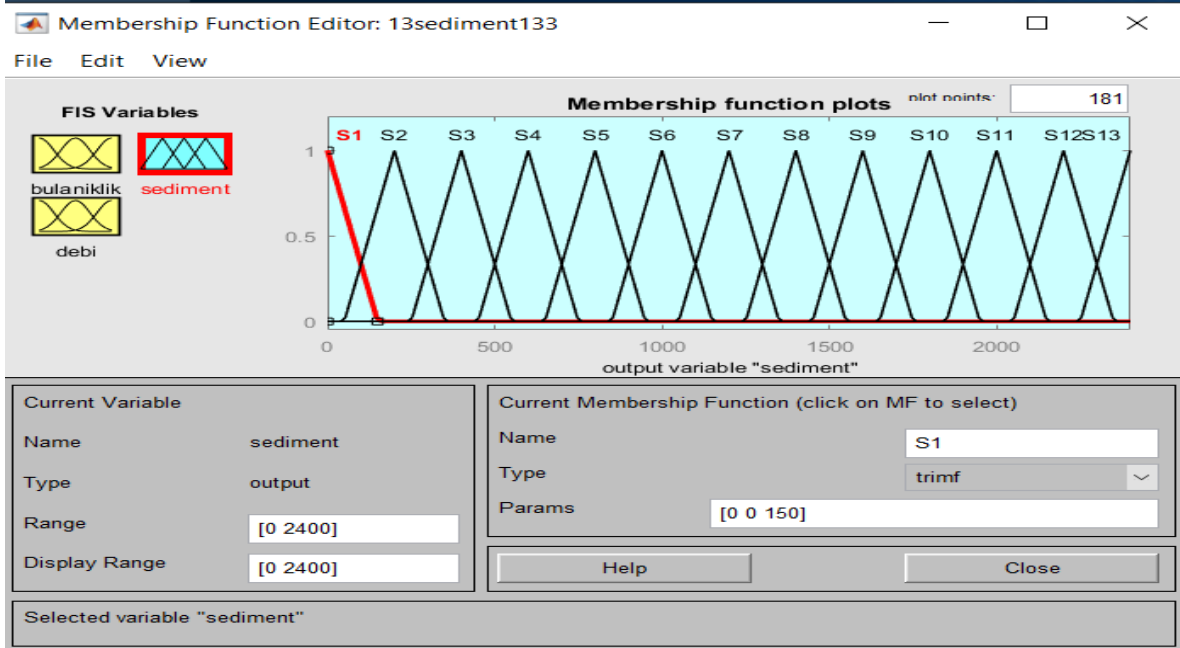
Şekil 4.25. SMRGT6 modeline ait debi üyelik fonksiyonu verilen (Q1,Q2,.....Q13) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.25’de debi verileri için bulanık model oluşturulmuştur. Bu modele ait on üç farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına Q1,Q2,.....,ve Q13 ismi verilmiştir.



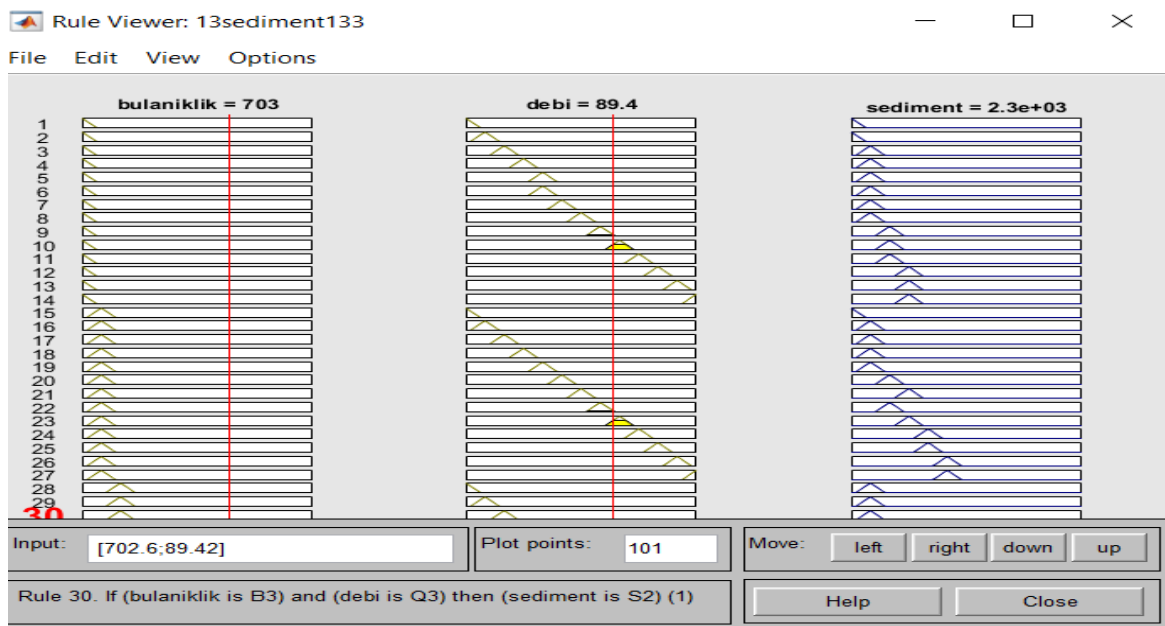
Şekil 4.26. SMRGT6 modeline ait bulanıklık üyelik fonksiyonu verilen (B1,B2,.....B13) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.26'da bulanıklık verileri için Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık modele ait on üç farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına B1,B2,.....,ve B13 ismi verilmiştir.



Şekil 4.27. SMRGT6 modeline ait sediment üyelik fonksiyonu verilen (S1,S2,.....S13) Matlab programındaki gösterimi

Şekil 4.27'de katı madde verileri için Matlab programında fuzzy araç kutusu kullanılarak oluşturulan bulanık modele ait on üç farklı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına S1,S2,....., ve S13 ismi verilmiştir.



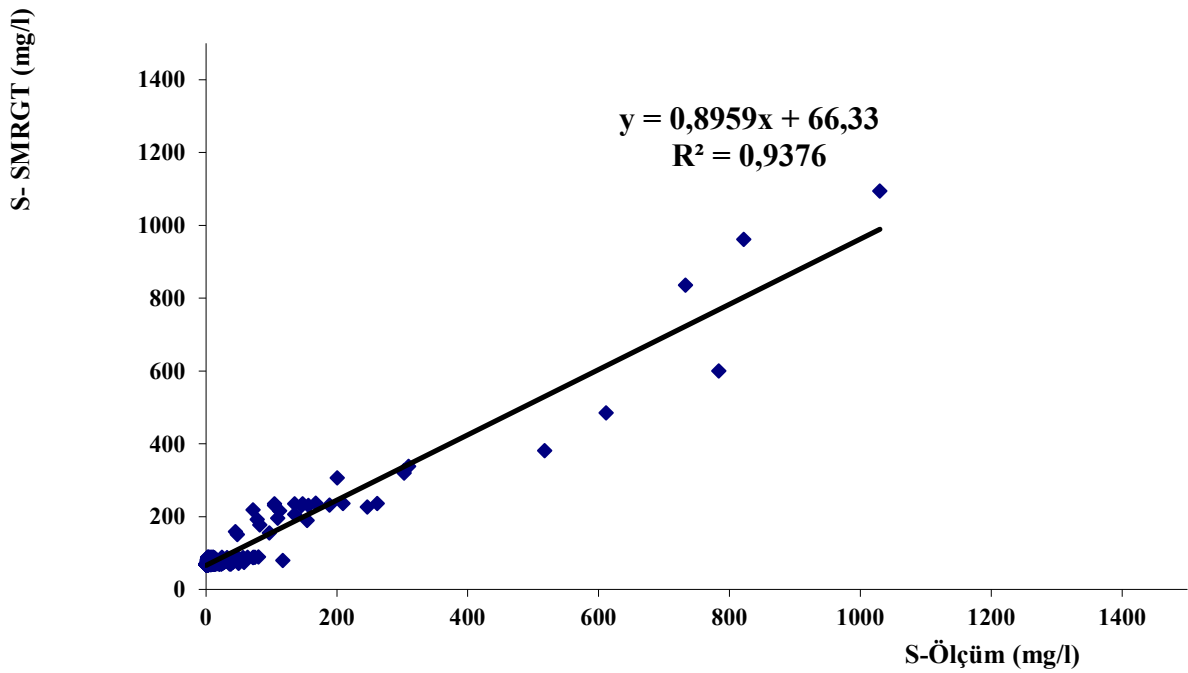
Şekil 4.28. Matlab bulanık mantık kural modellemesi

Şekil 4.28’de Matlab programında oluşturulan üyelik fonksiyonlarına ait kurallar gösterilmiştir. Şekil 4.28’de bulanıklık 703 fnu ve debi 89,4 (m³/s) için sediment miktarı 2300 mg/L çıkmıştır.

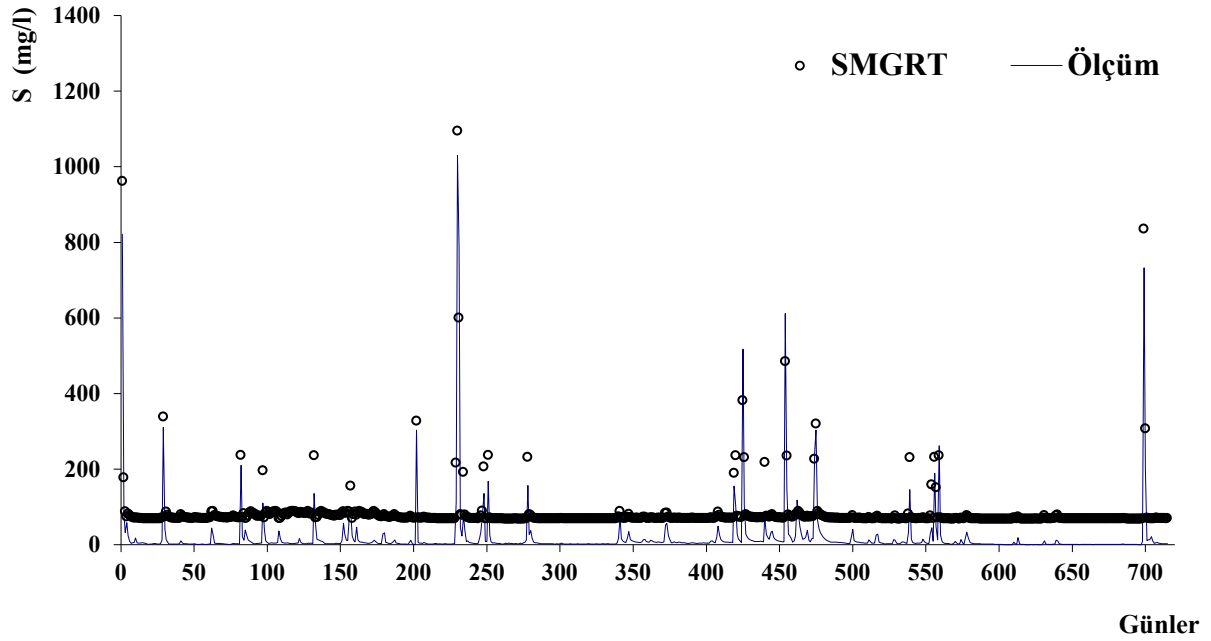
4.2. SMRGT Model Sonuçları

Bu çalışmada oluşturulan modellere ait sonuçlar bu kısımda gösterilmiştir. Matlab programında yapılan analizlere göre oluşturulan dağılım ve saçılım grafikleri sırası ile gösterilmiştir. Saçılım grafiklerinde determinasyon katsayıları gösterilmiştir. Dağılım grafiği ile ölçüm değerleri arasındaki uyum değerlendirilmiştir.

✓ SMRGT1 Modeli

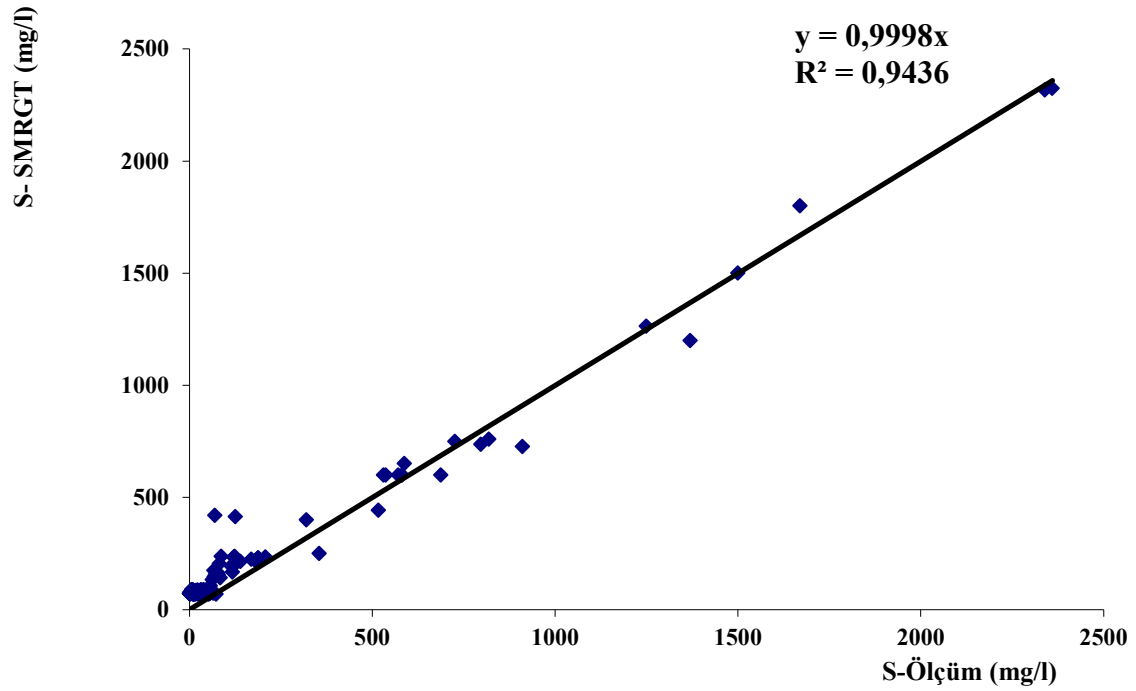


Şekil 4.29. SMRGT1 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği

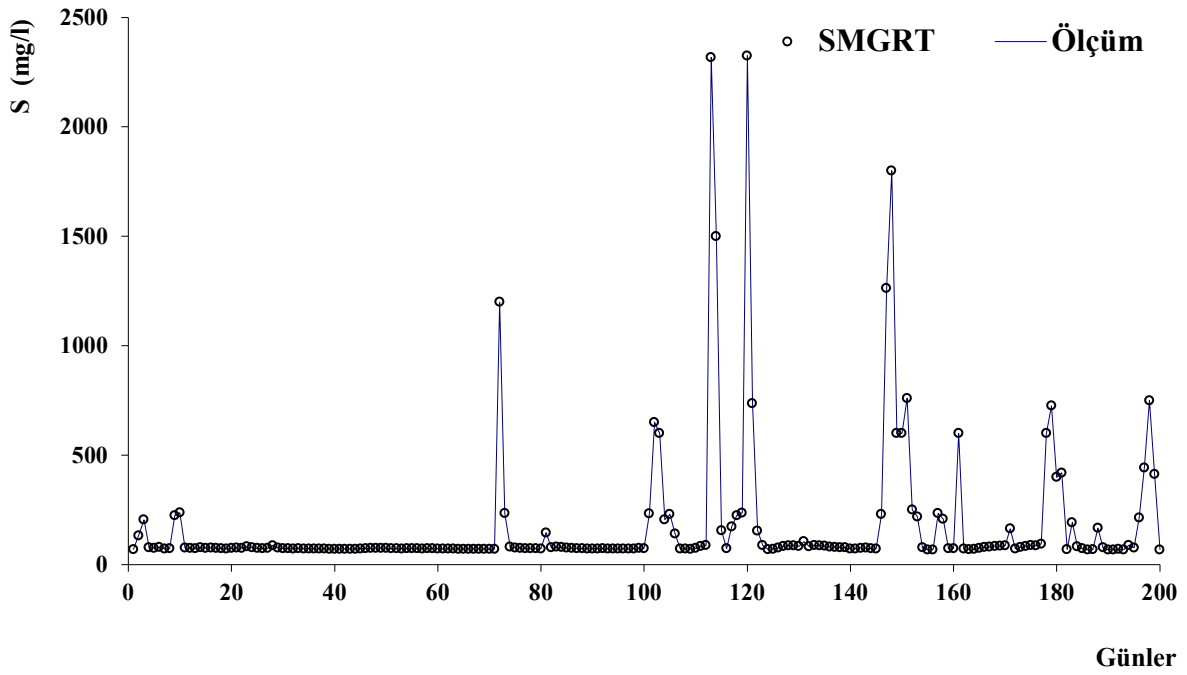


Şekil 4.30. SMRGT1 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

SMRGT1 modeli için oluşturulan eğitim verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.29 ve şekil 4.30'da gösterilmiştir. Saçılım grafiğinde determinasyon katsayısı eğitim verileri için R^2 0,9376 olarak elde edilmiştir. Dağılım grafiğine ait ölçüm değerleri ile SMRGT modeline ait tahmin sonuç değerleri arasında uyum olduğu görülmektedir.



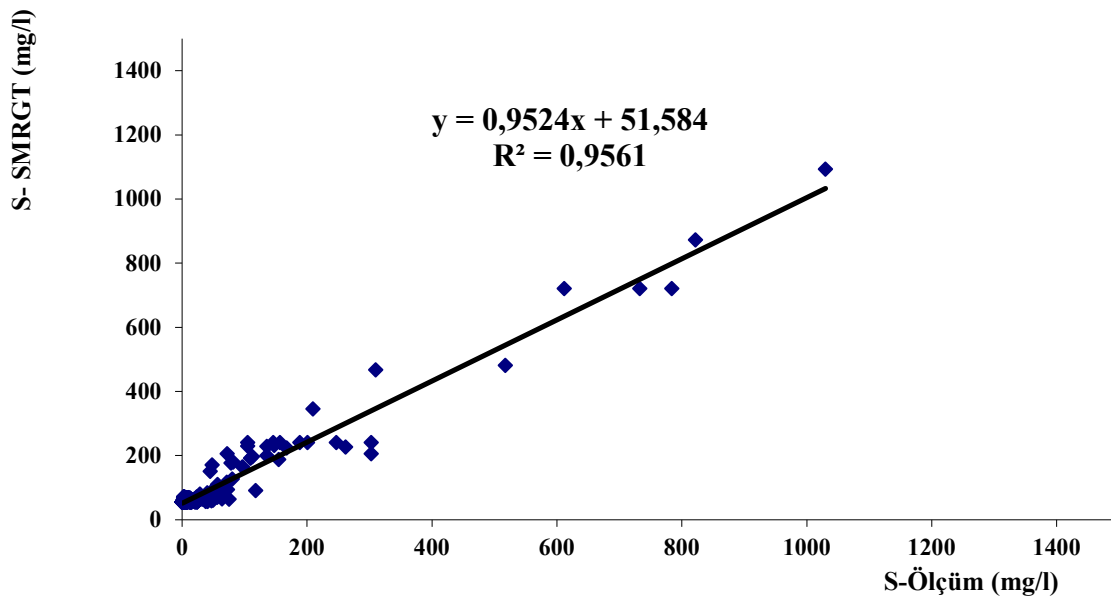
Şekil 4.31. SMRGT1 modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



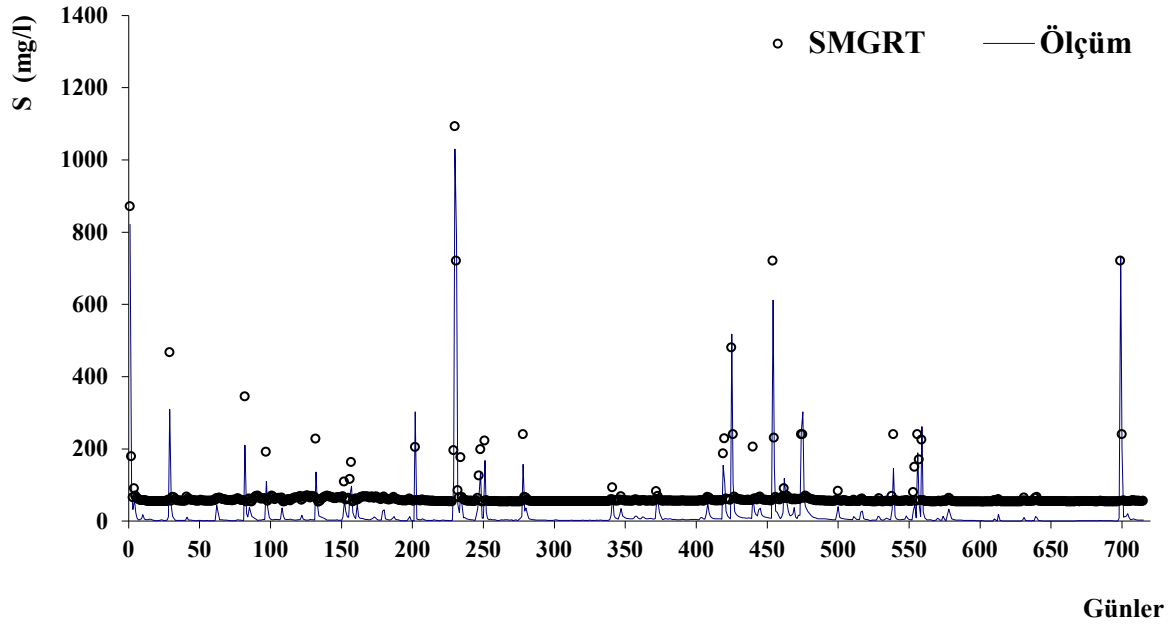
Şekil 4.32. SMRGT1 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

SMRGT1 modeli için oluşturulan test verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.31 ve şekil 4.31’de gösterilmiştir. Saçılım grafiğinde determinasyon katsayısı test verileri için 0,9436 olarak elde edilmiştir. Test grafiğindeki determinasyon katsayısının eğitim grafiğindeki determinasyon katsayısından daha yüksek olduğu görülmektedir.

✓ SMRGT2 Modeli

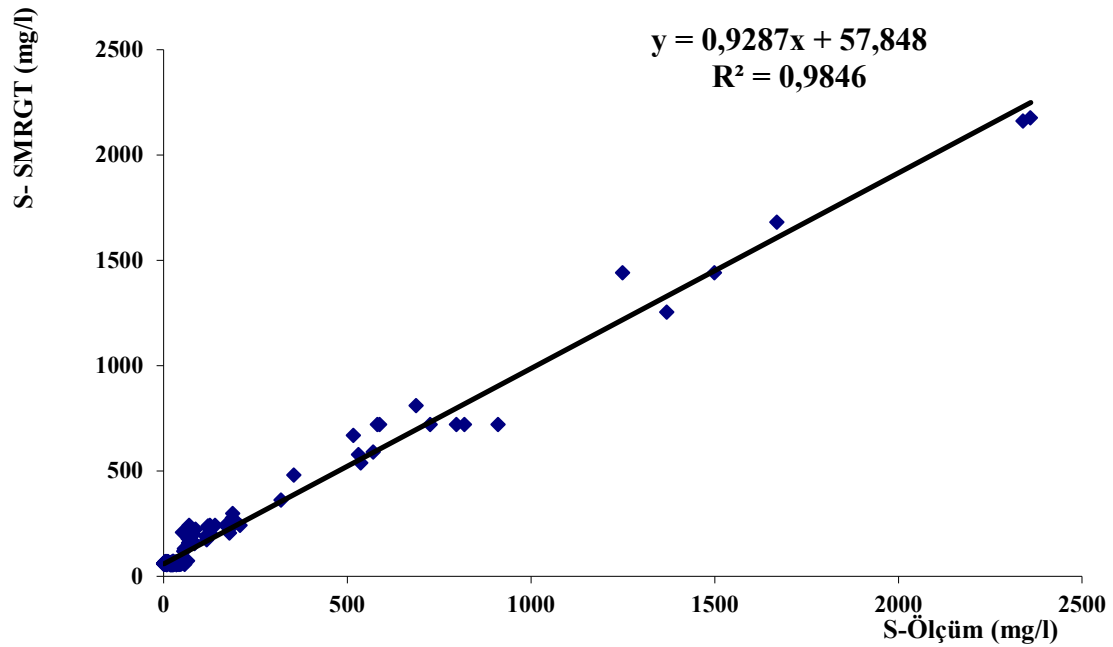


Şekil 4.33. SMRGT2 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği

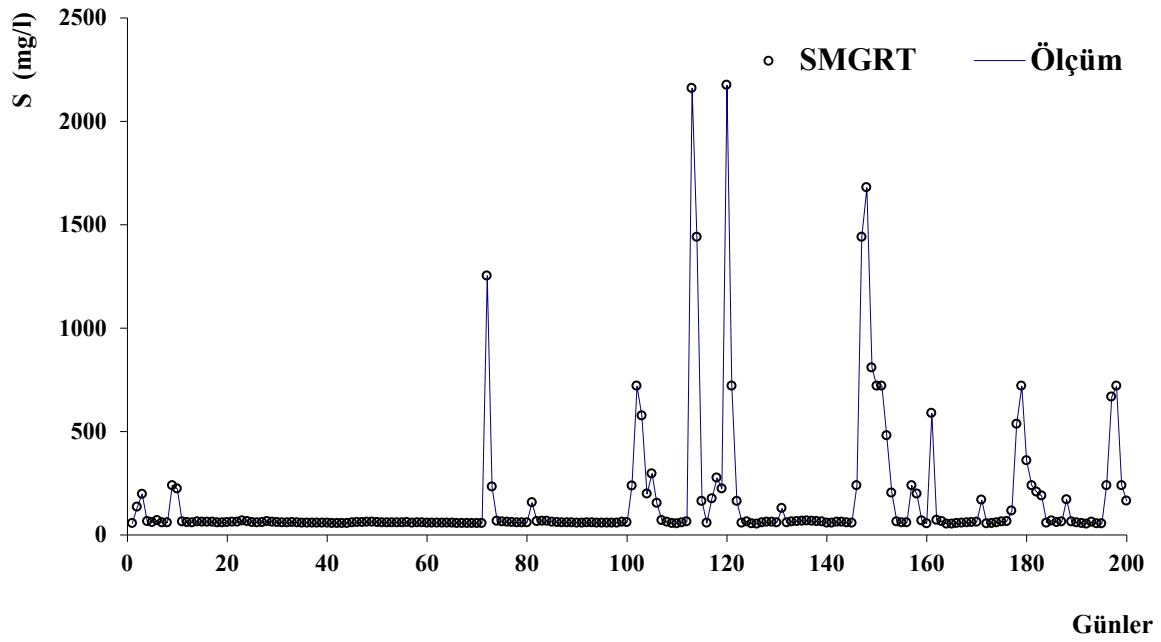


Şekil 4.34. SMRGT2 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

SMRGT2 modeli için oluşturulan eğitim verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.33 ve şekil 4.34'te gösterilmiştir. Saçılım grafiği incelendiğinde eğitim verileri için R^2 değerinin 0,9561 olduğu görülmektedir. Eğitim değerindeki R^2 değerinin test değerindeki R^2 değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.



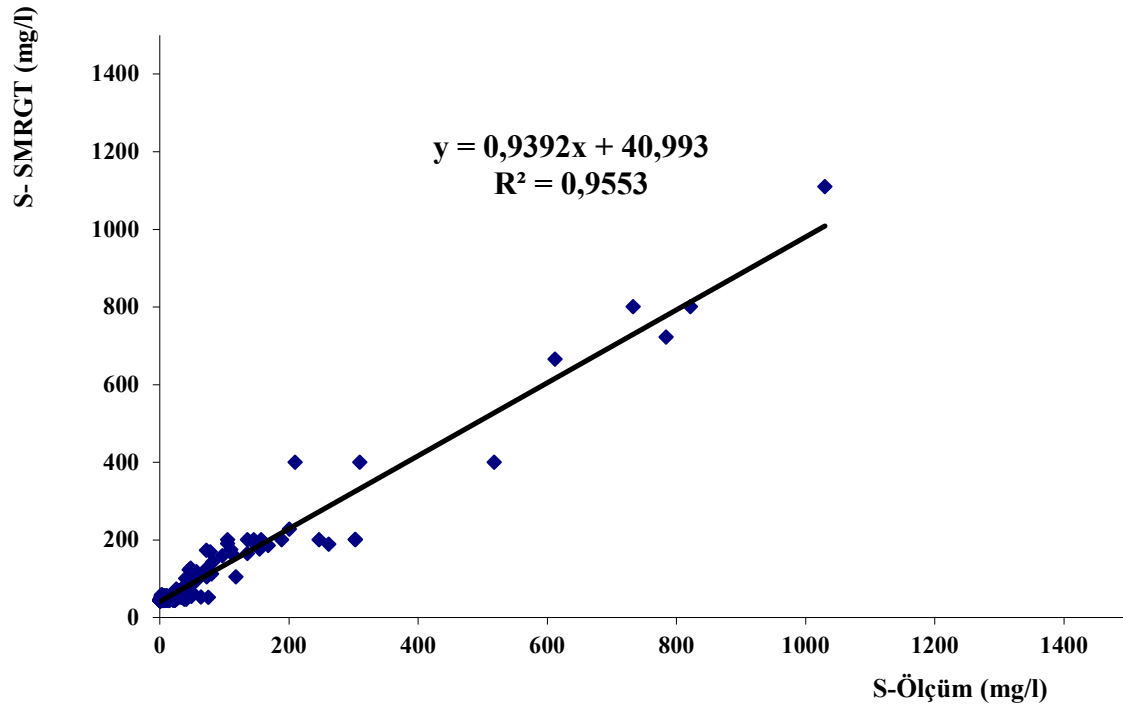
Şekil 4.35. SMRGT2 modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



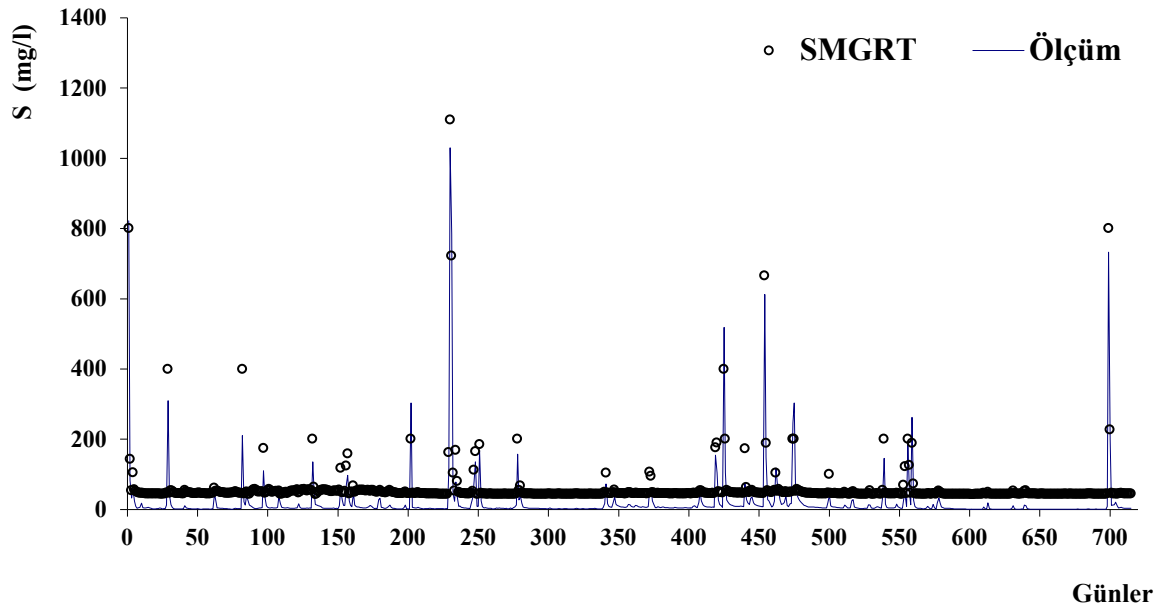
Şekil 4.36. SMRGT2 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

Şekil 4.35 ve şekil 4.36 incelendiğinde saçılım grafiğine ait determinasyon katsayısı eğitim verileri için 0,9846 olarak elde edilmiştir. Dağılım grafiğine ait ölçüm değerleri ile SMRGT2 modeline ait tahmin sonuç değerleri arasında uyum olduğu görülmektedir

✓ SMRGT3 Modeli

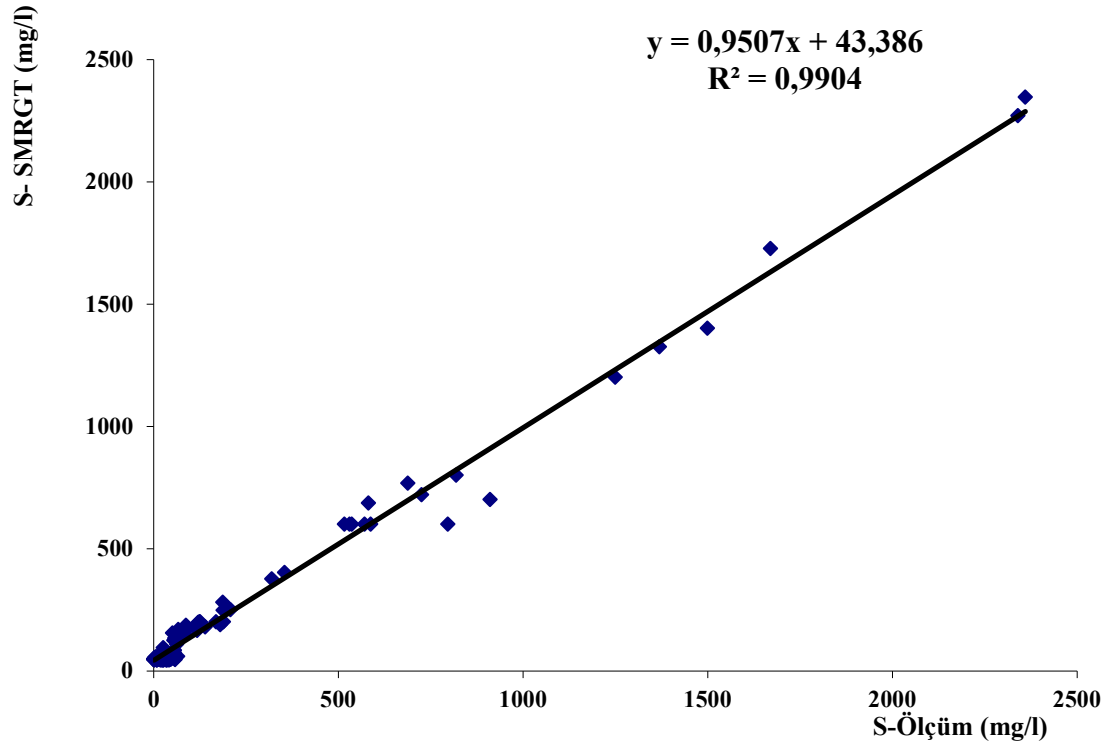


Şekil 4.37. SMRGT3 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği

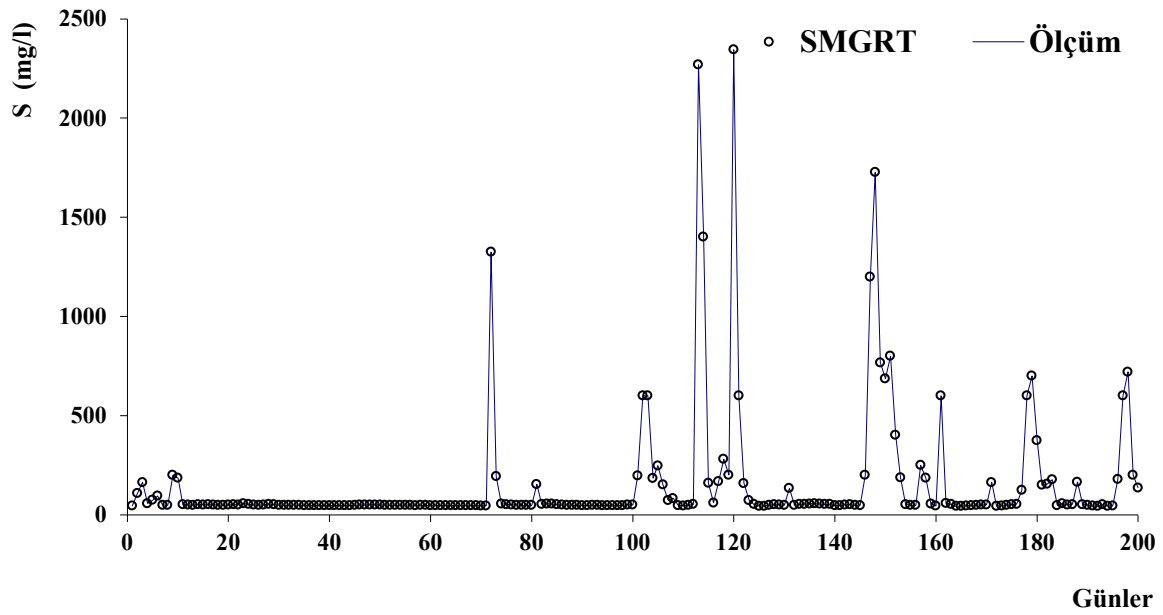


Şekil 4.38. SMRGT3 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

Eğitim verileri için şekil 4.37 ve şekil 4.38 incelendiğinde saçılım grafiğine ait determinasyon katsayısı R^2 0,9553 olarak elde edilmiştir. Dağılım grafiğine ait ölçüm değerleri ile SMRGT3 model sonuçları kendi arasında uyumlu şekilde olduğu görülmektedir.



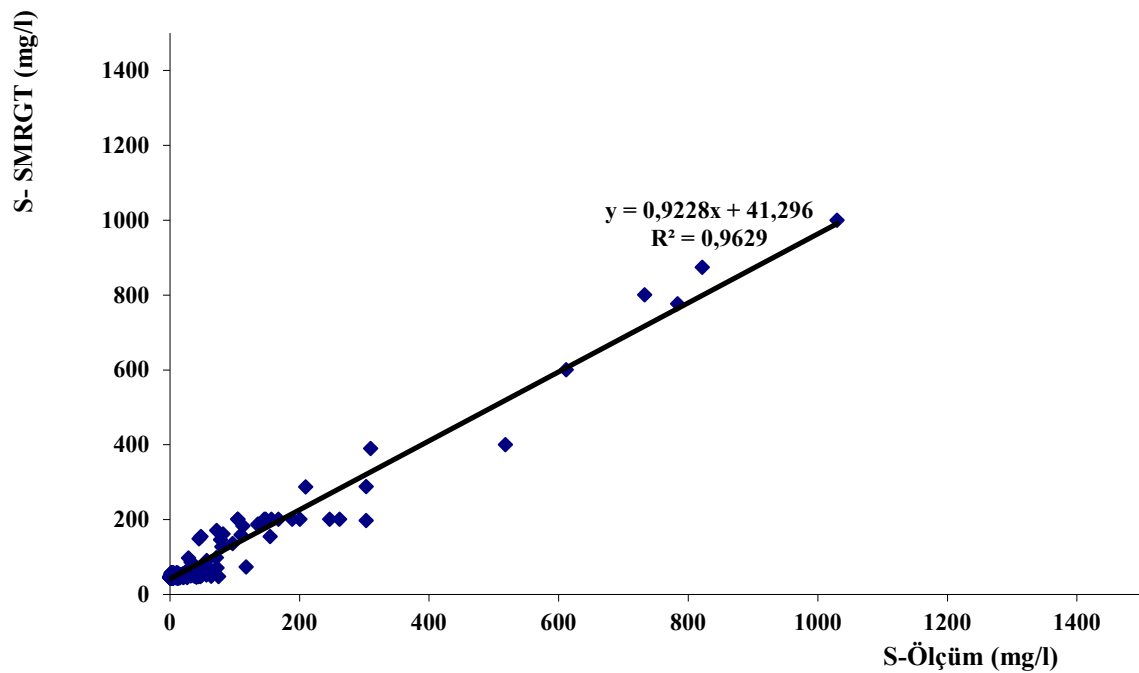
Şekil 4.39. SMRGT3 modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



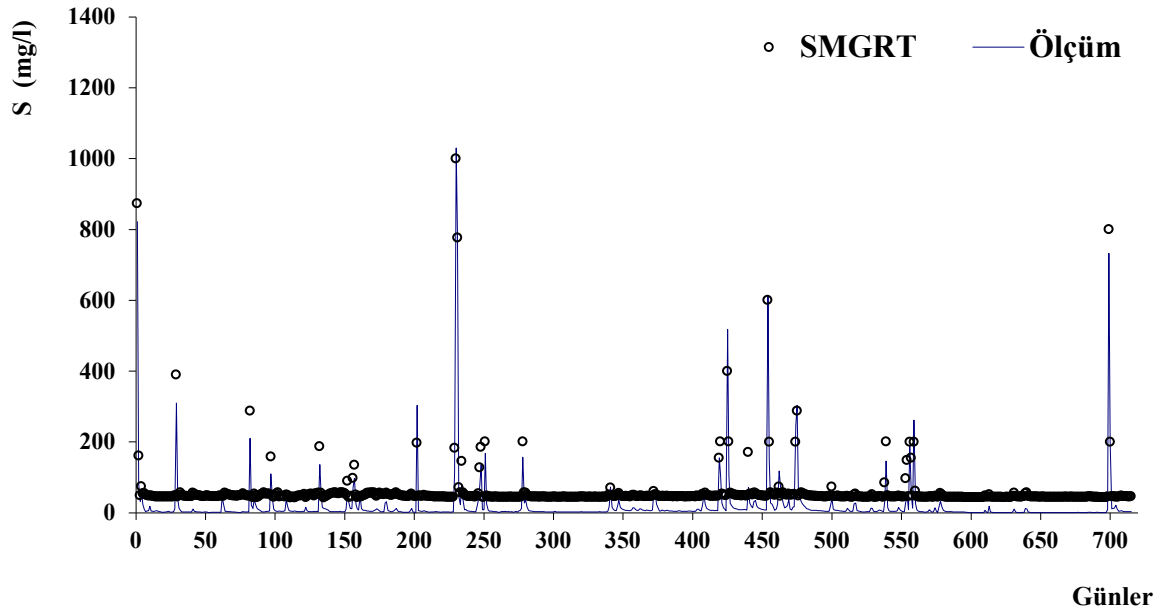
Şekil 4.40. SMRGT3 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

Test verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.39 ve şekil 4.40'ta gösterilmiştir. SMRGT3 modeli test verileri için R^2 değeri 0,9904 olarak elde edilmiştir. Test verileri için R^2 değerinin eğitim verileri için bulunan R^2 değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

✓ SMRGT4 Modeli

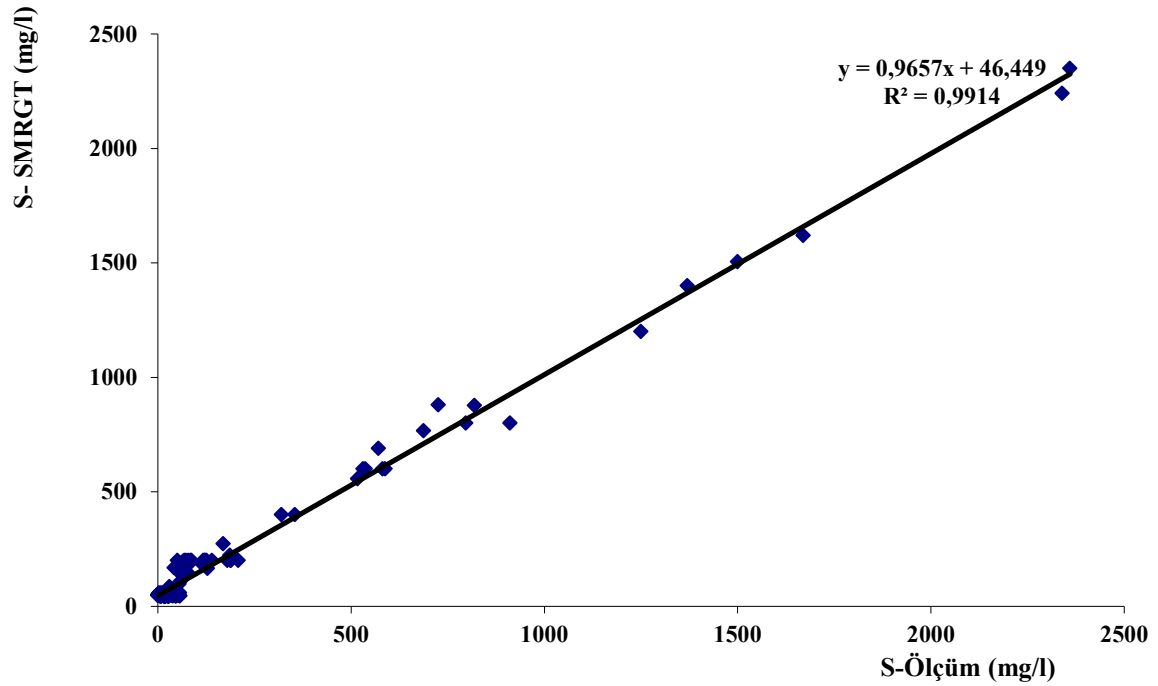


Şekil 4.41. SMRGT4 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği

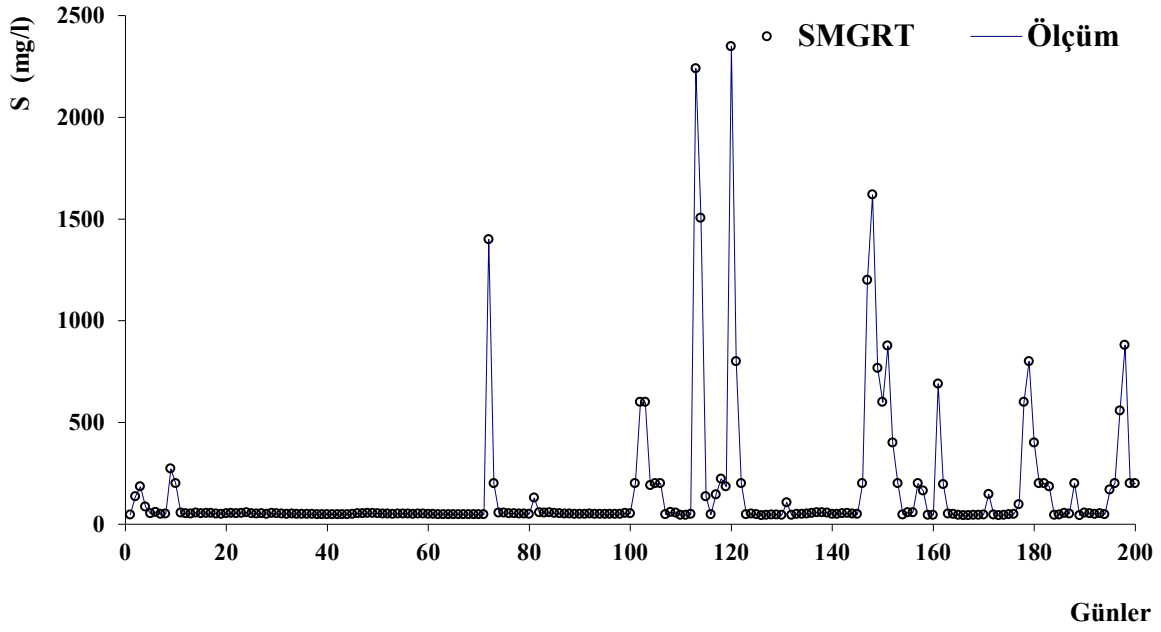


Şekil 4.42. SMRGT4 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

İncelenen grafikler şekil 4.41 ve şekil 4.42’de gösterilmiştir. Saçılım grafiğinde determinasyon katsayısı R^2 eğitim verileri için 0,9629 olarak elde edilmiştir.



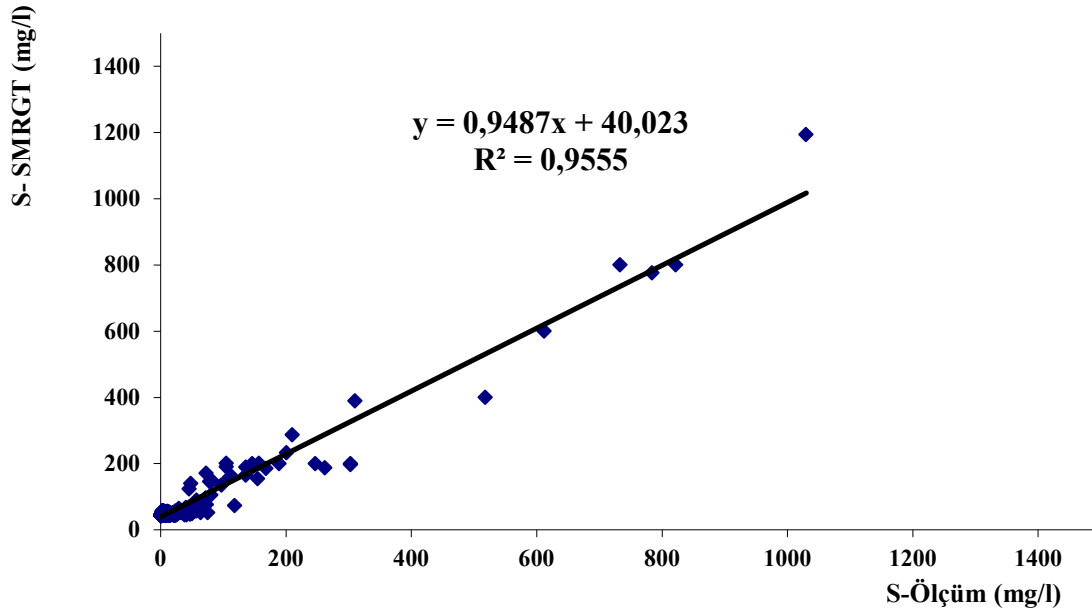
Şekil 4.43. SMRGT4 modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



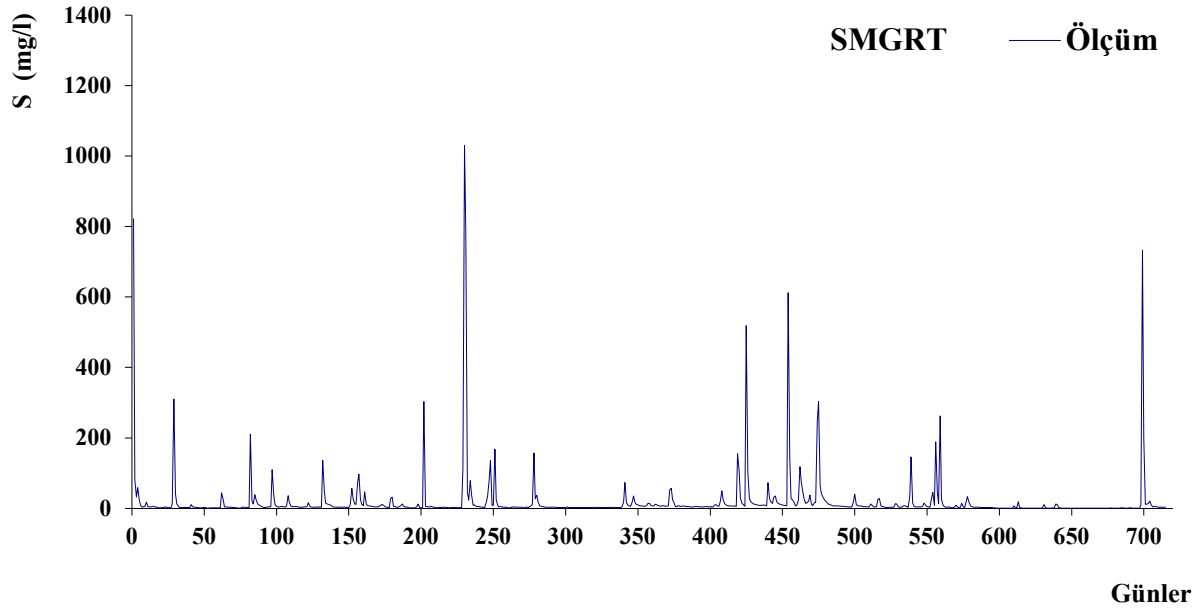
Şekil 4.44. SMRGT4 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

Test verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.43 ve şekil 4.44'te gösterilmiştir. Determinasyon katsayısı R^2 eğitim verileri için 0,9914 olarak elde edilmiştir. Dağılım grafiğine ait ölçüm değerleri ile SMRGT4 modeline ait tahmin sonuç değerleri arasında uyum olduğu görülmektedir.

✓ SMRGT5 Modeli

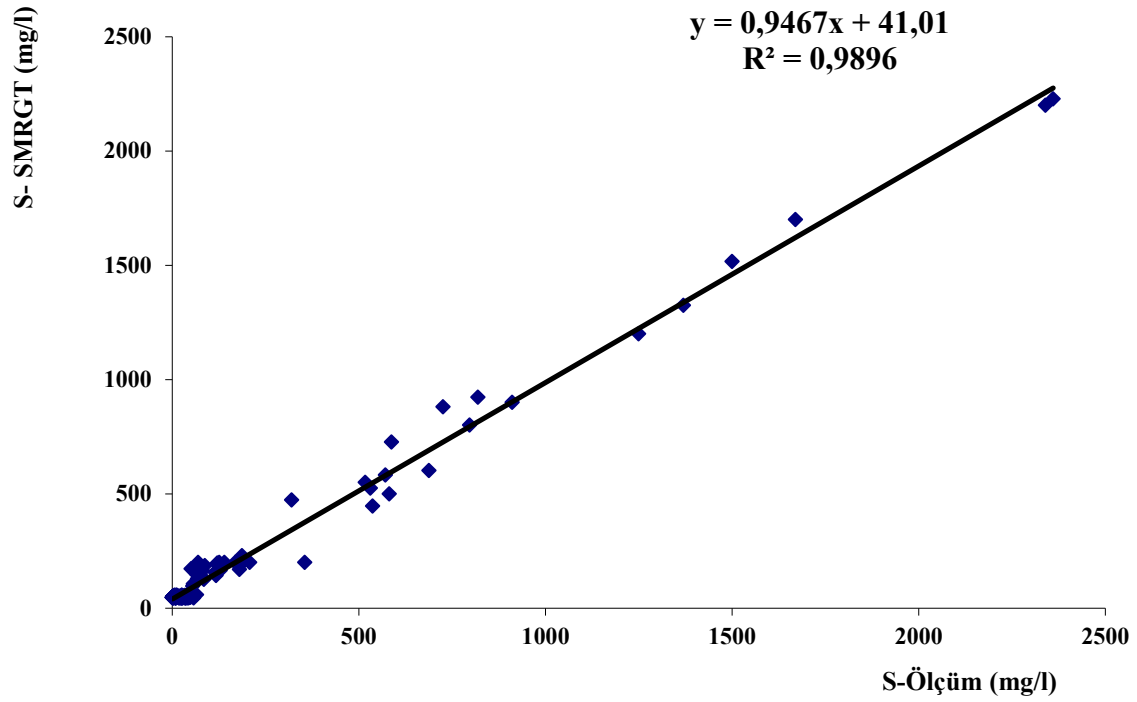


Şekil 4.45. SMRGT5 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği

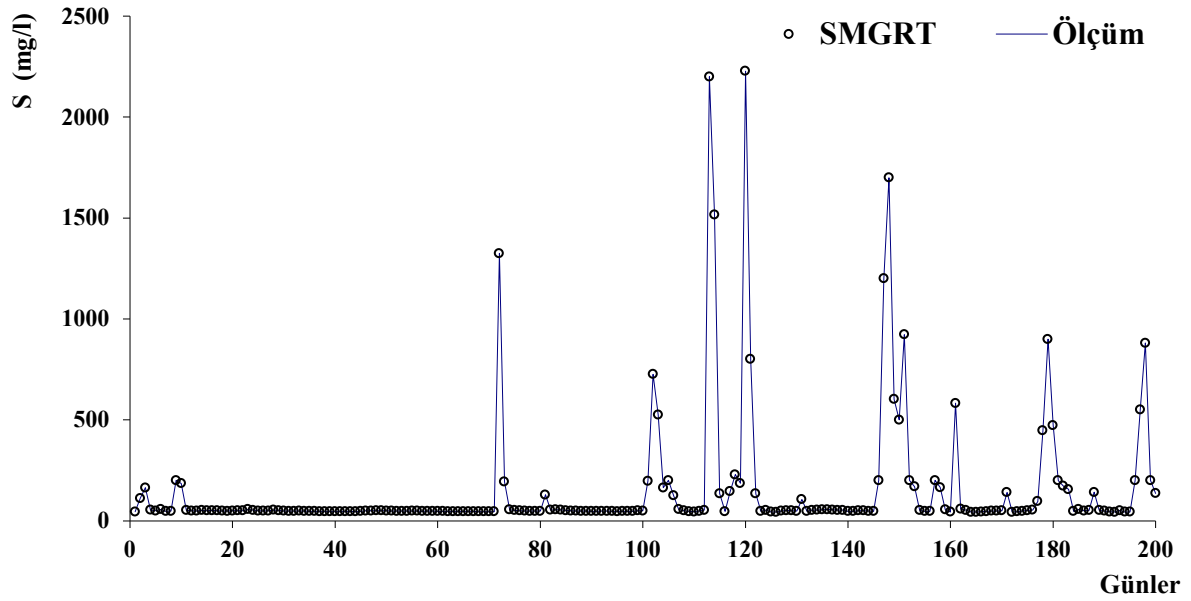


Şekil 4.46. SMRGT5 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

SMRGT5 modelinde oluşturulan eğitim verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.45 ve şekil 4.46'da gösterilmiştir. Saçılım grafiğinde determinasyon katsayısı eğitim verileri için 0,9555 olarak elde edilmiştir.



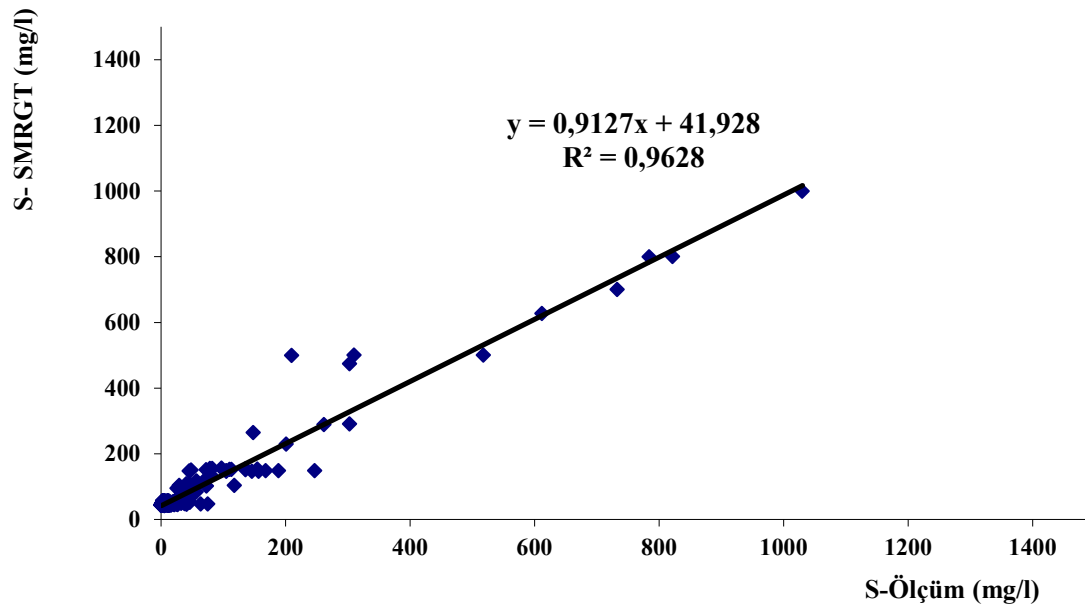
Şekil 4.47. SMRGT5 modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



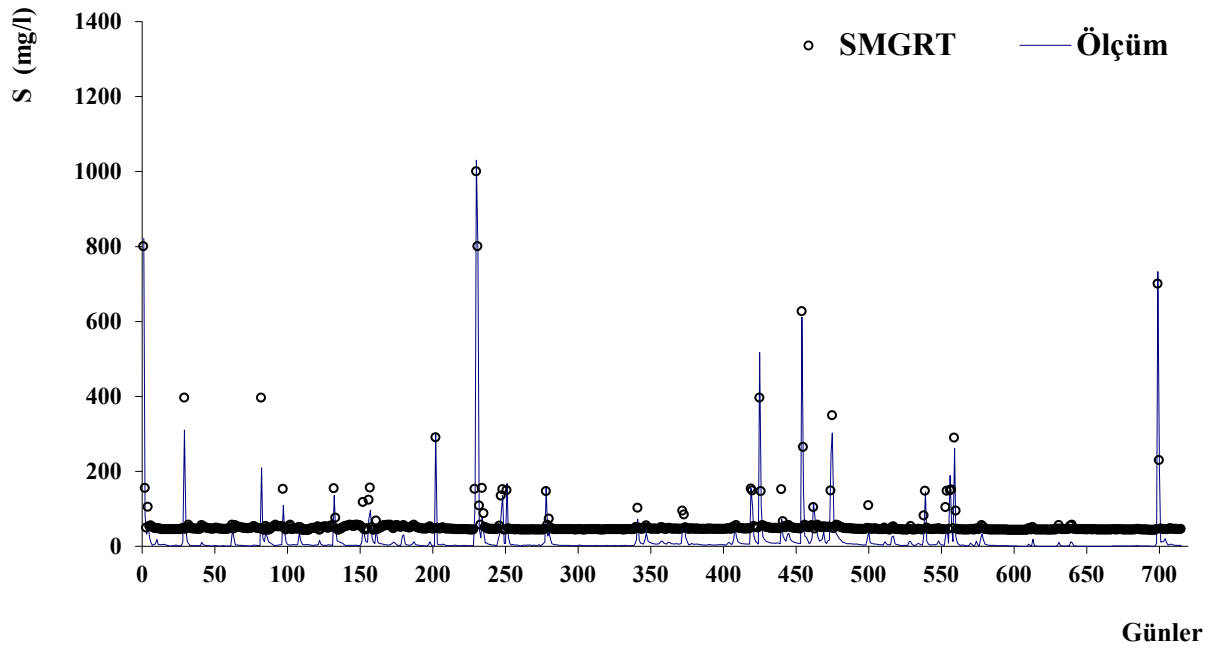
Şekil 4.48. SMRGT5 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

Eğitim verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.47 ve şekil 4.48'de gösterilmiştir. Saçılım grafiğinde R^2 0,9896 olarak elde edilmiştir. Dağılım grafiğine ait ölçüm değerleri ile SMRGT5 modeline ait tahmin sonuç değerlerinin benzer olduğu görülmektedir. Aynı zamanda test verilerine ait determinasyon katsayısının eğitim değerindeki determinasyon katsayısından daha yüksek olduğu görülmektedir.

✓ SMRGT6 Modeli

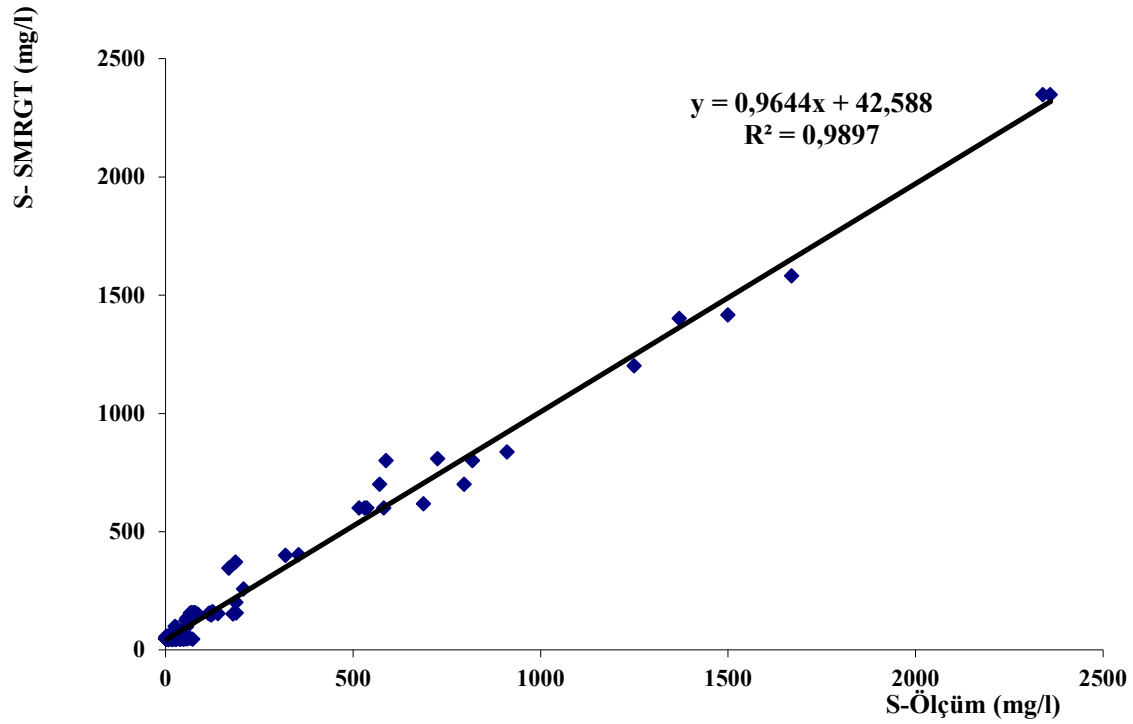


Şekil 4.49. SMRGT6 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği

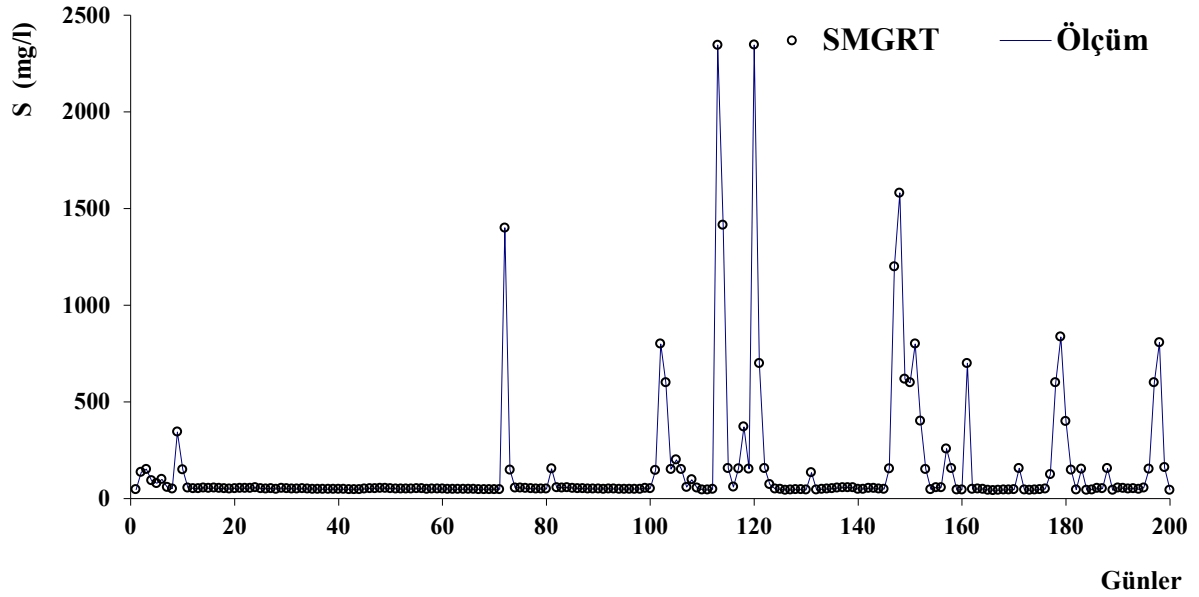


Şekil 4.50. SMRGT6 modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

Eğitim verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.49 ve şekil 4.50'de gösterilmiştir. Saçılım grafiğinde determinasyon katsayısı eğitim verileri için 0,9628 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.51. SMRGT6 modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



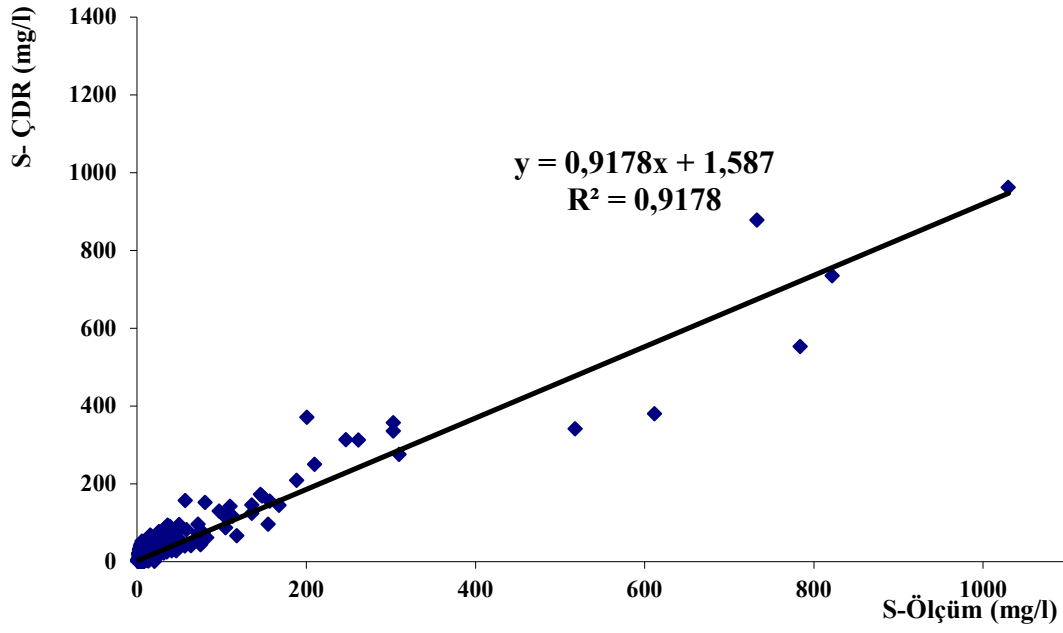
Şekil 4.52. SMRGT6 modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

Test verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.51 ve şekil 4.52’de gösterilmiştir. İncelenen bu grafiklerden determinasyon katsayısı test verileri için 0,9897 olarak elde edilmiştir. Ölçüm ve tahmin değerlerinin sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

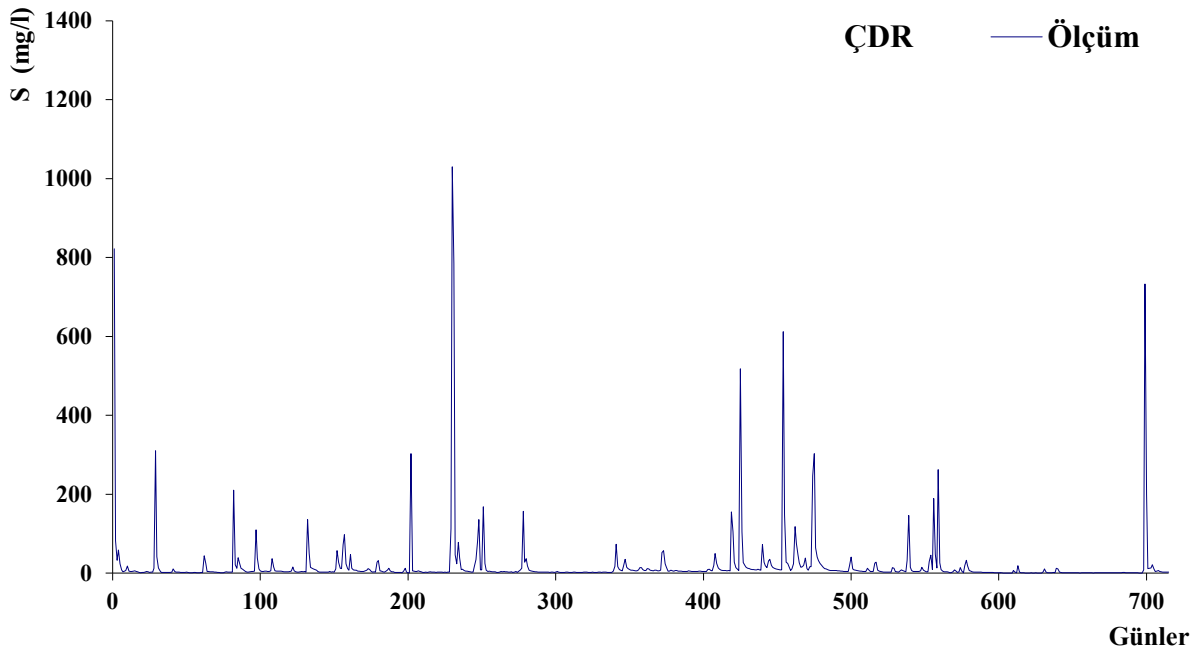
4.3. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) Sonuçları

ÇDR modellerine ait sonuçlar bu kısımda gösterilmiştir. Yapılan analizlere göre eğitim verilerine ait oluşturulan dağılım ve saçılım grafikleri sırası ile şekil 4.53 ve şekil 4.54’te test verilerine ait dağılım ve saçılım grafikleri sırası ile şekil 4.55 ve şekil 4.56’da gösterilmiştir. Saçılım grafiklerinde determinasyon katsayıları gösterilmiştir. Dağılım grafiğine ait ölçüm değerleri ile tahmin değerleri arasındaki uyum değerlendirilmiştir. ÇDR yönteminde kullanılan Eş. 4.1’de verilmiştir.

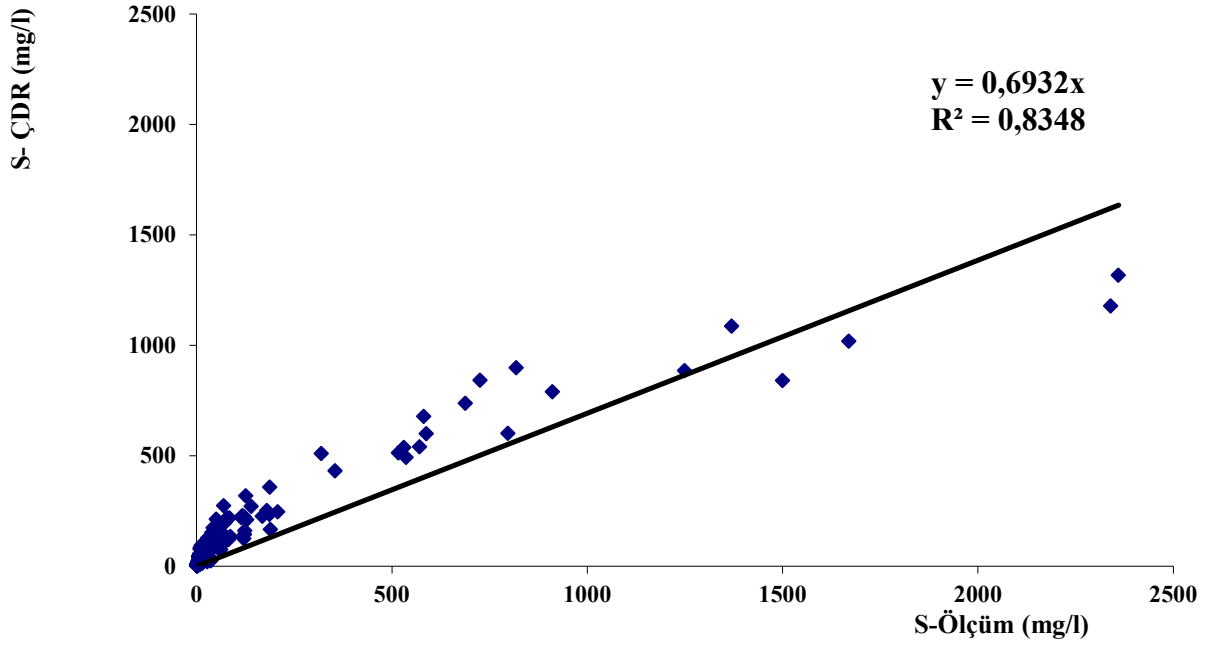
$$S = 15,57 + 0,91 * B_t + 5,96 * Q_t \quad (4.1)$$



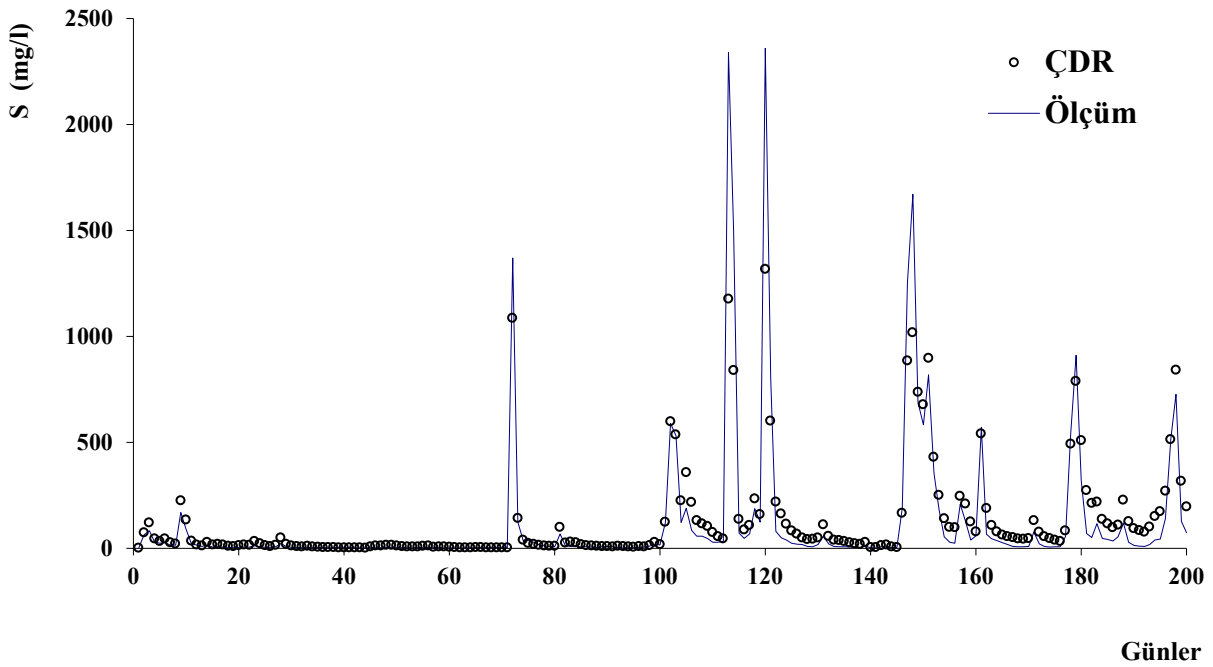
Şekil 4.53. ÇDR modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



Şekil 4.54. ÇDR modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği



Şekil 4.55. ÇDR modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği

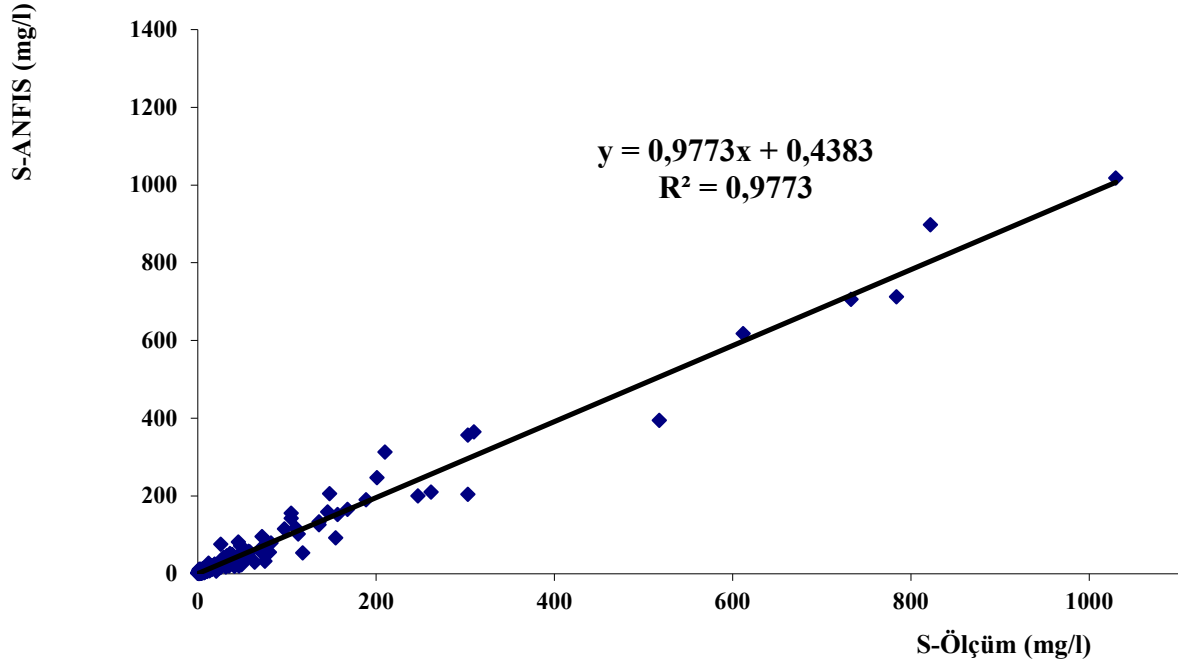


Şekil 4.56. ÇDR modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

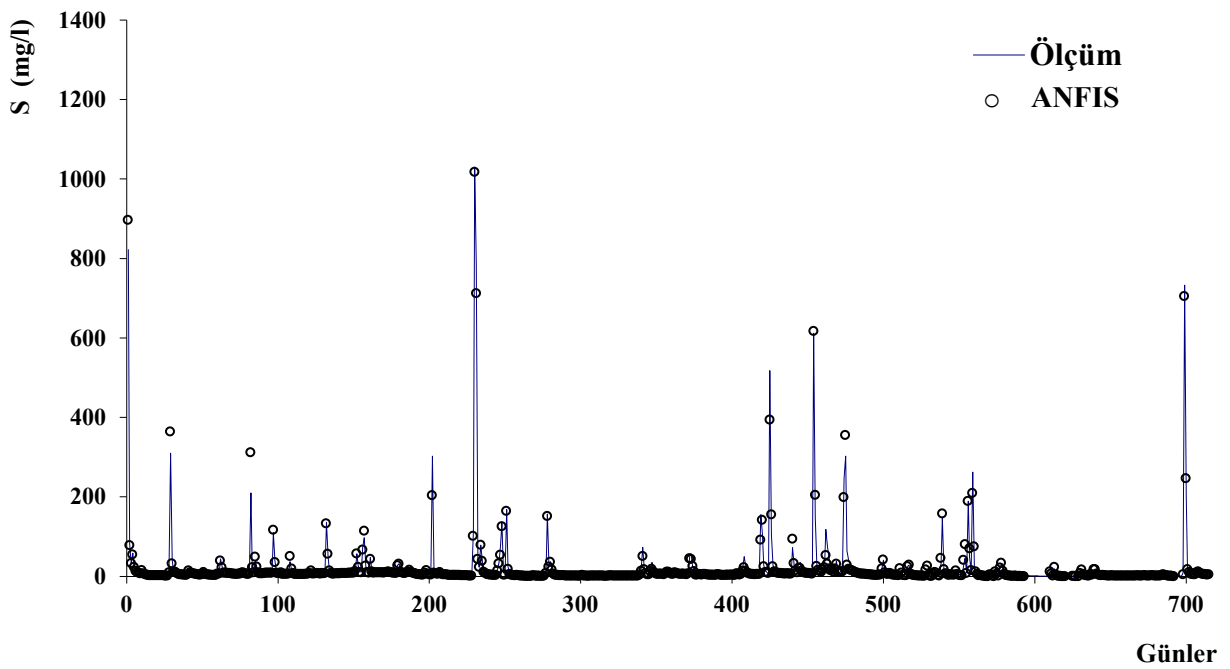
Şekil 4.53 ve şekil 4.54'teki eğitim verilerine ait dağılım ve saçılım grafikleri incelediğinde tahmin değerleri ile ölçüm değerlerinin uyumlu olduğu gözlenmekte ve yüksek determinasyon katsayısı görülmektedir ($R^2=0,9178$). Şekil 4.55 ve şekil 4.56'daki dağılım ve saçılım grafikleri incelediğinde sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu determinasyon katsayısının eğitim verilerine göre biraz daha düşük olduğu görülmektedir ($R^2=0,8348$).

4.4. ANFIS Sonuçları

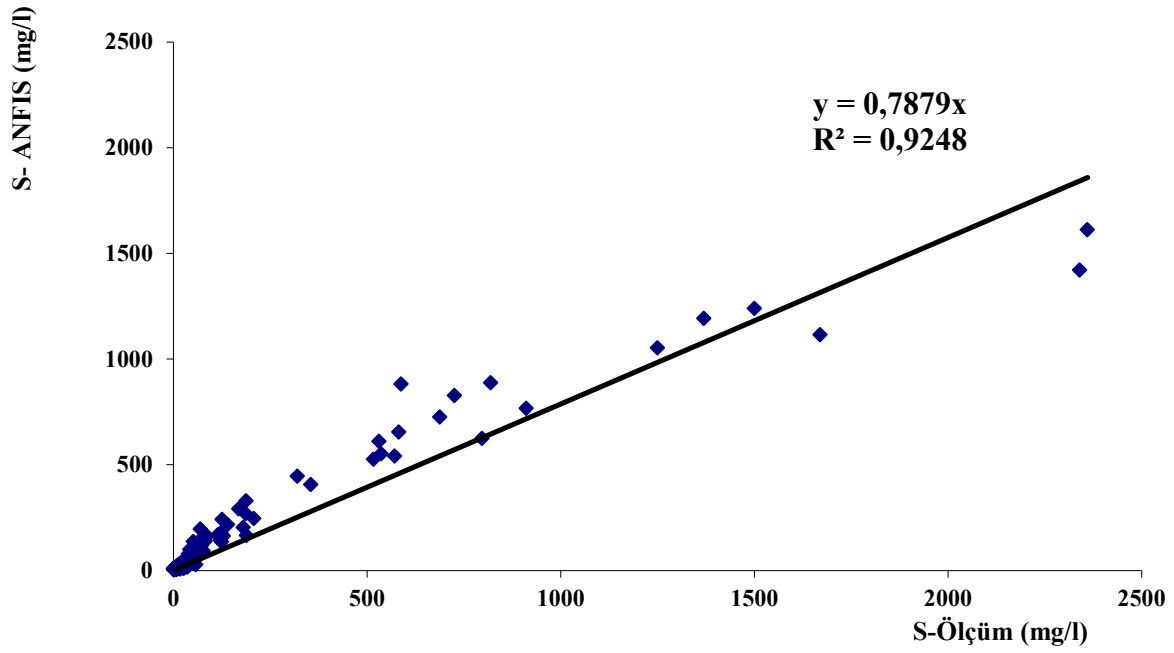
ANFIS yöntemi eğitim ve test verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.57, şekil 4.58, şekil 4.59 ve şekil 4.60'da gösterilmiştir.



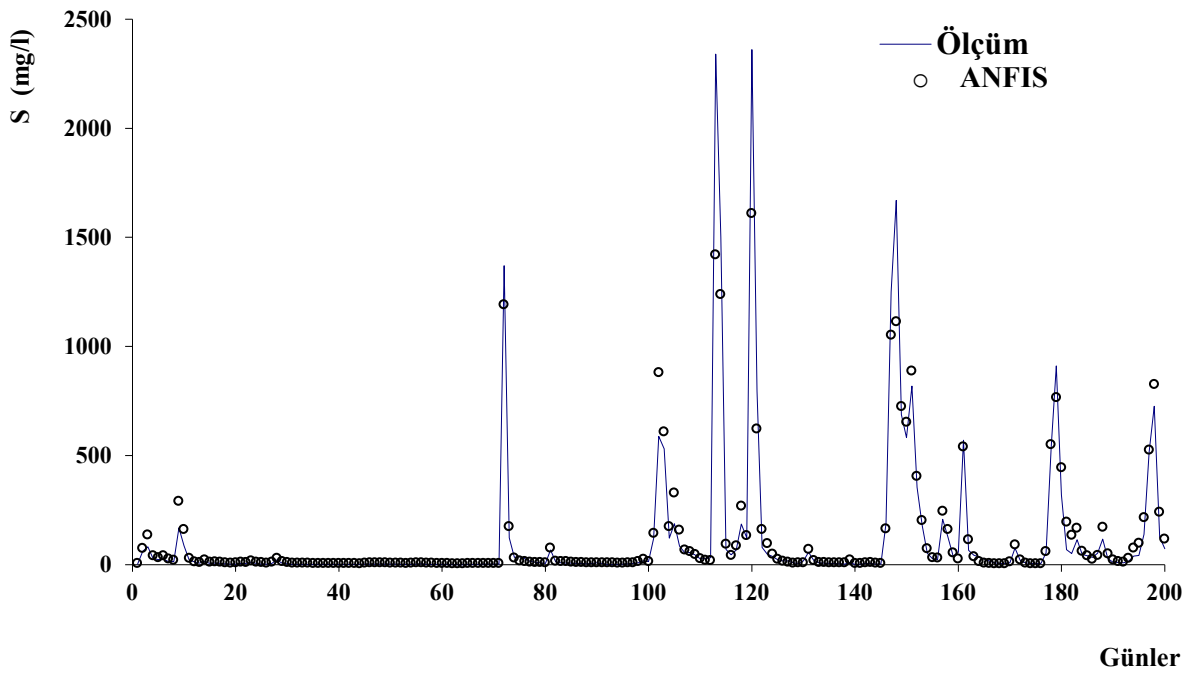
Şekil 4.57. ANFIS modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



Şekil 4.58. ANFIS modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği



Şekil 4.59. ANFIS modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği

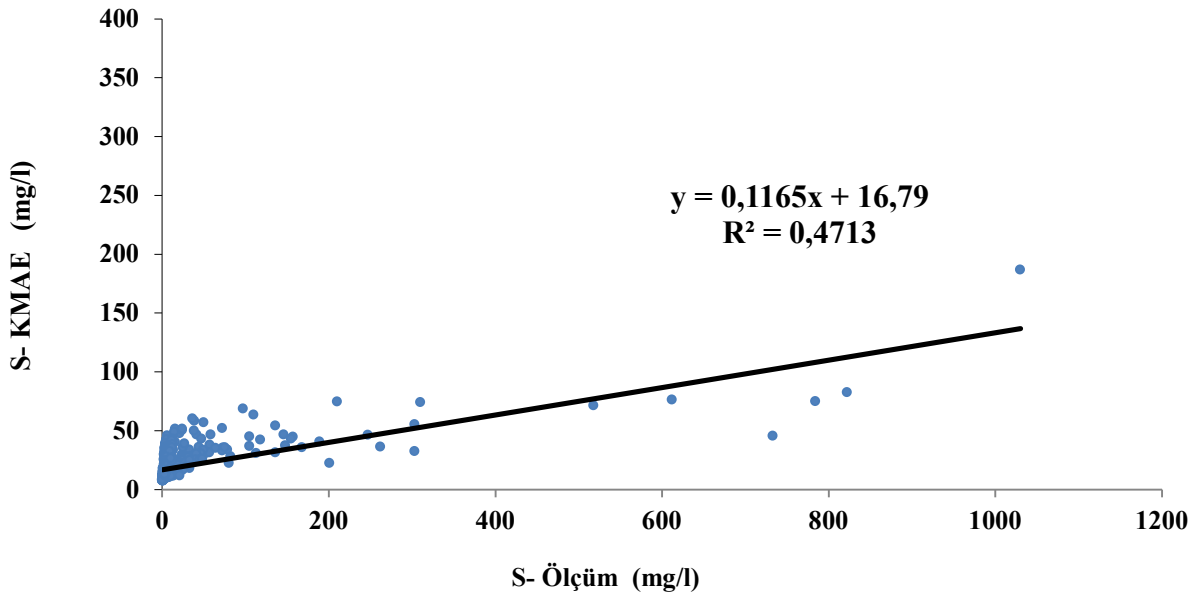


Şekil 4.60. ANFIS modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

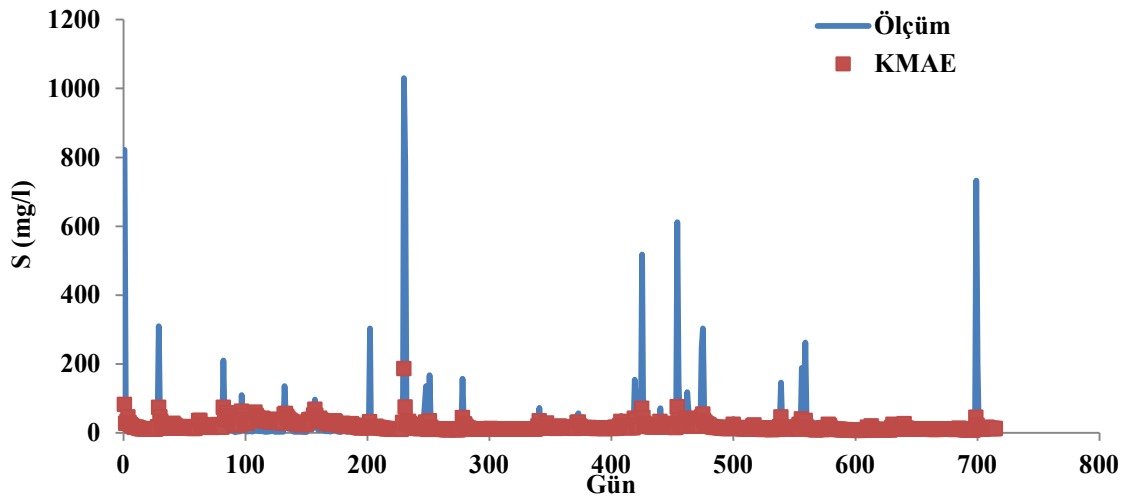
ANFIS için şekil 4.57 ve şekil 4.58'deki eğitim verilerine ait dağılım ve saçılım grafikleri incelendiğinde tahmin değerleri ile ölçüm değerlerinin uyumluluğu görülmektedir. Test verileri için şekil 4.59 ve şekil 4.60'da dağılım ve saçılım grafikleri incelendiğinde eğitim verilerine ait determinasyon katsayısının test verilerine ait determinasyon katsayısından daha yüksek olduğu görülmektedir. ($R^2=0,9773$)

4.5. Katı Madde Anahtar Eğrisi Sonuçları

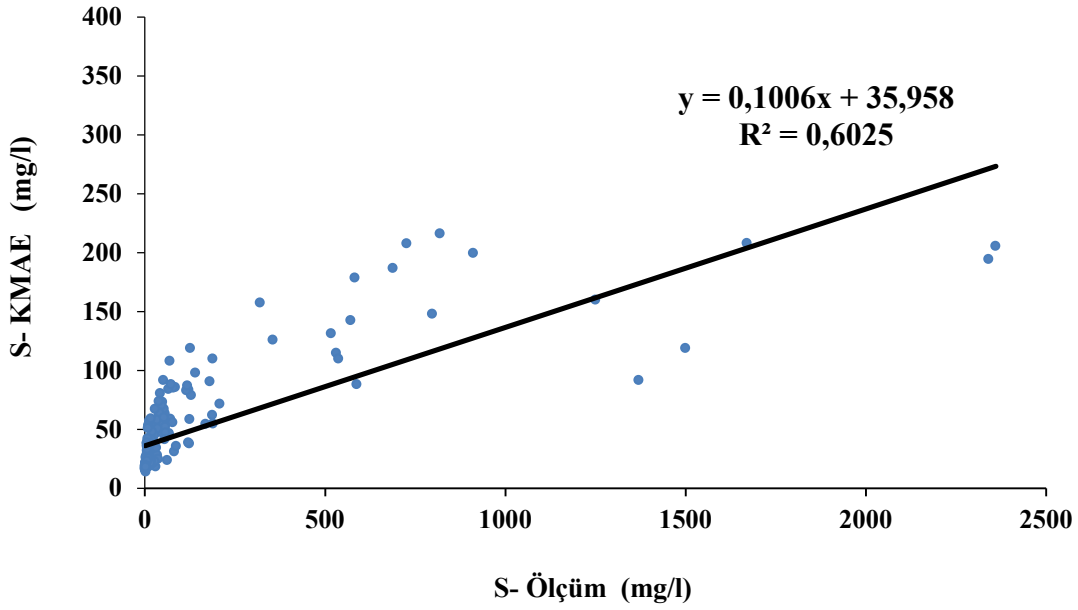
Katı madde anahtar eğrisi sonuçları için eğitim verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.61 ve şekil 4.62’de test verilerine ait saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile şekil 4.63 ve şekil 4.64’te gösterilmiştir.



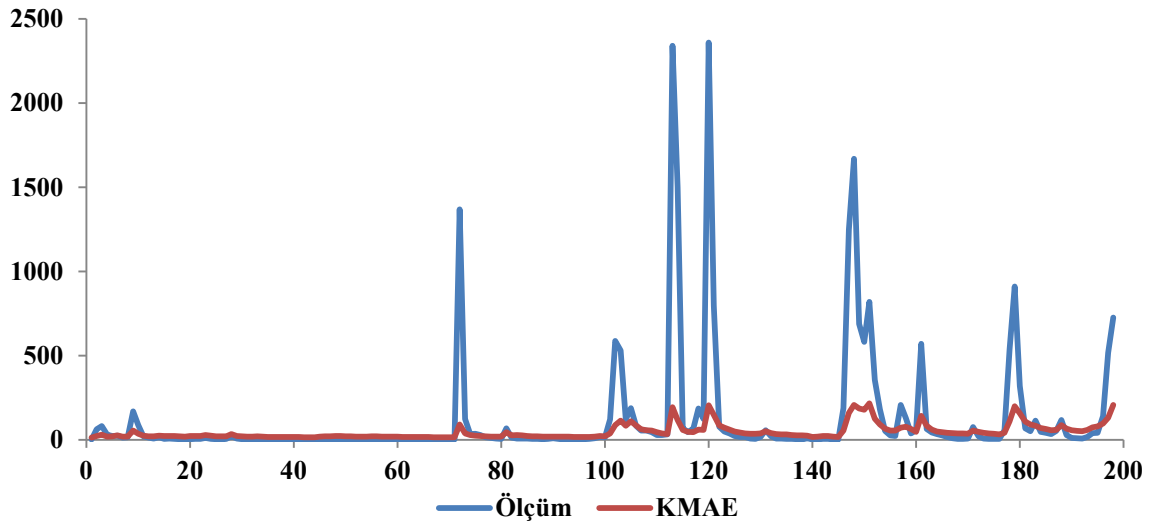
Şekil 4.61. KMAE modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



Şekil 4.62. KMAE modeli eğitim verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği



Şekil 4.63. KMAE modeli test verilerine ait ölçüm ve saçılım grafiği



Şekil 4.64. KMAE modeli test verilerine ait ölçüm ve dağılım grafiği

Katı Madde anahtar eğrisi için çizilen dağılım grafikleri incelendiğinde tahmin değerleri ölçüm değerleri ile çok uyumlu görülmemektedir (şekil 4.62 ve şekil 4.63). Test verileri için şekil 4.64'teki saçılım grafiği incelendiğinde yüksek olmayan determinasyon katsayısı gözlenmiştir ($R^2=0,6025$). Sediment miktarı tahmininde kullanılan yöntemlerin sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sediment miktarı için kullanılan modellere ait değerlerin gösterimi

ÜYELİK FONKSİYONLARINA GÖRE SMRGT SONUÇLARI				
Model İsimleri	Model Girdileri	R²	MOH	KKOH
SMRGT4 Modeli	Qt,Bt	0,9914	46,02	53,27
SMRGT3 Modeli	Qt,Bt	0,9904	44,88	51,63
SMRGT6 Modeli	Qt,Bt	0,9897	44,71	51,94
SMRGT5 Modeli	Qt,Bt	0,9896	43,14	50,75
SMRGT2 Modeli	Qt,Bt	0,9846	58,59	67,26
SMRGT1 Modeli	Qt,Bt	0,9436	66,58	75,24
ANFIS Modeli	Qt,Bt	0,9373	33,66	104,45
ÇDR Modeli	Qt,Bt	0,8348	55,47	143,65
KMAE Modeli	Qt	0,6025	70,42	310,47

R²: Determinasyon katsayısı, **KKOH**: Ortalama karesel hataların karekökü, **MOH**: Mutlak ortalama hata.

Q(t): günlük Debi (m³/s), B(t): günlük kirlilik (bulanıklık) miktarı (fnu), S(t): günlük sediment (mg/L)

Kullanılan bu modellere ait sonuçların karşılaştırılmasında determinasyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hataların karekökü (KKOH) ve mutlak ortalama hata (MOH) hesaplanmıştır (Eş. 4.2-4.4).

$$R^2 = \left(\frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)}\sqrt{(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)}} \right) \quad (4.2)$$

$$MOH = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left| S_{ölçüm} - S_{tahmin} \right| \quad (4.3)$$

$$KKOH = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(S_{ölçüm} - S_{tahmin} \right)^2} \quad (4.4)$$

Çizelge incelendiğinde SMRGT modellerinin kendi içinde tutarlı ve geçerli sonuçlar verdiği görülmüştür. SMRGT4 modelinin en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Bulanıklık ve debi parametrelerini kullanarak sediment tahmininin yapıldığı SMRGT modelinde karşılaştırma kriteri olarak determinasyon katsayısı ve hata oranları kullanılmıştır. En iyi determinasyon katsayısı (R^2 0,9914) ve en düşük hata oranları (MOH 46,02 ve KKOH 53,27) değerlerine ait olan modelin SMRGT4 modeli olduğu görülmüştür.

Hata oranları en yüksek olup determinasyon katsayısı en düşük olan modelin MOH (70,423), KKOH (310,4729) ve R^2 (0,6025) KMAE modelinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere ÇDR modelinin (0,83) determinasyon katsayısı ve MOH (55,47) ile KKOH (143,65) hata oranlarıyla kısmen geçerli bir sonuç verdiği görülmüştür. ÇDR modelinin SMRGT ve ANFIS modellerine göre daha düşük sonuçlar verdiği ancak KMAE modeline göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. ANFIS modeline bakıldığında ise (0,93) determinasyon katsayısı ve düşük hata oranları (MOH 33,66) ve (KKOH 104,45) ile sediment tahmini için geçerli sonuç verdiği görülmüştür. Sediment miktarı tahmininde ANFIS yönteminde güvenilir sonuca ulaşıldığı görülmektedir. Ancak en iyi sonuç SMRGT4 modelinde olmaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma, ABD'nin Maryland eyaletindeki Catonsville yerleşimine bağlı Patapsco Nehrindeki bir istasyondaki verilerle yapılmıştır. Bu istasyon 39°15'04.5" Kuzey enlemi ve 76°45'49.6" Doğu boylamı üzerinde yer almaktadır. İstasyondan 2015-2018 yılları arasında 915 adet veri olmak üzere 3 yıllık meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu veriler Amerika Birleşik Devletleri İçişleri Bakanlığı bünyesinde faaliyet gösteren Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması Kurumu USGS (United States Geological Survey) web sayfasından alınmıştır. Katı madde tahmini için SMRGT, ÇDR, ANFIS ve Katı Madde Anahtar Eğrisi modelleri kullanılmıştır. SMRGT, ÇDR, ANFIS ve Katı Madde Anahtar Eğrisi modellerinde toplam 915 verinin %78'i eğitim için %22'si ise test için uygulanmıştır. Model ile elde edilen sonuçlar ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır.

SMRGT4 modelinin, ÇDR ANFIS ve Katı madde anahtar eğrisi modellerinden daha iyi sonuçlar ortaya çıkardığı determinasyon katsayısı (0,9914) ve düşük MOH (46,02) ve KKOH (53,27) değerleriyle göstermektedir. Aynı zamanda SMRGT modellerinin kendi aralarında en iyi sonucu veren modelin SMRGT4 modeli olduğu görülmektedir. SMRGT4 modelindeki üyelik fonksiyonları 11'li üyelik fonksiyonuna ait debi, 11'li üyelik fonksiyonuna ait bulanıklık ve 13'lü üyelik fonksiyonuna ait sediment miktarına ait model olduğu görülmüştür. SMRGT modelleri dışındaki modellerden ANFIS KMAE ve ÇDR arasından en iyi sonucu veren modelin ANFIS modeli olduğu determinasyon katsayısı (0,93) ve düşük hata oranlarıyla ortalama mutlak hata (33,66) ve ortalama karesel hataların karekökü ile (104,45) ile görülmektedir.

İncelenen verilerden SMRGT modellerinde anlaşıldığı üzere farklı üyelik fonksiyonlarına göre farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu modellere göre en iyi sonucu veren SMRGT modelinin SMRGT4 modeli olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan yola çıkarak incelenen modeller için aynı üyelik fonksiyonuna denk gelen küme elemanları olduğundan dolayı en iyi sonucu veren model 11'li debi üyelik fonksiyonu 11'li bulanıklık üyelik fonksiyonu ve 13'lü sediment üyelik fonksiyonu modeli olmuştur. Üyelik fonksiyonları veya sonuç kümesine ait üyelik fonksiyonu kümesi artırıldığında gerçek değere yakınsama olacağı düşünülmektedir. Bu bölge ve verilerden sediment miktarının belirlenmesinde neden daha fazla üyelik fonksiyon sayısına sahip olan modelde iyi sonuçlar verilmediği problemine ilişkin sorulara cevap bulunabilir. Bu problemde hangi bağımlı/bağımsız değişkenin daha

belirleyici olduğu tarzındaki sorulara da cevap bulunabilir ve yapılacak çalışmalar için yol gösterici olabilir.

Yapılan bu çalışmada hata hesaplamaları ve determinasyon değerleri incelendiğinde ANFIS, SMRGT ve ÇDR modellerinin bölgesel bazda günlük katı madde tahmininde kullanılabileceği görülmüştür. Ancak SMRGT yönteminin ÇDR, ANFIS ve KMAE modellerinden düşük hata oranları ve yüksek determinasyon katsayısı ile daha iyi sonuçlara sahip olduğu görülmüştür. ÇDR, ANFIS modellerinin tahmin değerleri kabul edilebilir bir sonuç vermiştir. KMAE yöntemi dışında çalışmada kullanılan üç metodunda tahmin sonuçları açısından kabul edilebilir düzeyde olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Afan, H. A., El-shafie, A., Mohtar, W. H. M. W. and Yaseen, Z. M. (2016). Past, present and prospect of an Artificial Intelligence (AI) based model for sediment transport prediction. *Journal of Hydrology*, 541, 902-913.
- Béjar, M., Gibbins, C. N., Vericat, D. and Batalla, R. J. (2017). Effects of suspended sediment transport on invertebrate drift. *River Research and Applications*, 33(10), 1655-1666.
- Bhattacharya, B., Price, R. K. and Solomatine, D. P. (2007). Machine learning approach to modeling sediment transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(4), 440-450.
- Carrillo, V., Petrie, J., Timbe, L., Pacheco, E., Astudillo, W., Padilla, C. And Cisneros, F. (2021). Validation of an experimental procedure to determine bedload transport rates in steep channels with coarse sediment. *Water*, 13(5), 672.
- Dayan, F., Demirci, M., Üneş, F. ve Taşar, B. (2021). Nehirlerdeki Katı Madde Miktarının Bulanık Smgrt Yöntemi İle Tahmini. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 294-307.
- Demirci, M., ve Baltacı, A. (2013). Prediction of suspended sediment in river using fuzzy logic and multilinear regression approaches. *Neural Computing and Applications*, 23(1), 145-151.
- Doğan, O. (2016). Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sisteminin (ANFIS) talep tahmini için kullanımı ve bir uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1), 257-288.
- Elmas, Ç. (2011). Yapay zekâ uygulamaları. Ankara: Seçkin Yayıncılık
- Goldstein, E. B., Coco, G. and Plant, N. G. (2019). A review of machine learning applications to coastal sediment transport and morphodynamics. *Earth-science reviews*, 194, 97-108.
- Guvel, S. P. and Yurtal, R. (2020). Investigation of sedimentation effects on Seyhan Dam reservoir. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 1015-1025.
- Gündoğdu, A. (2012). Asenkron motorlarda moment dalgalanmalarının sinirsel bulanık ağlar ile azaltılması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, Elazığ.
- Hajigholizadeh, M., Melesse, A. M. and Fuentes, H. R. (2018). Erosion and sediment transport modelling in shallow waters: A review on approaches, models and applications. *International journal of environmental research and public health*, 15(3), 518.

Huai, W. X., Li, S., Katul, G. G., Liu, M. Y. and Yang, Z. H. (2021). Flow dynamics and sediment transport in vegetated rivers: A review. *Journal of Hydrodynamics*, 33(3), 400-420.

İnternet: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Yer%C3%A7ekimi> Son Erişim Tarihi: 21.07.2022

İnternet: <https://www.usgs.gov/> Son Erişim Tarihi: 15.02.2021

İnternet: https://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k_mant%C4%B1k Son Erişim Tarihi: 10.05.2022

İnternet: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=98585995> Son Erişim Tarihi: 12.11.2022

Jang, J. S. (1993). Anfis: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.

Kuriqi, A., Koçileri, G. and Ardiçlioğlu, M. (2020). Potential of Meyer-Peter and Müller approach for estimation of bed-load sediment transport under different hydraulic regimes. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(1), 129-137.

MATLAB Mathworks, (2016). MATLAB: R2016a. Mathworks Inc, Natick.

Merritt, W. S., Letcher, R. A. and Jakeman, A. J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental modelling & software*, 18(8-9), 761-799.

Nones, M. (2019). Dealing with sediment transport in flood risk management. *Acta Geophysica*, 67(2), 677-685.

Rahman, S. A. and Chakrabarty, D. (2020). Sediment transport modelling in an alluvial river with artificial neural network. *Journal of Hydrology*, 588, 125056.

Richardson, P. W., Perron, J. T. and Schurr, N. D. (2019). Influences of climate and life on hillslope sediment transport. *Geology*, 47(5), 423-426.

Serra, T., Soler, M., Barcelona, A. and Colomer, J. (2022). Suspended sediment transport and deposition in sediment-replenished artificial floods in Mediterranean rivers. *Journal of Hydrology*, 609, 127756.

Şen Z., Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme, Genişletilmiş 3. Baskı, Su Vakfı Yayınları, 2009.

Takagi, T. and Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, (1), 116-132.

Toprak, Z. F. (2009). Flow discharge modeling in open canals using a new fuzzy modeling technique (SMRGT). *CLEAN–Soil, Air, Water*, 37(9), 742-752.

- Üneş, F., Taşar, B., Demirci, M., Zelenakova, M., Kaya, Y. Z. ve Varçin, H. (2021). Daily Suspended Sediment Prediction Using Seasonal Time Series and Artificial Intelligence Techniques. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 23.
- Vercruyssen, K., Grabowski, R. C. and Rickson, R. J. (2017). Suspended sediment transport dynamics in rivers: Multi-scale drivers of temporal variation. *Earth-Science Reviews*, 166, 38-52.
- Wang, S., Fu, B., Piao, S., Lü, Y., Ciais, P., Feng, X. and Wang, Y. (2016). Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes. *Nature Geoscience*, 9(1), 38-41.
- Wang, F., Huai, W. ve Guo, Y. (2021). Analytical model for the suspended sediment concentration in the ice-covered alluvial channels. *Journal of Hydrology*, 597, 126338.
- Watt, A. J., Phillips, M. R., Campbell, C. A., Wells, I. and Hole, S. (2019). Wireless Sensor Networks for monitoring underwater sediment transport. *Science of The Total Environment*, 667, 160-165.
- Wu, W., Wang, S. S. and Jia, Y. (2000). Nonuniform sediment transport in alluvial rivers. *Journal of hydraulic research*, 38(6), 427-434.
- Wu, W. (2004). Depth-averaged two-dimensional numerical modeling of unsteady flow and nonuniform sediment transport in open channels. *Journal of hydraulic engineering*, 130(10), 1013-1024.
- Wilkes, M. A., Gittins, J. R., Mathers, K. L., Mason, R., Casas-Mulet, R., Vanzo, D. and Jones, J. I. (2019). Physical and biological controls on fine sediment transport and storage in rivers. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(2), e1331.
- Yang, C. Y., Kang, W., Lee, J. H. and Julien, P. Y. (2022). Sediment regimes in South Korea. *River Research and Applications*, 38(2), 209-221.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

