



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**ALİBEY BARAJI HACMİNİN VE
SU SEVİYESİNİN KLASİK
VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ
İLE TAHMİNİ**

Enes Erkan ER

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

TEMMUZ 2022



**ALİBEY BARAJI HACMİNİN VE SU SEVİYESİNİN KLASİK VE
YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ**

Enes Erkan ER

**YÜKSEK LİSANS
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2022

Enes Erkan ER tarafından hazırlanan “ALİBEY BARAJI HACMİNİN VE SU SEVİYESİNİN KLASİK VE YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ” 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. Fatih ÜNEŞ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Mustafa MAMAK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 04/07/2022

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

.....
Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Sosyal Bilimler Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı 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

ENES ERKAN ER

04/07/2022

ALİBEY BARAJI HACMİNİN VE SU SEVİYESİNİN KLASİK VE YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Enes Erkan ER

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2022

ÖZET

Su yapılarında baraj haznesindeki su seviyesini ve hacminin doğru tahmin edilmesi su kaynaklarının kullanımı, planlanması ve işletilmesi açısından önemlidir. Artan iklim değişiklikleri, küreselleşme, hızlı nüfus artışı ve kentleşme sonucu barajlardaki suyun değeri günden güne önem kazanmaktadır. Bu çalışmada barajlardaki su seviyesinin ve hacminin tahmini için çoklu doğrusal regresyon (ÇDR), interaction çok değişkenli regresyon (IDR), quadratic çok değişkenli regresyon (QDR) pure-quadratic çok değişkenli regresyon (PQDR), yapay sinir ağları (YSA), adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), bulanık basit üyelik fonksiyonları ve bulanık kural oluşturma tekniği (Bulanık SMRGT) yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak İstanbul'un Sultangazi ilçesinde bulunan Alibey Barajı seçilmiştir. Bu çalışmanın ilk aşamasında aylık su seviyesi tahmini için DSİ'den 1989-2020 yıllarına ait aylık 381 adet ölçüm verileri kullanılmıştır. Aylık su seviyesi (K_A) tahmini için; aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) parametreleri kullanılmıştır. Ölçülen verilerin %75 eğitim %25 test olarak ayrılmıştır. İstatistiksel performans değerlendirme ölçütü olarak korelasyon katsayısı (R), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) kullanılmıştır. Ölçüm ve model tahmin sonuçları karşılaştırıldığında, yapay zekâ yöntemlerinin klasik yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın ikinci aşamasında ise günlük baraj hazne hacmi tahmini için İBB'den 2015-2020 yıllarına ait günlük 2190 adet ölçüm verileri kullanılmıştır. Günlük baraj hazne hacmi (G_K) tahmini için; günlük buharlaşma miktarı (G_X), günlük yağış miktarı (G_Y), günlük kullanılan su miktarı (G_Z), günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı (G_T) ve bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi (G_Q) parametreleri kullanılmıştır. Ölçülen verilerin %75 eğitim %25 test olarak ayrılmıştır. İstatistiksel performans değerlendirme ölçütü olarak korelasyon katsayısı (R), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) kullanılmıştır. Ölçüm ve model tahmin sonuçları karşılaştırıldığında, yapay zekâ yöntemlerinin klasik yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Bulanık SMRGT, su seviyesi, YSA, baraj, ÇDR

Sayfa Adedi : 80

Danışman : Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ

ESTIMATION OF THE VOLUME AND WATER LEVEL OF ALIBEY
DAM USING CLASSICAL AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE
METHODS

(M. Sc. Thesis)

Enes Erkan ER

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

July 2022

ABSTRACT

Accurate estimation of the water level and volume in the dam reservoir in water structures is important for the use, planning and operation of water resources. As a result of increasing climate changes, globalization, rapid population growth and urbanization, the value of water in dams is gaining importance day by day. In this study, multiple linear regression (MLR), interaction multivariate regression (IMR), quadratic multivariate regression (QMR), pure-quadratic multivariate regression (PMDR), artificial neural networks (ANN), adaptive neural fuzzy inference system (ANFIS), fuzzy simple membership functions and fuzzy rule generation technique (Fuzzy SMRGT) methods are used. Alibey Dam located in Sultangazi district of Istanbul was chosen as the study area. In the first stage of this study, 381 monthly measurement data from DSI for the years 1989-2020 were used for monthly water level estimation. For monthly water level (K_A) estimation; monthly water amount discharged from the dam (X_A), monthly evaporation amount (Y_A), monthly drinking water amount (Z_A), monthly water amount coming into the lake (T_A) and monthly water level in the previous month (Q_A) parameters one month ago were used. 75% of the measured data is divided into training and 25% for testing. Correlation coefficient (R), root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) were used as statistical performance evaluation criteria. When the measurement and model estimation results are compared, it has been observed that artificial intelligence methods give better results than classical methods. In the second stage of this study, 2190 daily measurement data from IBB for the years 2015-2020 were used for the daily dam reservoir volume estimation. For the daily dam reservoir volume (G_K) estimation; daily evaporation amount (G_X), daily precipitation amount (G_Y), daily used water amount (G_Z), daily water amount transferred from Terkos dam to Alibey dam (G_T) and daily dam reservoir volume in the previous day (G_Q) the day before were used. Correlation coefficient, root mean square error and mean absolute error were used as statistical performance evaluation criteria. When the measurement and model estimation results are compared, it has been observed that artificial intelligence methods give better results than classical methods.

Key Words : Fuzzy SMRGT, water level, ANN, dam, MLR

Number of Pages : 80

Supervisor : Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam aşamasında bilgi ve tecrübelerini her konuda benimle paylaşan, beni yönlendiren, her zaman yanımda olan çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca her daim yardımını ve desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Bestami TAŞAR'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Çalışma Alanı	11
3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) Yöntemi.....	14
3.3. Çok Değişkenli Regresyon Yöntemi	14
3.3.1 Interaction Çok Değişkenli Regresyon (IDR) Yöntemi.....	15
3.3.2 Quadratic Çok Değişkenli Regresyon (QDR) Yöntemi.....	15
3.3.3 Pure-Quadratic Çok Değişkenli Regresyon (PQDR) Yöntemi.....	15
3.4. Bulanık Mantık (BM) Yöntemi	15
3.4.1. Bulanık Mantık	15
3.4.2. Bulanıklık Kavramı.....	16
3.4.3. Bulanık Mantığın Fayda ve Mahzurları	17
3.4.4. Bulanık Sistemler	17
3.4.5 Bulanık SMRGT	18
3.5.Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi	27
3.5.1. Yapay Sinir Ağlarının Biyolojisi	27
3.5.2. Yapay Sinir Hücresi	28
3.5.3. Aktivasyon Fonksiyonu	29
3.5.4. YSA'nın Avantajları	29
3.6. Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) Yöntemi.....	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	32
4.1. Alibey Barajının İstatistik Özellikleri.....	32
4.1.1. Alibey Barajı Aylık Ölçüm Verileri İstatistik Özellikleri.....	35
4.1.2. Alibey Barajı Günlük Ölçüm Verileri İstatistik Özellikleri.....	39
4.2. Model Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	43
4.2.1 Aylık Su Seviyesi Tahmin Modellerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi ...	43

4.2.2. Günlük Baraj Hazne Hacmi Tahmin Modellerinin Sonuçları	59
5. SONUÇ.....	74
KAYNAKÇA	76



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Alibey Barajı karakteristik özellikleri (Anonim 4)	13
Çizelge 3.2. Bulanık SMRGT yöntemine ait aylık su seviyesi değişimi sınır değerleri....	20
Çizelge 3.3. Bulanık SMRGT yöntemine ait günlük baraj hazne hacmi sınır değerleri....	23
Çizelge 3.4. Bulanık SMRGT yöntemi ile aylık su seviye değişimi tahmini için oluşturulan bazı bulanık kurallar.....	26
Çizelge 3.5. Bulanık SMRGT yöntemi ile günlük baraj hazne hacmi tahmini için oluşturulan bazı bulanık kurallar.....	26
Çizelge 4.1. Pirinççiköy akım gözlem istasyonu ait; $G_{E\check{C}AA}$ (günlük en çok anlık akım), G_{EAAA} (günlük en az anlık akım) ve Y_{OA} (yıllık ortalama akım).....	32
Çizelge 4.2. Alibey Barajı tüm aylık verileri istatistik özellikleri.....	38
Çizelge 4.3. Alibey Barajı eğitim aylık verileri istatistik özellikleri.....	39
Çizelge 4.4. Alibey Barajı test aylık verileri istatistik özellikleri	39
Çizelge 4.5. Alibey Barajı günlük tüm verilerin istatistik özellikleri	42
Çizelge 4.6. Alibey Barajı günlük eğitim verilerinin istatistik özellikleri	43
Çizelge 4.7. Alibey Barajı günlük test verilerinin istatistik özellikleri	43
Çizelge 4.8. Aylık eğitim verileri modellerinin performans karşılaştırması	44
Çizelge 4.9. Aylık test verileri modellerinin performans karşılaştırması	44
Çizelge 4.10. Günlük eğitim verileri model performans karşılaştırması	59
Çizelge 4.11. Günlük test verileri model performans karşılaştırması	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Alibey Barajı mansaptan genel görünümü (Anonim 1, 2022).....	3
Şekil 1.2. Baraj hazne kısımları	4
Şekil 3.1. Alibey Barajı görünüm 01/2022 (Anonim 2).....	11
Şekil 3.2. Alibey Barajı Görünüm 01/2022 (Anonim 2).....	12
Şekil 3.3. Alibey Barajı üzerinde bulunan Mağlova Su Kemerine (Anonim 2)	12
Şekil 3.4. Alibey Barajı lokasyon (Anonim 3, 2021).....	13
Şekil 3.5. Klasik küme yaş aralığı (Toprak, 2004).....	16
Şekil 3.6. Bulanık küme yaş aralığı (Toprak, 2004)	16
Şekil 3.7. Bulanık mantık akış şeması (Üneş, 2020).....	18
Şekil 3.8. Bulanık SMRGT akış diyagramı.....	19
Şekil 3.9. Aylık barajdan deşarj yapılan su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri	21
Şekil 3.10. Aylık buharlaşma miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri.....	22
Şekil 3.11. Aylık içme su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri.....	22
Şekil 3.12. Aylık göle gelen su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri	22
Şekil 3.14. Günlük buharlaşma miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri.....	24
Şekil 3.15. Günlük yağış miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri.....	24
Şekil 3.16. Günlük kullanılan su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri.....	25
Şekil 3.17. Günlük baraj hazne miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri.....	25
Şekil 3.18. Günlük Terkos Barajından Alibey Barajına aktarılan su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri.....	25
Şekil 3.19. Biyolojik sinir hücresinin yapısı (Anonim 5, 2022).	27
Şekil 3.20. YSA modelinde kullanılan ileri beslemeli ağ mimarisi	28
Şekil 3.21. Sigmoid aktivasyon fonksiyonun şekli (Bölük, 2020).....	29
Şekil 3.22. ANFIS modelinin akış diyagramı	31
Şekil 4.1. Pirinççi köy AGİ 2015-2020 yılları arası akım-gün değişimi.....	33

Şekil 4.2. Pirinççi köy AGİ ait 2015-2016-2017 yılları anahtar eğrisi	33
Şekil 4.3. Pirinççi köy AGİ ait 2018 yılı anahtar eğrisi	34
Şekil 4.4. Pirinççi köy AGİ ait 2019 yılı anahtar eğrisi	34
Şekil 4.5. Pirinççi köy AGİ ait 2020 yılı anahtar eğrisi	35
Şekil 4.6. Aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı	36
Şekil 4.7. Aylık buharlaşma miktarı.....	36
Şekil 4.8. Aylık içme suyu miktarı.....	37
Şekil 4.9. Aylık göle gelen su miktarı	37
Şekil 4.10. Aylık su seviyesi değişimleri	38
Şekil 4.11. 2015-2020 yılları arası günlük buharlaşma miktarı değişimi	40
Şekil 4.12. 2015-2020 yılları arası günlük yağış miktarı değişimi	40
Şekil 4.13. 2015-2020 yılları arası günlük kullanılan su miktarı değişimi	41
Şekil 4.14. 2015-2020 yılları arası günlük Terkos Barajından Alibey Barajına aktarılan su miktarı değişimi.....	41
Şekil 4.15. 2015-2020 yılları arası günlük baraj hazne hacmi değişimi	42
Şekil 4.16. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli dağılım grafiği (eğitim)	45
Şekil 4.18. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli dağılım grafiği (test).....	46
Şekil 4.19. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli saçılım grafiği (test).....	46
Şekil 4.20. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve IDR modeli dağılım grafiği (eğitim)	47
Şekil 4.21. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve IDR modeli saçılım grafiği (eğitim)	47
Şekil 4.22. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve IDR modeli dağılım grafiği (test).....	48
Şekil 4.23. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve IDR modeli saçılım grafiği (test).....	48
Şekil 4.24. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve QDR modeli dağılım grafiği (eğitim)	49

Şekil 4.25. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve QDR modeli saçılım grafiği (eğitim)	49
Şekil 4.26. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve QDR modeli dağılım grafiği (test).....	50
Şekil 4.27. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve QDR modeli saçılım grafiği (test).....	50
Şekil 4.28. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli dağılım grafiği (eğitim)	51
Şekil 4.29. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli saçılım grafiği (eğitim)	51
Şekil 4.30. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli dağılım grafiği (test).....	52
Şekil 4.31. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli saçılım grafiği (test).....	52
Şekil 4.32. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli dağılım grafiği (eğitim)	53
Şekil 4.33. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (eğitim)	53
Şekil 4.34. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli dağılım grafiği (test).....	54
Şekil 4.35. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (test).....	54
Şekil 4.36. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli dağılım grafiği (eğitim)	55
Şekil 4.37. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli saçılım grafiği (eğitim)	55
Şekil 4.38. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli dağılım grafiği (test).....	56
Şekil 4.39. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli saçılım grafiği (test).....	56
Şekil 4.40. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli dağılım grafiği (eğitim)	57
Şekil 4.41. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli saçılım grafiği (eğitim)	57

Şekil 4.42. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli dağılım grafiği (test).....	58
Şekil 4.43. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli saçılım grafiği (test).....	58
Şekil 4.44. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için Ölçüm ve ÇDR modeli dağılım grafiği (eğitim).....	61
Şekil 4.45 Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli saçılım grafiği (eğitim).....	61
Şekil 4.46. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için Ölçüm ve ÇDR modeli dağılım grafiği (test).....	62
Şekil 4.47. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli saçılım grafiği (test).....	62
Şekil 4.48. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli dağılım grafiği (eğitim).....	64
Şekil 4.49. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli saçılım grafiği (eğitim).....	65
Şekil 4.50. günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli dağılım grafiği (test).....	65
Şekil 4.51. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli saçılım grafiği (test).....	66
Şekil 4.52. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli dağılım grafiği (eğitim).....	67
Şekil 4.53. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (eğitim).....	67
Şekil 4.54. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli dağılım grafiği (test).....	68
Şekil 4.55. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (test).....	68
Şekil 4.56. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli dağılım grafiği (eğitim).....	69
Şekil 4.57. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli saçılım grafiği (eğitim).....	69
Şekil 4.58. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli dağılım grafiği (test).....	70

Şekil 4.59. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (test)	70
Şekil 4.60. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli dağılım grafiği (eğitim)	71
Şekil 4.61. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için Ölçüm ve ANFIS modeli saçılım grafiği (eğitim)	72
Şekil 4.62. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli dağılım grafiği (test)	72
Şekil 4.63. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli saçılım grafiği (test).....	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
ε	Hata
A	Regresyon katsayısı
B	Bias terimi
C_i	Çekirdek değeri
C_{sx}	Çarpıklık katsayısını
ÇD	Çok düşük
ÇY	Çok Yüksek
D	Düşük
EUW	Taban genişliği
f(u_i)	Aktivasyon fonksiyonunu
G_{EAAA}	Günlük en az anlık akım
G_{EÇAA}	Günlük en çok anlık akım
G_K	Günlük baraj hazne hacmi
G_Q	Zaman serisi yapılmış günlük baraj hazne hacmi
G_T	Günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı
G_X	Günlük buharlaşma miktarı
G_Y	Günlük yağış miktarı
G_Z	Günlük kullanılan su miktarı
K_A	Aylık su seviyesi
K_i	Anahtar değeri
n_u	Dik üçgen
O	Orta
Q_A	Zaman serisi yapılmış aylık su seviyesi
S_x	Standart sapma
T_A	Aylık göle gelen su miktarı
UW	Birim genişliği
X	Bağımsız değişkenlere
X_A	Aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı
X_{mak}	Maksimum ortalama değeri
X_{min}	Minimum ortalama değeri
X_R	Değişim aralığını
Y	Yüksek
Y_A	Aylık buharlaşma miktarı
Y_{OA}	Yıllık ortalama akım
Z	Bağımlı değişken
Z_A	Aylık içme su miktarı

Kısaltmalar**AGİ****ANFIS****BM****BULANIK SMRGT****ÇDR****DSİ****DVM****IDR****İBB****İSKİ****KOHK****MAE****M-BM****MOH****M5T****NN****QDR****R****R²****RMSE****YSA****Açıklamalar**

Akım Gözlem İstasyonu

Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım sistemi

Bulanık Mantık

Bulanık Basit Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kural

Oluşturma Tekniği

Çoklu Doğrusal Regresyon

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

Destek Vektör Makineleri

Interaction Çok Değişkenli regresyon

İstanbul Büyükşehir Belediyesi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi

Ortalama Karesel Hataların Karekökü

Ortalama Mutlak Hata

Mamdani-Bulanık Mantık

Ortalama Mutlak Hata

M5 Karar Ağacı

Sinir Ağı

Quadratic Çok Değişkenli Regresyon

Korelasyon Katsayısı

Determinasyon Katsayısı

Ortalama Hata Karelerinin Kökü

Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Suyun Önemi

Su halk sağlığını ve yaşam standardını büyük ölçüde etkilediği için canlıların yaşamını sürdürülebilirliği açısından hayati öneme sahiptir. En küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar, bütün biyolojik yaşamı ve bütün insan faaliyetlerini ayakta tutan temel maddelerden biridir. Su, insanın beslenme, solunum, dolaşım, boşaltım ve üreme gibi yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için gerekli olan çok önemli bir maddedir. Bununla birlikte, suyun dünya üzerindeki dağılımı değişkendir. Dünyamızın 2/3'ü su ile kaplıdır. Bu suyun yerkürede bulunan %97,5'i okyanuslardan bulunan tuzlu sulardan oluşmaktadır. Geriye kalan %2,5 oranındaki tatlı suyun büyük bir kısmı kutuplarda buzul ve çok derin jeolojik tabakalarda yeraltı suyu olarak bulunmaktadır. Ulaşabildiğimiz temiz su kaynakları göllerde, baraj rezervuarlarında, nehirlerde ve derelerde bulunmakta olup, bu miktar yerküredeki toplam tatlı su potansiyelinin %0.10'unu oluşturmaktadır. Günden güne artan insan nüfusu küresel tatlı su talebini de hızla arttırmaktadır. Bu nüfus artışı, zaman içinde oluşan iklim ve yaşam tarzında değişiklikler birçok ülkede yaygın su sıkıntısına yol açtığı ve açacağı gibi hayati önem taşıyan su kaynaklarımız verimli kullanılması üzerinde de baskıların uygulanmasını kaçınılmaz kılmıştır. Değişen bu şartlar dolayısı ile hem suyu koruyup efektif kullanmaya hem de değişen iklim şartlarından dolayı ondan korunmaya yönelik acil önlemler alınması gerektiği görülmektedir.

Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen su zengini sayılabilecek bir ülke değildir. Mevcut su kaynaklarının durumu, ülke nüfusunun büyüme hızı, küresel iklim değişikliği ve su kullanımını alışkanlıklarındaki değişme dikkate alındığında yakın bir gelecekte su kıtlığı kaçınılmaz olacaktır. Ancak ülkemizdeki bu koşullara rağmen su kaynaklarının verimli kullanıldığı söylenmez. Türkiye de tatlı su tüketiminin %73'ü tarım sektöründe, %11'i sanayi sektöründe ve %16 evsel su ihtiyacında kullanılmaktadır. Dünyada ise tatlı suyun %71 tarım, %18 sanayi ve %11 evsel olarak kullanılmaktadır. Türkiye ile dünyayı karşılaştırdığımız da su kaynaklarının ülkemizde verimsiz kullanımı evsel kullanımdaki rakamlar da net bir şekilde görülmektedir. Önümüzdeki yıllarda su ihtiyacı, kullanımı ve temini ile ilgili zorlukların çözümünün daha acil hale gelmesi ve bununla birlikte küresel ısınma ve beklenen iklim değişikliğinin olumsuz etkileri su kaynaklarının işletilmesi, kullanımı ve planlanmasının

önemliliğini günden güne arttırmaktadır. Bu planlamalar ülkemiz ve dünyanın gelecek nesillerine sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak dünyadan ve ülkemizde şehirleşme, sanayileşme, küresel iklim değişikliği artan nüfus ve kontrolsüz su kullanımı göz önüne alındığında, ihtiyaç duyulan su hacmi ile tüketilen su hacminin birbirini karşılayamayarak sürekliliğin günden güne bozulması su kaynaklarının planlanması ve işletilmesinin önemliliğini ön plana çıkarmaktadır. Bu sebeplerle son yapılan çalışmalarda su kaynaklarının planlanması, geliştirilmesi, kontrol edilmesi ve korunmasına yönelik çalışmalara büyük önem arz edilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında yapılan baraj haznesindeki su miktarının değişiminin tahmini çalışmaları, taşkınların düzenlenmesi, içme ve kullanma suyu temini, canlı hayatın korunması, enerji üretilmesi gibi birçok amaca hizmet eden barajların düzenlenmesi, su kaynaklarının geleceğine yönelik planlanma ve işletilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Barajlar

Baraj, bir akarsu vadisini kapatarak taşkınlardan koruma, enerji üretimi, sulama suyu sağlanması, içme ve kullanma suyu temini, canlı hayatının korunması gibi amaçlara yönelik yapılan su yapılarıdır. Barajlar büyüklüklerine göre, yapılış amaçlarına göre, gövde malzemesine göre ve gövdenin statik projelendirilmesine göre sınıflandırılmaktadır (Erkek ve Ağralıoğlu, 2010). Aşağıda Şekil. 1'de Alibey Barajının mansaptan genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Alibey Barajı mansaptan genel görünümü (Anonim 1, 2022)

Baraj planlama çalışmalarının önemli özelliklerinden biri de baraj yerinin seçimidir. Baraj yeri seçimi için önce akarsu vadisinde baraj yapımına uygun alanlar belirlenir. Sonrasında seçilen alanın uygunluğu ayrıntılı olarak incelenir, avantajları ve dezavantajları karşılaştırılarak baraj yeri belirlenir. Baraj yeri seçimine etki eden faktörler sırasıyla, baraj yerinin özellikleri, yağış havzasının özellikleri, göl bölgesinin özellikleri, çevre etkisi, istimlak ve alt yapı maliyeti ve baraj mansabının özellikleridir (Erkek ve Ağırlioğlu, 2010).

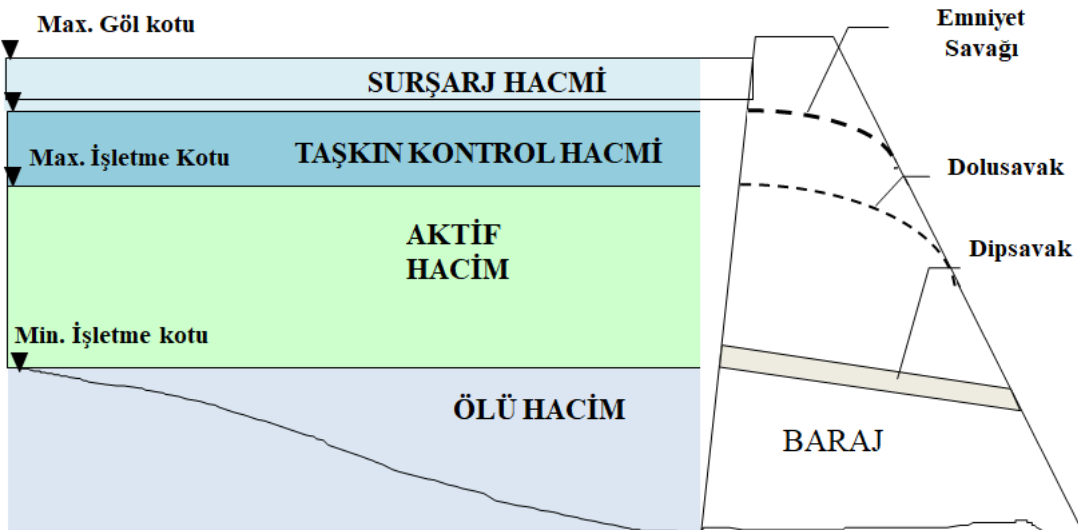
Bir akarsu vadisinde barajlar amaçlarına göre; içme suyu temini, sanayi suyu temini, sulama suyu temini, hidroelektrik enerji üretimi, taşkın kontrolü, akışın düzenlenmesi, katı madde kontrolü, suyun çevrilmesi, canlı hayatın korunması gibi birçok amaca hizmet için yapılan su yapılarıdır. Birçok amaca uygun olarak yapılan barajlar, bölgede ve çevresinde önemli değişimlere sebep olabilir. Bu değişimler; sosyal ve ekonomik etki, ekolojik etki, iklim etkisi, bitki örtüsü etkisi, balıkçılık, akarsu ulaşımına etkisi ve rekreasyon etkisi gibi değişimler gösterebilmektedir (Erkek ve Ağırlioğlu, 2010).

Akarsuların mevcut su potansiyellerinin zaman içindeki dağılımları, insanlar için gerekli olan su ihtiyaçlarının zaman içindeki dağılımlarına genellikle uymaz. Bu ihtiyaçların planlı gerçekleşmesi için baraj hazne planlaması yapılması gerekmektedir. Çünkü baraj hazneleri suyu depolama ve yükseltme işlevlerini yapmaktadır. Akarsularda su miktarı yağış ve iklim

değişikliğine göre değişim göstermektedir. İklim değişikliğinde yıllara göre farklılık göstermesi akarsularda kuraklık meydana gelebildiği gibi fazla yağışın taşkın oluşturarak çevreye zarar verebilmektedir. Son yıllarda küresel ısınmanın da etkisiyle akarsularda debiler çok fazla değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple baraj haznenin yapılış amacına göre, verimli şekilde kullanılması için baraj haznelerinin iyi işletilmesi ve hazne hacim değişimlerinin doğru tahmin edilmesi önem taşımaktadır (Gümüşcan, 2017).

Baraj haznesi: aktif hacim, ölü hacim, taşkın kontrol hacmi ve surşarj hacmi olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır. Aktif hacim: barajın yapılış amacına göre depolanacak suyun hacmi, ölü hacim ise Akarsu tabanı ile en düşük dip savak tabanı arasında kalan ve hiçbir zaman yer çekimi ile boşaltılamayan hacimdir. Taşkın kontrol hacmi, taşkın hidrografının baraja ve varsa, barajın mansabındaki yerleşim birimlerine ve arazilere zarar vermeden ötelenmesi için taşkın olmadığı durumlarda boş tutulan hacimdir. Surşarj hacmi ise katastrofal taşkınların baraja zarar vermeden mansaba aktarılması için bırakılan hacim. Baraj hazne kısımlarına Şekil 1.2’de yer verilmiştir.

Bu sayılan hacimler ayrı ayrı ihtiyaç ve koşullara göre belirlenerek barajın ihtiyaç duyulan hacmi ve yüksekliği belirlenir. Baraj hazne hacminin tahmin edilmesi ile ilgili çalışmalar, küreselleşme, hızlı nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme, iklim değişikliği suya ve enerjiye olan ihtiyacın günden güne artması gibi birçok sebeplerden dolayı su kaynakların planlaması, korunması ve işletilmesi bakımından oldukça önem teşkil etmektedir.



Şekil 1.2. Baraj hazne kısımları

Baraj seviye değişiminin ve hazne hacminin belirlenmesi için geçmişte çeşitli klasik yöntemler ve yapay zekâ yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan bazı klasik yöntemler; minimum akımlar yöntemi, ÇDR yöntemi, Goul'un Gama yöntemi, Otoresif (AR) model, McMahon Ampirik formülü, Aylık Su Bütçesi yöntemi, Mass Eğrileri yöntemi (Ripple diyagramı, Toplam gidiş çizgisi), Ardışık Pik Algoritması, debi gidiş çizgisi ve sentetik veri kullanımını gibi yöntemlerdir. Günümüzde yapay zekâ tekniklerinden ANFIS yöntemi, IDR, QDR, PQDR, Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemi, Rastgele Orman Regresyon yöntemi, Aşırı Öğrenme Makinesi regresyonu, Lojistik Regresyon yöntemi, YSA yöntemi ve BM gibi yapay zekâ tekniklerine dayalı yöntemlerde kullanılmaktadır.

Sunulan bu tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır:

İlk aşamada Alibey Barajı'nın su seviye değişimlerini belirlemek için, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden (DSİ) 1989-2020 yıllarına ait 31 yıllık, aylık 381 adet ölçüm verileri temin edilmiştir. Aylık su seviyesi (K_A) tahmini için; aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verilerininin 285 si eğitim 96 test olarak ayrılmıştır. Daha sonra ÇDR, IDR, QDR, PQDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT yöntemleri ile her bir yöntem için modeller oluşturulmuştur. Model karşılaştırılmalarında istatistik ölçüt olarak R, RMSE ve MAE kullanılmıştır. Aylık model karşılaştırılmalarında modeller oldukça birbirlerine yakın sonuç verdiği gözlenmiştir. Bulanık SMRGT yönteminin diğerlerine göre az da olsa iyi sonuç verdiği görülmüştür.

İkinci aşamada ise Alibey Barajı'nın baraj hazne hacmi değişimlerini belirlemek için İstanbul Büyükşehir Belediyesinden (İBB) 2015-2020 yıllarına ait 6 yıllık, 2190 günlük ölçüm verileri temin edilmiştir. Günlük baraj hazne hacmi (G_K) tahmini için; günlük buharlaşma miktarı (G_X), günlük yağış miktarı (G_Y), günlük kullanılan su miktarı (G_Z), günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı (G_T) ve bir gün önceki baraj hazne hacmi (G_Q) ölçüm verilerininin 1643 eğitim 547 test olarak ayrılmıştır. Daha sonra ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT yöntemleri ile her bir yöntem için modeller oluşturulmuştur. Model karşılaştırılmalarında istatistik ölçüt olarak R, RMSE ve MAE kullanılmıştır. Günlük model karşılaştırılmalarında modeller oldukça birbirlerine yakın sonuç verdiği gözlenmiştir. İstanbul için konumu ve içme suyu temini bakımından önemli olan Alibey Barajı'nın su seviye değişimi ve baraj hazne hacmine bu tez çalışmasında yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Baraj haznesindeki su seviye ve hacminin belirlenmesi, suluma, enerji üretimi içme suyu temin, drenaj, taşkın çalışmaları, su yapılarının tasarımı ve inşa edilmesi, baraj haznesinin yönetimi açısından önemlidir.

Küresel ısınmanın artması ile yeryüzündeki suyun önemi günden güne artmıştır. Bu durum suyun planlanması ve dolayısı ile baraj haznelerindeki su hacminin doğru şekilde ve zamanda işletilmesini önemli kılmaktadır. Aksi takdirde gelecekte su kaynaklı problemler kaçınılmaz olacaktır. Bu sebepler ile su yapıları ve özellikle baraj hazne yönetimi için su kaynaklarını etkileyen parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesi gereklidir.

Su kaynaklarının planlanması, projelendirilmesi, işletilmesi ve güvenliği için hidrolojik gözlemlere gerek duyarız. Hidrolojik gözlemlerin ölçüm ve deneyler yapılması oldukça maliyetli ve verilerin elde edilmesi zaman alıcıdır. Bu sebeplerden dolayı günümüzde bu verilerin standartlara uygun şekilde ölçülebilmesi zorlaşmaktadır. Bu yüzden ölçümü yapılamayan, eksik olan veya yanlış ölçülen veriler için istatistiksel metotlara ve yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmamızda baraj su seviyesi ve hazne hacmi tahmini Bulanık SMRGT modeli kullanılmıştır. Yapay zekâ tekniklerinden biri olan Bulanık SMRGT modeli su bilimi ile uğraşan mühendislik çalışmalarında sık kullanılmaktadır. Su seviyesinin belirlenmesi, hazne işletme çalışmaları, yağış akış modellemesi, sediment tahmini, yağış tahminleri, buharlaşma, enerji üretimi ve ulaşım gibi birçok alanda çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir.

Baraj hazne hacmini ile ilgili ilk çalışma Ripple (1883) ve Sudler (1927) tarafından yapılmıştır. Günümüzde baraj hazne ve işletilmesi ile ilgili çalışmalarda klasik, geleneksel ve yapay zekâ yöntemleri kullanılmaktadır.

Halden ve Özkul (2004), yaptıkları çalışmada Yiğitler alt havzası uygulama alanı seçerek Kritik dönem yöntemleri ile hazne hacmi tahminleri yapmışlardır. Bu çalışmada 1976-1994 yıllarına arasında ölçülen aylık su verilerini kullanmışlardır. Alexander, Dinçer, Gould Gama, eklenik akımlar, minimum akım, ardışık tepeler, aylık su bütçesi modelleri ile hazne hacmi tahmin etmişlerdir.

Kılınç (2004), yüksek lisans tezinde İstanbul'daki Yeşilçay sistemine ait olan Sungur, İsaköy ve Kabakoz Barajlarının baraj hazne işletilmesini yapay sinir ağları ile tahmin modelleri oluşturmuştur. Kılınç bu çalışmada her üç baraj için 1960-2000 yıllarına ait aylık buharlaşma miktarı, ay sonu hacimleri ve aylık giren akımları kullanarak modellenme ve karşılaştırma yapmıştır.

Üneş, Yıldırım, Cizgioglu ve Coşkun (2013) Gaziantep'in İslahiye ilçesinde bulunan Tahtaköprü Barajı'nın rezervuar hacmini tahmin etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada Tahtaköprü Barajına ait aylık yağış, aylık toplam buharlaşma hacmi, baraj dolusavak deşarj hacmi, salınan sulama suyu miktarı ve periyodiklik parametrelerini kullanmışlardır. Tahtaköprü Barajı için 29 yıllık aylık verilerine göre ÇDR, YSA, ANFIS ve DVM yöntemleri ile modeller oluşturmuşlardır. Oluşturulan YSA, ANFIS ve DVM modellerini ÇDR modeline göre karşılaştırmışlar. Model karşılaştırmalarında yüksek korelasyon değerini tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak Yapay zekâ yöntemlerinin klasik yöntemlere göre daha başarılı sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Almeida, Figueiredo ve Oliveira (2016) yaptıkları çalışmada Brezilya'nın Minas Gerais kentinde bulunan Itacarambi Nehri Barajının rezervuar hacmi ve sedimantasyon tahminleri yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada Itacarambi nehri üzerindeki baraj rezervuarının tabanındaki sürekli düzensizlikler olduğunu ve yıllar içinde siltleşmenin bir yansıması olabilecek batık kum setleri oluşturduğunu göstermişlerdir.

Üneş, Gümüşcan ve Demirci (2017) Hatay ili Altınözü ilçesine ait Yarseli Barajının rezervuar hacim değişimini tahmin etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada Yarseli Barajına ait aylık yağış, toplam buharlaşma hacmi, baraj deşarj hacmi ve salınan sulama suyu miktarı verileri ile aylık rezervuar hacmini, ANFIS ve ÇDR modeliyle karşılaştırmışlardır. Sonuçları karşılaştırdıklarında bulanık mantık modelinin geleneksel yöntemlere göre daha yüksek korelasyon katsayısı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Gümüşcan (2017) yüksek lisans tezinde Yarseli Barajının hazne hacmini klasik yöntemler ve bulanık mantık yöntemleri ile modeller oluşturularak tahmin etmiştir. Çalışmada Hatay'ın Altınözü ilçesinde bulunan Yarseli barajı ait 12 yıllık veri kullanmıştır. Baraj hazne hacmi tahmini için günlük buharlaşma, yağış miktarı, sulama suyu sarfiyatı, göle gelen su miktarı ve

dereye bırakılan su miktarı parametrelerini kullanmıştır. Gümüşcan toplam 4019 günlük verinin 3015 eğitim verisi olarak 1004 ise test verisi olarak değerlendirmiştir. Yapay zekâ tekniklerinden BM yönteminin klasik yöntemlerine göre yüksek korelasyona sahip sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Küçükerdem, Kilit ve Saphioğlu (2018) yaptıkları çalışmada Afyonkarahisar Kestel Barajına ait 1986-2008 yıllarındaki verileri kullanarak Kestel Barajının hacmini yapay zekâ tekniklerinden biri olan ANFIS ile tahmin etmişlerdir. Girdi verileri olarak hazneye giren ve çıkan hacimler, buharlaşma miktarı ve önceki aylara ait hacimler kullanmışlardır. ANFIS yönteminde girdiler için kullanılan küme sayıları ise K-ortalamlar yöntemi ile elde etmişlerdir. Sonuç olarak ANFIS modelinin düşük hata yüzdesine sahip sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Parada, Font ve Casas (2019) yılında yaptıkları çalışmada göldeki su seviye değişimini tahmin etmeye çalışmışlardır. İspanya'daki Katalonya özerk bölgesinde bulunan Katalan Baraj Gölü'nü çalışmışlardır. Bu çalışmada Destek Vektör Makinesi ile klasik yöntemleri kullanmışlardır. Sonuç olarak DVM yönteminin başarılı sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Damla, Temiz ve Keskin (2020) yılında yaptıkları çalışmada Yalova'daki Gökçe Barajının rezervuardaki su seviyesini tahmin etmeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada Gökçe Barajının 2000-2019 yıllarına ait Sellimandıra deresinin yağış, akış debisi, baraj su tahliyesi, buharlaşma, sızıntı suyu miktarı ile baraj su seviyesini YSA modeli ile tahmin etmişlerdir. YSA modelinin belirleme katsayısını (R^2) 0,94 bulmuşlardır. Sonuç olarak su seviyesinin tahmininde YSA modeli başarılı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Üneş, Demirci, Zelenakova, Çalışıcı, Taşar ve Kaya (2020) çalışmasında ABD' de Sterling bölgesindeki Stilwater Nehrine ait günlük yağış, nehir akışı ve su sıcaklığı verilerini kullanmışlardır. Çalışmada ÇDR, Mamdani-Bulanık Mantık (M-BM), YSA, ANFIS, M5T ve Bulanık SMRGT yöntemleri kullanmışlardır. Bulanık SMRGT tahmin modelinin diğer modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Cansız, Erginer, Üneş ve Taşar (2021) yılında ABD'de ulaşım sektöründeki büyük öneme sahip olan enerji tüketimini çalışmışlardır. Enerji tüketimi tahmini için YSA, Bulanık SMRGT, ANFIS, ÇDR, IDR, QDR ve PQDR yöntemlerini kullanmışlardır. Yapay zekâ yöntemleri ile

klasik yöntemleri karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak Bulanık SMRGT ve ANFIS modelinin diğer yöntemlere göre daha başarılı performans verdiğini gözlemlemişlerdir.

Dayan, Demirci, Üneş ve Taşar (2021) yılında yaptıkları çalışmada nehirlerdeki katı madde miktarını bulanık SMRGT yöntemi ile tahmin etmeye çalışmışlardır. ABD’de bulunan Catonsville yakınındaki Patapsco Nehrinin katı maddesini tahmin etmişlerdir. Bu çalışmada ÇDR ile Bulanık SMRGT yöntemlerini kullanmışlardır. Gözlemedikleri sonuçlarda Bulanık SMRGT tahmin modelinin klasik yöntem tahmin modeli ÇDR göre daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Geetha ve Shanthi (2021) yaptıkları çalışmada baraj rezervuar seviyesini tahmin etmeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada baraj rezervuar tahmini için DRFL Algoritması ve YSA yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak YSA yönteminin başarılı sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Ghose, Sahoo ve Samantaray (2021) yılında yaptıkları çalışmada yapay zekâ yöntemleri kullanarak Barak Nehri’ndeki sel tahmini yapmışlardır. Bu çalışma için Hindistan’ın Assam eyaletinin Cachar ilçesinde bulunan Silchar ve Dholai istasyonlarının aylık nehir akış verilerini kullanmışlardır. YSA, RBFNN ve DVM yöntemleri modeller oluşturmuşlardır. DVM modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Larrea, Rios ve Parra (2021) yaptıkları çalışmada Kuzey Ekvator’daki And bölgesindeki Salve Faccha Barajının su seviyesini tahmin etmişlerdir. Sinir ağı modelleri (NN) ve ANFIS modelleri oluşturmuşlardır. Gözlemedikleri sonuçlarda ve NN modellerin su seviyesi için kullanılabilir bir yöntem ortaya koymuşlardır.

Monterola, Ibanez, Dajac, Liponhay ve Esteban (2022) yaptıkları çalışmada Filipinler’deki Angat Barajının su seviyesini tahmin etmeye çalışmışlardır. Angat Barajının su seviyesinin tahmini için Otoresif Bütünleşik Hareketli Ortalama yöntemi, Gradyan Artırma Makineleri yöntemi, Uzun Kısa Süreli Bellek Tabanlı modeli ve Derin Sinir Ağı yöntemi ile modeller oluşturmuşlardır. Sonuç olarak bu yöntemlerin su seviyesi tahmini için kullanılabilir olduğu gözlemlemişlerdir.

Ziggah, Issaka ve Laari (2022), yılında yaptıkları çalışmada Gana’da bulunan ağırlık barajın

piyezometrik su seviyesini tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri, Grup Veri İşleme Yöntemi, M5 Asal Karar Ağacı Yöntemi, Gauss Süreç Regresyon Yöntemi, Geri Yayılım Sinir Ağı, Destek Vektör Makinesi ve Radyal Tabanlı İşlev Sinir Ağı Yöntemleri ile modeller oluşturmuşlardır. Sonuç olarak yapay zekâ tekniklerinin baraj piyezometrik su seviyesi tahmini için güvenilir sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Sunulan bu tez ile ilgili olarak Er, Üneş ve Taşar (2022) ÇDR, YSA ve Bulanık SMRGT yöntemleri kullanarak İstanbul'daki Alibey Barajının seviye değişimlerini çalışmışlardır. Yaptıkları çalışma da Alibey barajın 31 yıllık aylık ölçüm verilerini kullanarak su seviyesini tahmin etmişlerdir. Gözlemedikleri sonuçlarda Bulanık SMRGT yönteminin, YSA ve ÇDR yöntemlerinde daha başarılı sonuçlar vermiştir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Bu tez çalışmasında İstanbul ili Sultangazi ilçesinde bulunan Alibey Barajının su seviyesi ve baraj hazne hacmi ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT modelleri ile incelemiştir. Alibey Barajının coğrafi konumu $41^{\circ} 6' 11''$ Kuzey ile $28^{\circ} 55' 12''$ Doğu GPS koordinatlarıdır. Alibey Barajı, 1968 yılında inşaatına başlanmış 1983 yılında yapımı tamamlanmıştır. 1972 yılında geçici önlemlerle işletmeye açılmış ve baraj gövdesi inşa edilirken İstanbul şehrinin su ihtiyacını karşılamaya çalışmıştır. Alibey Barajı, Alibeyköy Deresi veya Mağlova Deresi şeklinde anılmaktadır. İçme suyu, sanayi suyu temini ve taşkın kontrolü amacıyla inşa edilmiştir. Şekil 3.1'de ve Şekil 3.2'de Alibey Barajı genel görünümü, Şekil 3.3'te Alibey Barajını üstünde bulunan Mağlova Su Kemerine yer verilmiştir. Şekil 3.4'de Alibey Barajının lokasyonu gösterilmiştir. Çizelge 3.1'de Alibey Barajının karakteristik özelliklerine yer verilmiştir.



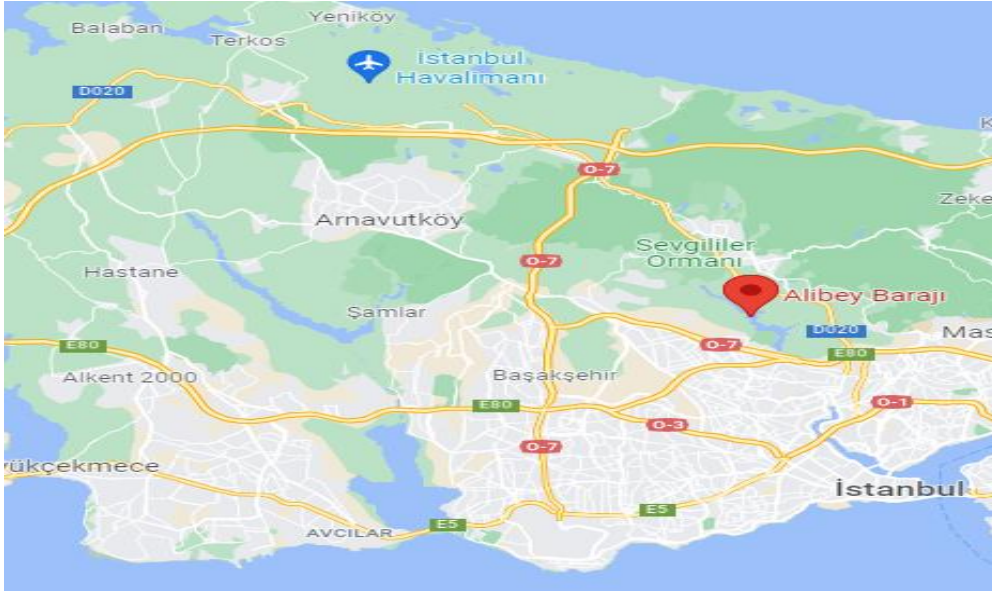
Şekil 3.1. Alibey Barajı görünüm 01/2022 (Anonim 2)



Şekil 3.2. Alibey Barajı Görünüm 01/2022 (Anonim 2)



Şekil 3.3. Alibey Barajı üzerinde bulunan Mağlova Su Kemerine (Anonim 2)



Şekil 3.4. Alibey Barajı lokasyonu (Anonim 3, 2021)

Çizelge 3.1. Alibey Barajı karakteristik özellikleri (Anonim 4)

Alibey Barajı Karakteristik Özellikleri	
Yeri	İstanbul
Nehir	Alibey Deresi
Amaç	İçme suyu ve taşkın kontrolü
Drenaj Alanı	160km ²
Rezervuar Alanı	4,75km ²
Toplam Rezervuar Hacmi	65000hm ³
Aktif Akım Hacmi	34000hm ³
Baraj Tipi	Toprak Dolgu
Gövde Hacmi	1927 10 ³ m ³
Kret Kotu	34m
Kret Uzunluğu	304m
Temel Yüksekliği	30m
Talvegden Yüksekliği	304m
Normal Su Seviyesi	26m
Dolu Savak Tipi	Karşıdan alışı radyal kapaklı
Dolu Savak Kapak Sayısı	2
Dolu Savak Deşarj Kapasitesi	1000m ³ /sn
Yıllık İçme Suyu Faydası	33hm ³

ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT modelleri için ilk aşamada Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından ölçülmüş, Alibey Barajına ait 1989-2020 yılları arasındaki aylık veriler kullanılmıştır. Baraj su seviye değişimi (K_A) tahmini için Alibey Barajına ait aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. İkinci aşamada ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından ölçülmüş, Alibey Barajına ait 2015 ve 2020 yılları arasındaki günlük veriler kullanılmıştır. Baraj hazne hacmi (G_K) tahmini için Alibey Barajına ait günlük yağış yüksekliği (G_X), günlük buharlaşma miktarı (G_Y), günlük kullanılan su miktarı (G_Z), günlük Terkos Barajından Alibey Barajına aktarılan su miktarı (G_T) ve bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi (G_Q) ölçüm verileri kullanılmıştır. Alibey barajına ait su seviye değişimi ve hazne hacminin tahmininde ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT modelleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerle ilgili temel bilgiler aşağıda sırayla verilmiştir.

3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) Yöntemi

ÇDR yöntemi, bağımlı değişkenle bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ifade etmek için kullanılan klasik yöntemdir. Oldukça sık başvurulan yöntemdir. Bağımsız değişkenlere X , bağımlı değişkene Z , regresyon katsayısına A ve hatayı da ε diyecek olursak aşağıdaki gösterilen şekilde formülize edilebilir.

$$Z = A_0 + A_1 * X_1 + A_2 * X_2 \dots + A_i * X_i + \varepsilon \quad (1)$$

3.3. Çok Değişkenli Regresyon Yöntemi

Çok değişkenli regresyon yöntemlerinde bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi regresyon katsayıları ile ifade edilir. Regresyon denklemindeki bu katsayılar, bağımsız değişkenin bağımlı değişkene bağımlılık derecesini ifade eder (Erginer, 2018). Çok değişkenli regresyon yöntemi ile Interaction çok değişkenli regresyon, Pure-Quadratic çok değişkenli regresyon ve Quadratic çok değişkenli regresyon modeller oluşturulmaktadır.

3.3.1 Interaction Çok Değişkenli Regresyon (IDR) Yöntemi

Interaction çok değişkenli regresyon sonuç modeli sabit, doğrusal ve etkileşim terimlerini içerir Interaction çok değişkenli regresyon yönteminin genel denklemi Denklem 2 de verilmiştir.

$$Z_i = (A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n + A_{n+1} * X_1 * X_2 + \dots) + \varepsilon_i \quad (2)$$

Denklem 2’de “X” bağımsız değişkeni, “Z” bağımlı değişkeni, “A” regresyon katsayıları ve “ε” hata bileşenini ifade etmektedir (Erginer, 2018).

3.3.2 Quadratic Çok Değişkenli Regresyon (QDR) Yöntemi

Quadratic çok değişkenli regresyon modeli sabit, doğrusal, etkileşimli ve kareli terimleri içerir Quadratic çok değişkenli regresyon yönteminin genel formu Denklem 3'te verilmiştir.

$$Z_i = (A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n + A_{n+1}X_1^2 + A_{n+2}X_2^2 + \dots + A_mX_n^2) + \varepsilon_i \quad (3)$$

Denklem 3’te “X” bağımsız değişkeni, “Z” bağımlı değişkeni, “A” regresyon katsayıları ve “ε” hata bileşenini ifade etmektedir (Erginer, 2018).

3.3.3 Pure-Quadratic Çok Değişkenli Regresyon (PQDR) Yöntemi

Pure-Quadratic çok değişkenli regresyon modeli sabit, doğrusal ve kare terimlerini içerir Pure-Quadratic çok değişkenli regresyon yönteminin genel formülü Denklem 4’te gösterilmiştir.

$$Z_i = (A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n + A_{n+1} * X_1 * X_2 + A_{n+1}X_1^2 + A_{n+2}X_2^2 + A_mX_n^2) + \varepsilon_i \quad (4)$$

Denklem 4’te “X” bağımsız değişkeni, “Z” bağımlı değişkeni, “A” regresyon katsayıları ve “ε” hata bileşenini ifade etmektedir (Erginer, 2018).

3.4. Bulanık Mantık (BM) Yöntemi

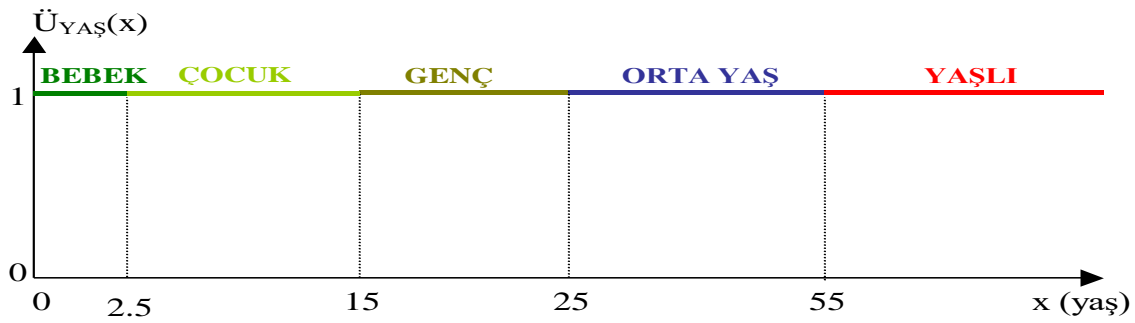
3.4.1. Bulanık Mantık

Aristo tarafından temelleri atılan mantık kesinlik içerir. Aristo’ya göre sonuçlar ya 0 ya da 1’dir.

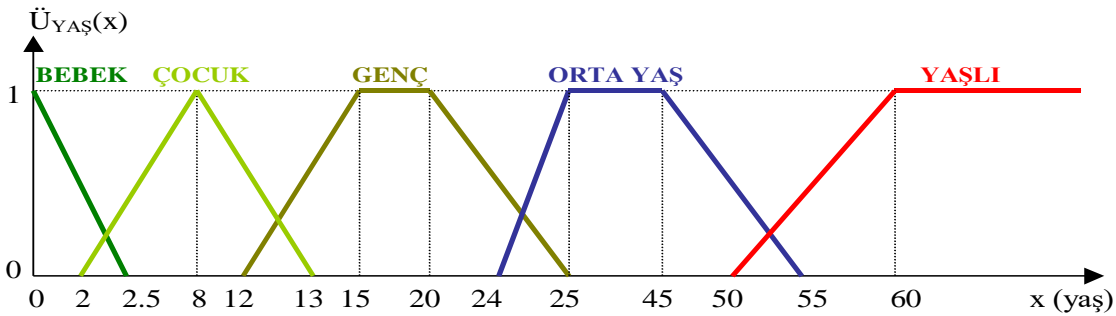
Örneğin hava durumu bu mantığa göre ya sıcaktır ya da soğuktur. Günlük yaşamımızda ise hava ılık, serin, biraz sıcak ve benzeri kesin olmayan terimlerle ifade edilebilmektedir. Bu da Aristo mantığının gündelik yaşamdan ve olayların fizikine inmekten uzaklaştırmaktadır. Gündelik hayatta olayları incelerken Aristo mantığının uzak kalması insanları yeni arayışlarla yönlendirmiş ve uzun uğraşlar sonunda yalnızca sıcak veya soğuk yerine ılık gibi terimleri ifade edilebilen BM kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram ilk olarak Lotfi A. Zadeh (1965) tarafından bahsedilmiştir. Zadeh 'in belirsizlik kavramını değerlendirilmesi bilim dünyasında önemli bir konum kabul edilmektedir. 1970'li ve 1980'li yıllarda yapılan çalışmalarda bulanık mantığı uygulanabilirliği çalışmalarla ispatlanmıştır.

3.4.2. Bulanıklık Kavramı

Bulanıklık kavramı aşağıda Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilen grafiklerde yaş grupları terimleri ile şu şekilde ifade edilebilir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'de gösterildiği gibi klasik mantığa göre verilen yaşların üyelik fonksiyonları 2,5-15 yaş aralığı çocuk iken bulanık mantık kavramına göre 2-13 yaş aralığı çocuk sayılmıştır. Klasik mantığa göre bir insan 2,5 yaşında hemen çocuk kavramına faaliyetlerine adapte olması imkânsız olması bulanık mantık da ise bir kişi 2-2,5 arası hem çocuk hem bebek olarak sınıflandırılması belirsizlikleri gidermede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.5. Klasik küme yaş aralığı (Toprak, 2004)



Şekil 3.6. Bulanık küme yaş aralığı (Toprak, 2004)

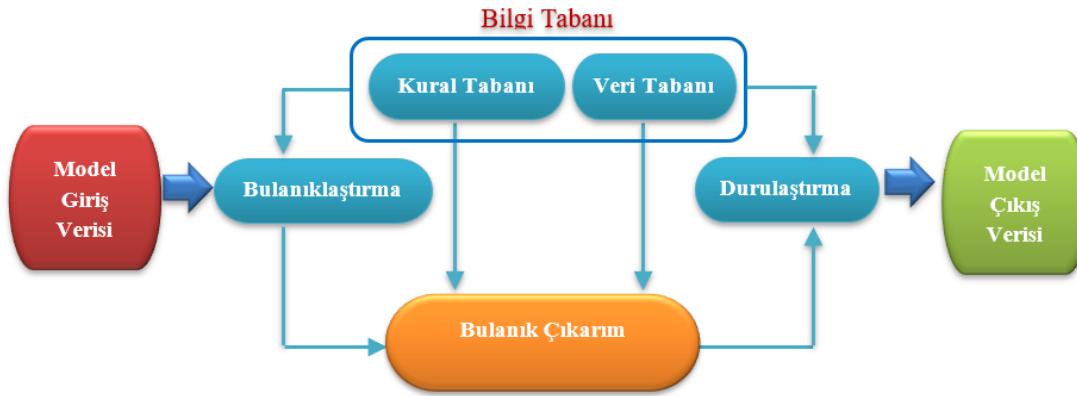
3.4.3. Bulanık Mantığın Fayda ve Mahzurları

BM elektronik, kontrol sistemleri, kalp pillerinin üretimi, yaşlı hastalarda acil durum tespiti, görüntüleme, seste, ev aletleri, aydınlatmada, uzay ve havacılık sektörü, inşaat mühendisliğinde, aklımıza gelebilecek her alanda kullanılmaktadır. BM, YSA gibi diğer istatistiksel yöntemler gibi fiziksel temellerden yoksun değildir. Olayların fiziksel nedenleri uzmanlar tarafından üyelik fonksiyonu ve kuralların atanmasını modele yansıtabilmektedir. Yani eldeki verileri taklit etme (tekrarlama) gibi özelliği yoktur. Bulanık mantık çözümleri zor olan matematik denklemleri içermeye gerek olmadığı için problemin çözümünde büyük faydalar sağlamaktadır.

Bulanık Mantığın faydaları olduğu gibi birkaç mahzurları vardır. Bunlardan birincisi BM klasik mantığa göre daha güvenilir ölçüm yöntemlerine sahip değildir. Uygulamalarında sağlık verilerin yanında uzman görüşü oldukça büyük önem arz etmektedir. Geçmiş yıllara göre biraz daha gelişmiş olsa bile üyelik fonksiyonların belirlenmesi, kuralların ataması deneme yanılma sisteminden tam olarak kurtarılmış değildir. Bu da problem çözmek için oldukça uzun zaman alıyor.

3.4.4. Bulanık Sistemler

Bulanık mantık sistemi; model girdisi, kural tabanı, veri tabanı, bulanıklaştırma birimi, bulanık çıkarım birimi, durulaştırma birimi ve model çıktısı bölümlerinden oluşmaktadır. (Jang, 1997). Şekil 3.7’de bulanık mantık akış şeması aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Bulanık mantık akış şeması (Üneş, 2020)

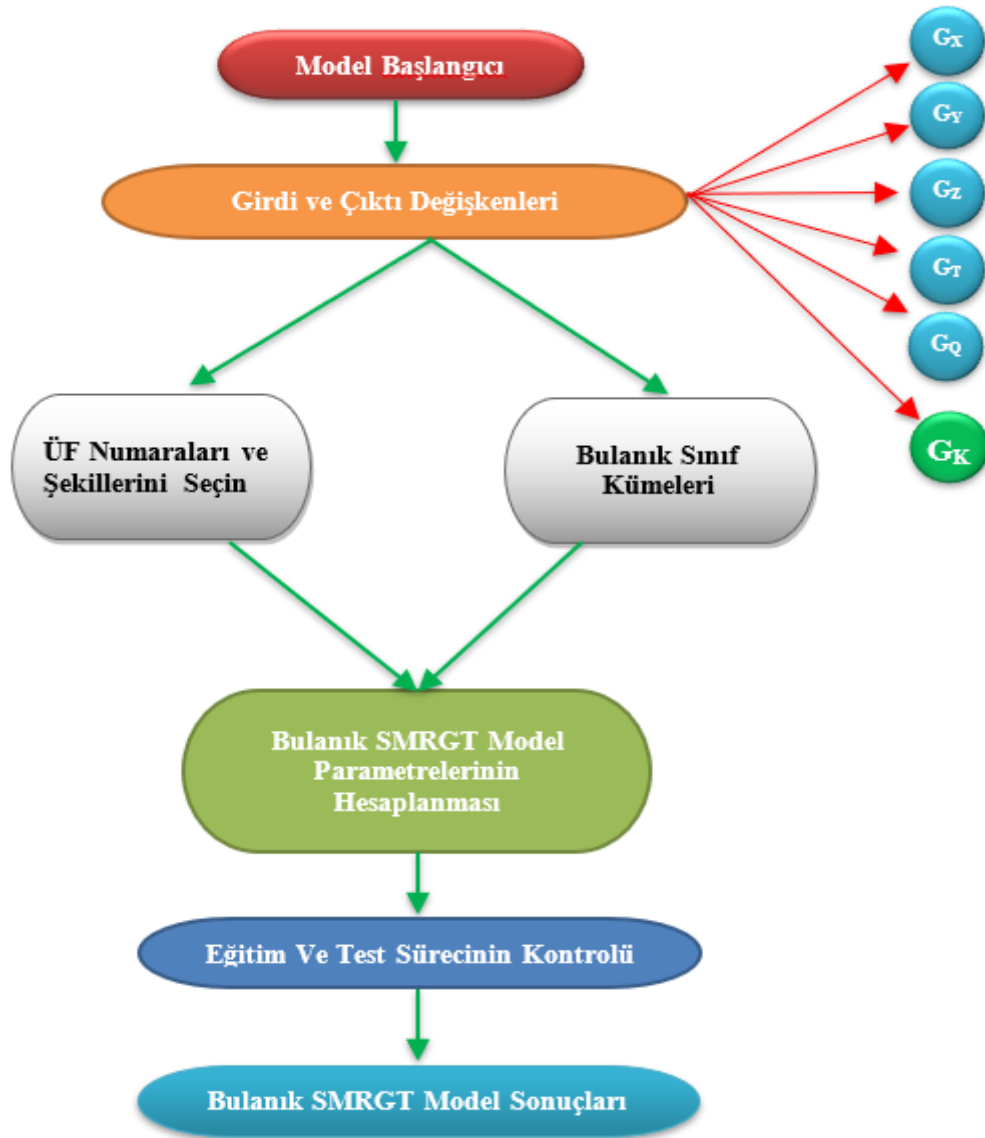
Model girdisi, incelenecek olay değişkenlerine ait bilgileri içerir. Bu bilgiler sayısal veya sözel olabilmektedir. Bulanıklaştırma birimi ise model girdilerinin bulanık çıkarım mekanizmasında işlenebilmesi için gerekli işlemlerin yapıldığı birimdir. Bulanık kural taban birimi ise veri tabanındaki model girdileri ve çıktı değişkenlerini bağlayan EĞER-İSE ifadesi şeklinde yazılabilen kuralların oluşturulduğu birimdir. Bulanık çıkarım mekanizması ise her kuralı bir araya toplayarak sistemin tek çıkışlı olmasını sağlayan birimdir. Durulaştırma birimi, model çıktı değerlerinin model girdisine uygun dönüştürüldüğü birimdir. Model çıktı, bulanık mantığın probleme getirdiği çözümdür (Uygunoğlu ve Ünal, 2005).

3.4.5 Bulanık SMRGT

Bulanık SMRGT yöntemi ilk kez Toprak (2009) tarafından sunulmuştur. Yöntem, üyelik fonksiyonlarının (üçgen/trapez) ve bulanık kuralların belirlenmesinde sadece (Ağırlık Merkezi) durulaştırma yöntemi ile birlikte kullanılabilir. Literatürde Bulanık SMRGT yöntemi ilgili birçok çalışma yer almaktadır (Toprak, 2013; Toprak, 2015; Toprak, 2018).

Bulanık SMRGT yöntemi şu şekilde açıklanabilir: Bulanık SMRGT yönteminde: İlk olarak bağımlı ve bağımsız değişkenler seçilir. Daha sonra her bir değişken için maks ve min değerleri belirlenir. Sonra üyelik fonksiyonlarının şekli ve bulanık alt küme sayısı belirlenir. Daha sonra belirlenen bu üyelik fonksiyonlarının merkezi, genişliği ve anahtar değerleri (girdiler) belirlenir. Sonra ise çıktıların anahtar değerleri ve bulanık kurallar olduğu tablo oluşturulur. Son aşamada ise çıktıların üyelik fonksiyonları oluşturulur (Toprak, 2013).

Bu tez çalışmasında ilk aşamada su seviye değişimi için bağımsız değişkenler (X_A , Y_A , Z_A , T_A ve Q_A) ve bağımlı değişkenler (K_A), ikinci aşamada ise baraj hazne hacmi için bağımsız değişkenler (G_X , G_Y , G_Z , G_T , G_Q) ve bağımlı değişken (G_K) ile Bulanık SMRGT modelleri oluşturulmuştur. Şekil 3,8’de Bulanık SMRGT modelinin akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Bulanık SMRGT akış diyagramı

Bulanık SMRGT yönteminde bağımlı ve bağımsız değişkenler için maksimum ve minimum değerler belirlendikten sonra üyelik fonksiyon sayısı ve şekli belirlenir. Üyelik fonksiyonların şeklini ve yapısını oluşturmak için kullanılan parametreler aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$X_R = X_{max} - X_{min} \quad (5)$$

$$UW = \frac{X_R}{n_u} \quad (6)$$

$$EUW = \frac{X_R}{n_u} + A \quad (7)$$

$$A = \frac{UW}{2} \quad (8)$$

$$K_1 = X_{min} + \frac{EUW}{3} \quad (9)$$

$$K_2 = X_{max} - \frac{EUW}{3} \quad (10)$$

$$C_i = \frac{X_R}{2} + X_{min} \quad (11)$$

$$C_{i-1} = \left(\frac{C_i - X_{min}}{2} \right) + X_{min} \quad (12)$$

$$C_{i+1} = X_{max} - \left(\frac{X_{max} - C_i}{2} \right) \quad (13)$$

Bu formüllerde birim genişliği (UW), çekirdek değeri (C_i), anahtar değerleri (K_i), değişim aralığını (X_R), taban genişliğini (EUW) ve n_u dik üçgen sayısını ifade etmektedir.

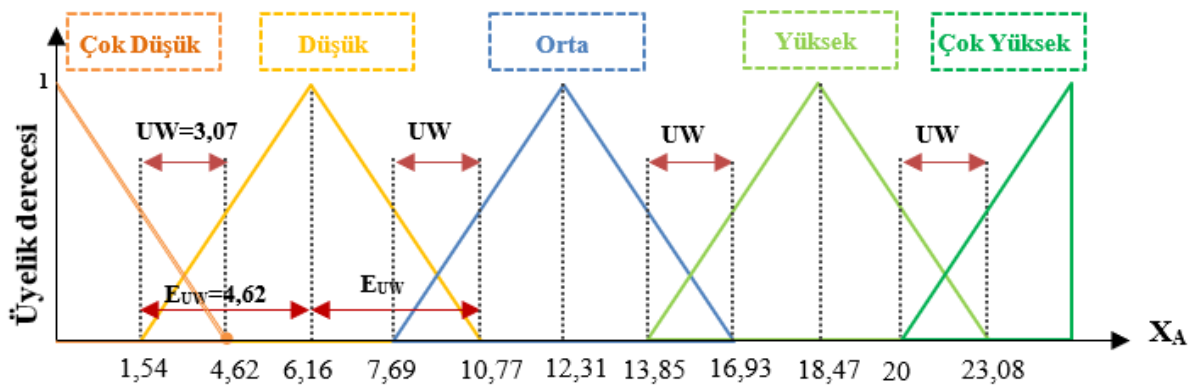
Yukarıdaki formüllere göre belirlenen Bulanık SMRGT modelinin ilk aşamada aylık su seviye değişimi için oluşturulan üyelik fonksiyonları değeri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2'de verilen aylık su seviyesi değişimine ait her bir değişken için ayrı ayrı bu üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Her bir üyelik fonksiyonu için 8 adet dik üçgen kullanılmıştır. X_A , Y_A , Z_A , T_A ve Q_A bağımsız değişkenlerinin üyelik fonksiyonları çok düşük (ÇD), düşük (D), orta(O), yüksek (Y) ve çok yüksek (ÇY) olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.9'da aylık barajdan deşarj yapılan su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri, Şekil 3.10'da aylık buharlaşma miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri, Şekil 3.11'de aylık içme suyu miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri, Şekil 3.12'de aylık göle gelen su suyu miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri ve Şekil 3.13'te aylık su seviyesi miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri

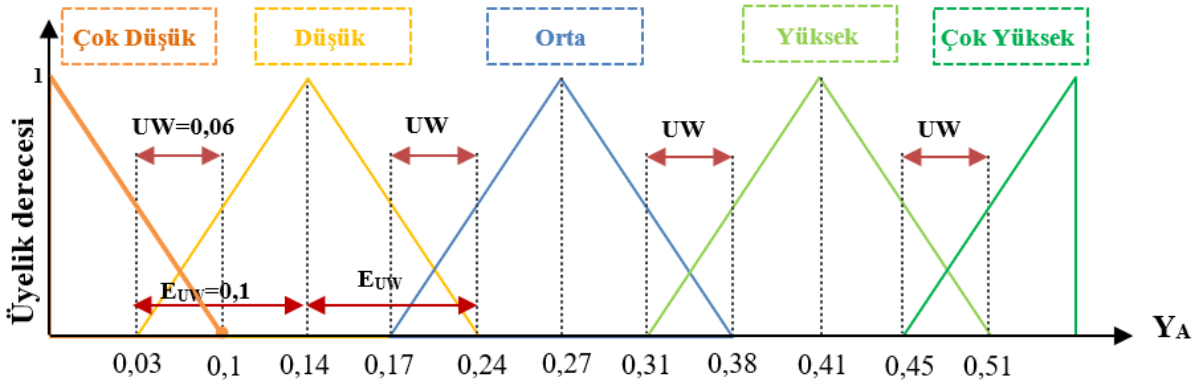
gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Bulanık SMRGT yöntemine ait aylık su seviyesi değişimi sınır değerleri

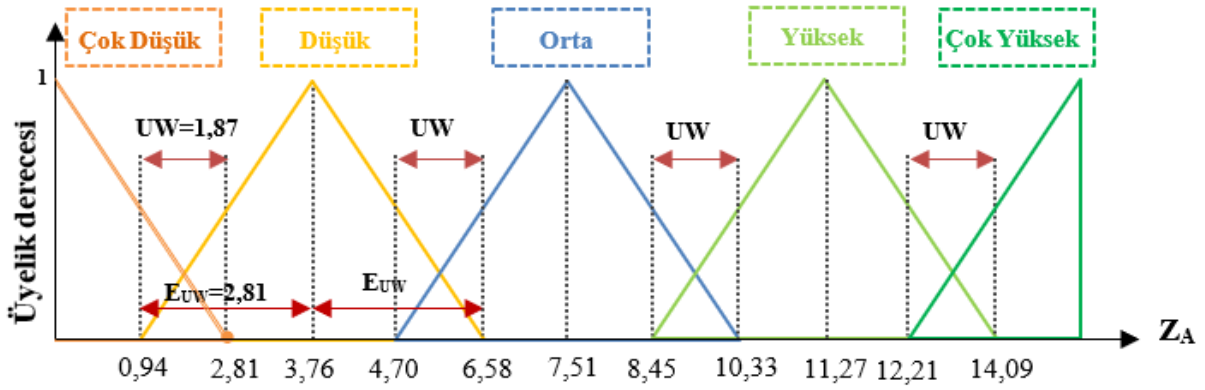
	X_A	Y_A	Z_A	T_A	Q_A
N_u	8	8	8	8	8
V_{max}	24,62	0,54	15,02	40,01	26,77
V_{min}	0	0	0	0	10,09
$V_r = V_{max} - V_{min}$	24,62	0,54	15,02	40,01	16,68
U_w	3,07	0,06	1,87	5	2,08
E_{uw}	4,62	0,10	2,81	7,5	3,13
K_1	1,54	0,03	0,94	2,50	11,13
$K_1 + U_w$	4,62	0,10	2,82	7,50	13,22
C_{i-1}	6,16	0,14	3,76	10,00	14,26
$C_{i-1} + E_{uw} - U_w$	7,69	0,17	4,70	12,50	15,30
$K_2 = C_{i-1} + E_{uw}$	10,77	0,24	6,58	17,51	17,39
C_i	12,31	0,27	7,51	20,01	18,43
$C_i + E_{uw} - U_w$	13,85	0,31	8,45	22,51	19,47
$K_3 + U_w = C_i + E_{uw}$	16,93	0,38	10,33	27,51	21,56
C_{i+1}	18,47	0,41	11,27	30,01	22,60
$K_4 - U_w$	20,00	0,45	12,21	32,51	23,64
K_4	23,08	0,51	14,09	37,51	25,73



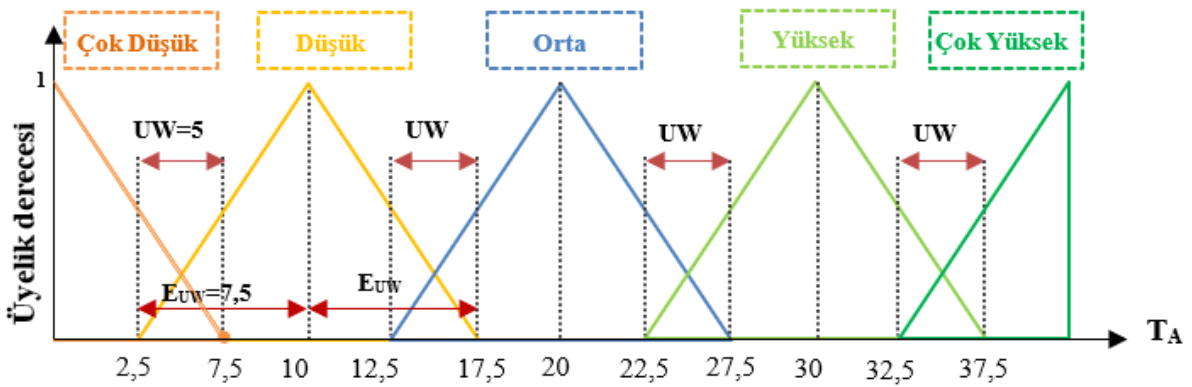
Şekil 3.9. Aylık barajdan deşarj yapılan su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri



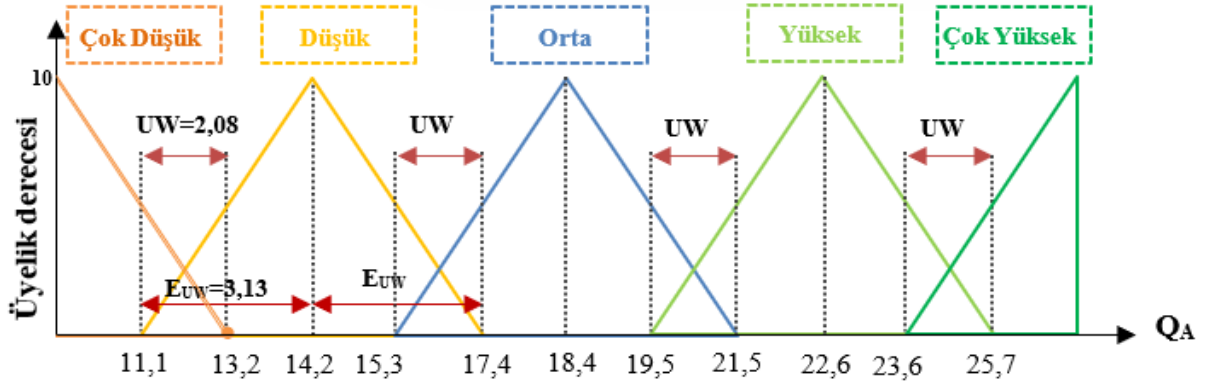
Şekil 3.10. Aylık buharlaşma miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri



Şekil 3.11. Aylık içme su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri



Şekil 3.12. Aylık göle gelen su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri



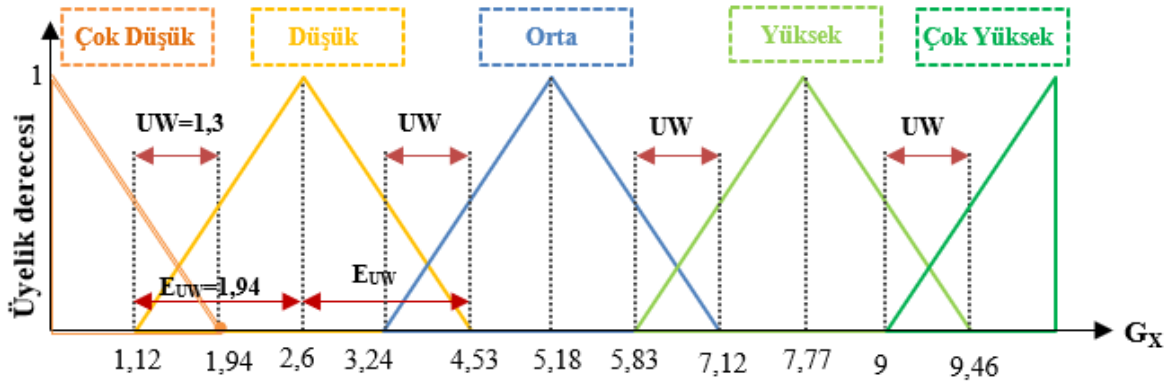
Şekil 3.13. Aylık su seviyesi miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri

Bu çalışmanın ikinci aşamasında ise Bulanık SMRGT modeli ile günlük baraj hazne hacmi değişimi tahmini için oluşturulan üyelik fonksiyonları değeri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

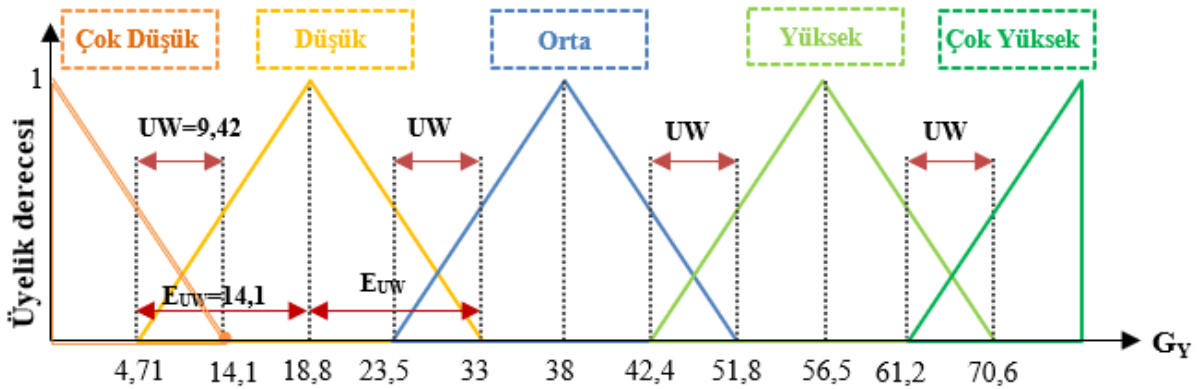
Çizelge 3.3. Bulanık SMRGT yöntemine ait günlük baraj hazne hacmi sınır değerleri

	G_X	G_Y	G_Z	G_T	G_Q
N_u	8	8	8	-	8
V_{max}	10,36	75,36	447.300	15.000	34.143.000
V_{min}	0	0	0	0	6.746.300
$V_r = V_{max} - V_{min}$	10,36	75,36	447.300	-	27.396.700
U_w	1,30	9,42	55.912,5	-	3.424.587,5
E_{uw}	1,94	14,13	83.868,75	-	5.136.881,25
K_1	0,65	4,71	27.956,25	-	8.458.593,75
$K_1 + U_w$	1,94	14,13	83.868,75	-	11.883.181,25
C_{i-1}	2,59	18,84	111.825	-	13.595.475
$C_{i-1} + E_{uw} - U_w$	3,24	23,55	139.781,25	-	15.307.768,75
$K_2 = C_{i-1} + E_{uw}$	4,53	32,97	195.693,75	-	18.732.356,25
C_i	5,18	37,68	223.650	-	20.444.650
$C_i + E_{uw} - U_w$	5,83	42,39	251.606,25	-	22.156.943,75
$K_3 + U_w = C_i + E_{uw}$	7,12	51,81	307.518,75	-	25.581.531,25
C_{i+1}	7,77	56,52	335.475	-	27.293.825
$K_4 - U_w$	8,42	61,23	363.431,25	-	29.006.118,75
K_4	9,71	70,65	419.343,75	-	32.430.706,25

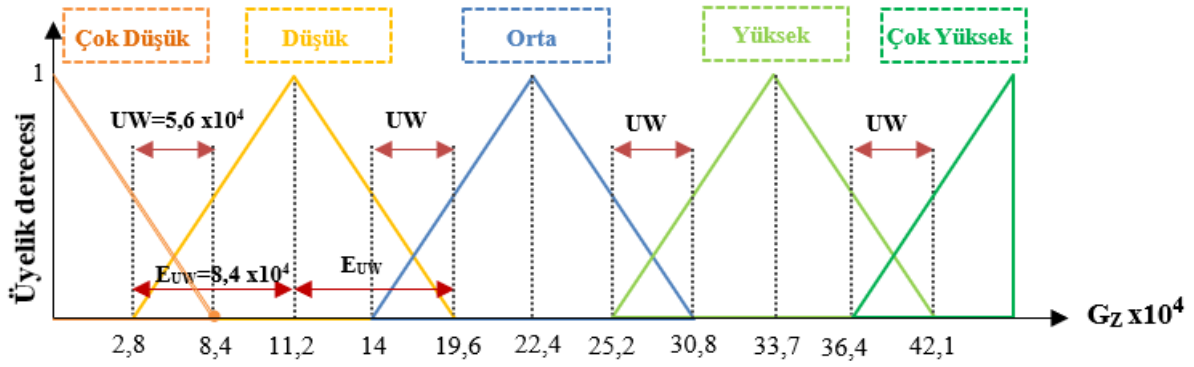
Çizelge 3.3'te verilen günlük baraj hazne hacmi sınır değerlerine ait her bir değişken için ayrı ayrı bu üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Her bir üyelik fonksiyonu için 8 adet dik üçgen kullanılmıştır. G_X , G_Y , G_Z , ve G_Q , bağımsız değişkenlerinin üyelik fonksiyonları çok düşük (ÇD), düşük (D), orta(O), yüksek (Y) ve çok yüksek (ÇY) olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.14'te günlük buharlaşma miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri, Şekil 3.15'te günlük yağış miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri, Şekil 3.16'da günlük kullanılan su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri ve Şekil 3.17'de günlük baraj hazne miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri gösterilmiştir.



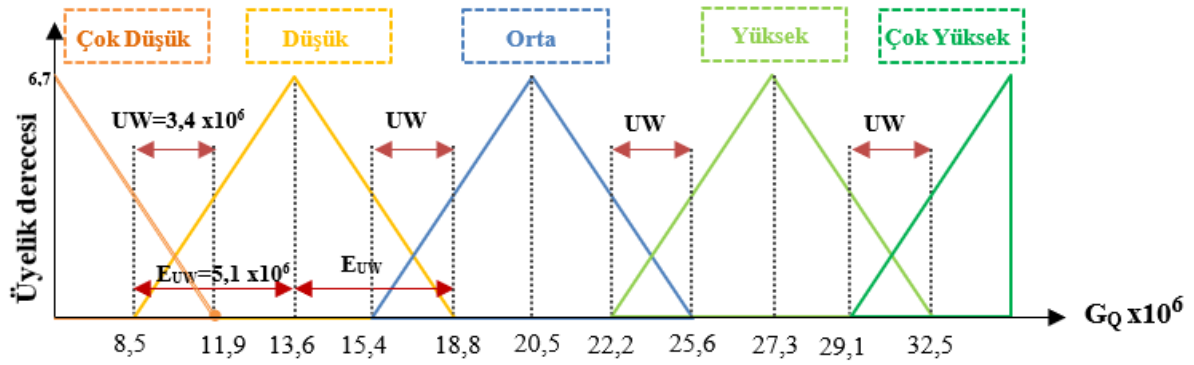
Şekil 3.14. Günlük buharlaşma miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri



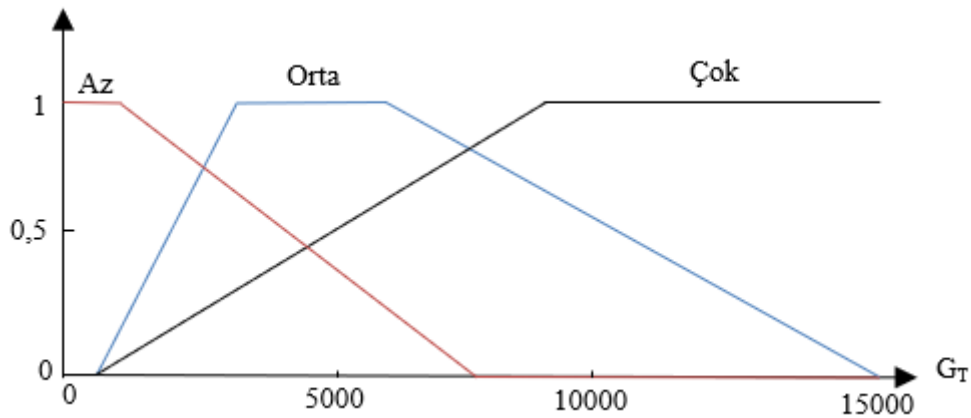
Şekil 3.15. Günlük yağış miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri



Şekil 3.16. Günlük kullanılan su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri



Şekil 3.17. Günlük baraj hazne miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri



Şekil 3.18. Günlük Terkos Barajından Alibey Barajına aktarılan su miktarına ait üyelik fonksiyonu değerleri

Şekil 3.18’de günlük Terkos Barajından Alibey Barajına aktarılan su miktarı (G_T) ait bağımsız değişkenin üyelik fonksiyonları; Az, Orta ve Çok olarak adlandırılmıştır.

Matlab R2016a programında Bulanık SMRGT modeline göre oluşturulan üyelik fonksiyonları için üretilen kuralların bazıları Çizelge 3.4’te gösterilmiştir. Bu kurallar aylık ölçüm verilere göre belirlenen X_A , Y_A , Z_A , T_A , Q_A ve K_A değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarına göre oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarına göre toplam 77 adet kural oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kurallarla aylık su seviyesi tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 3.4. Bulanık SMRGT yöntemi ile aylık su seviye değişimi

tahmini için oluşturan bazı bulanık kurallar						
	X_A	Y_A	Z_A	T_A	Q_A	K_A
1	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	D	ÇD
2	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	O	D
3	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	O	Y
4	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	Y	O
5	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	Y	Y
	"	"	"	"	"	"
	"	"	"	"	"	"
	"	"	"	"	"	"
	"	"	"	"	"	"
74	D	ÇD	D	O	O	O
75	D	ÇD	D	O	Y	Y
76	O	ÇD	D	D	Y	ÇY
77	O	ÇD	ÇD	O	Y	ÇY

Çizelge 3.5’te ise Bulanık SMRGT modelinde günlük ölçüm verilerine göre belirlenen G_X , G_Y , G_Z , G_T , G_Q ve G_K değişkenleri ile oluşturulan 534 adet kuralın bazıları gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Bulanık SMRGT yöntemi ile günlük baraj hazne hacmi

tahmini için oluşturan bazı bulanık kurallar						
	G_X	G_Y	G_Z	G_T	G_Q	G_K
1	ÇD	ÇD	ÇD	AZ	ÇD	ÇD
2	ÇD	ÇD	ÇD	AZ	ÇD	D
3	ÇD	ÇD	ÇD	AZ	D	ÇD
4	ÇD	ÇD	ÇD	AZ	D	D
"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"
534	ÇY	ÇD	O	ÇOK	Y	Y

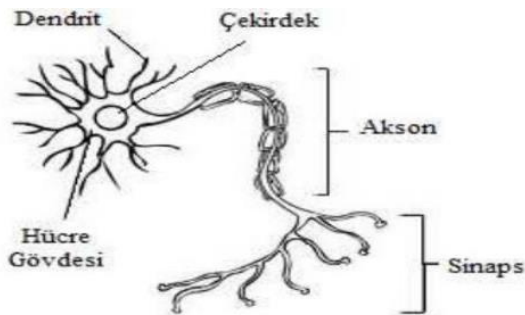
3.5.Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi

Yapay sinir ağları modeli günlük hayatta hemen her şeyde önümüze çıkan problemlerde uygulayabileceğimiz, insan beyninin oldukça derinine inen ve yeni bilgiler üretme yeteneğine sahip olan yapay zekâ tekniklerinden biridir. YSA tıp, inşaat, elektronik, finans, ekonomi, savunma sanayi, nesnelere veya görüntüleri ayırma, haberleşme, trafik ve üretim yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağlarıyla ilgili ilk çalışmaların temeli 1940'lı yıllarda W.S. McCulloch ve W.A. Pitts tarafından yayımladıkları makale ile başlamıştır. 1954 yılında B.G. Farley ve W.A. Clark uyarılara tepki veren bir model oluşturmuşlardır. 1960'lı yıllarda bilgisayarın ortaya çıkması ile modellerde eksiklikler fark edilmeye başlanmış, fakat çalışmalar devam etmiştir. 1980'li yıllarda ise yapay sinir ağları yoğun araştırmaları yapıldığı önem arz ettiği yıllar olmuştur.

3.5.1. Yapay Sinir Ağlarının Biyolojisi

YSA insan beyninin çalışma prensiplerini kendine model olarak alan bir bilgi işlem yöntemidir. Oluşturulan programlar biyolojik sinir ağlarının çalışma şeklini taklit eder, problemi kendi formatına dönüştürülerek çözümlenmeler yaparak sonuç elde eder. İnsan beyninden esinlenerek geliştirilen bu modeli daha iyi anlamak için biyolojik sinir yapısı Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



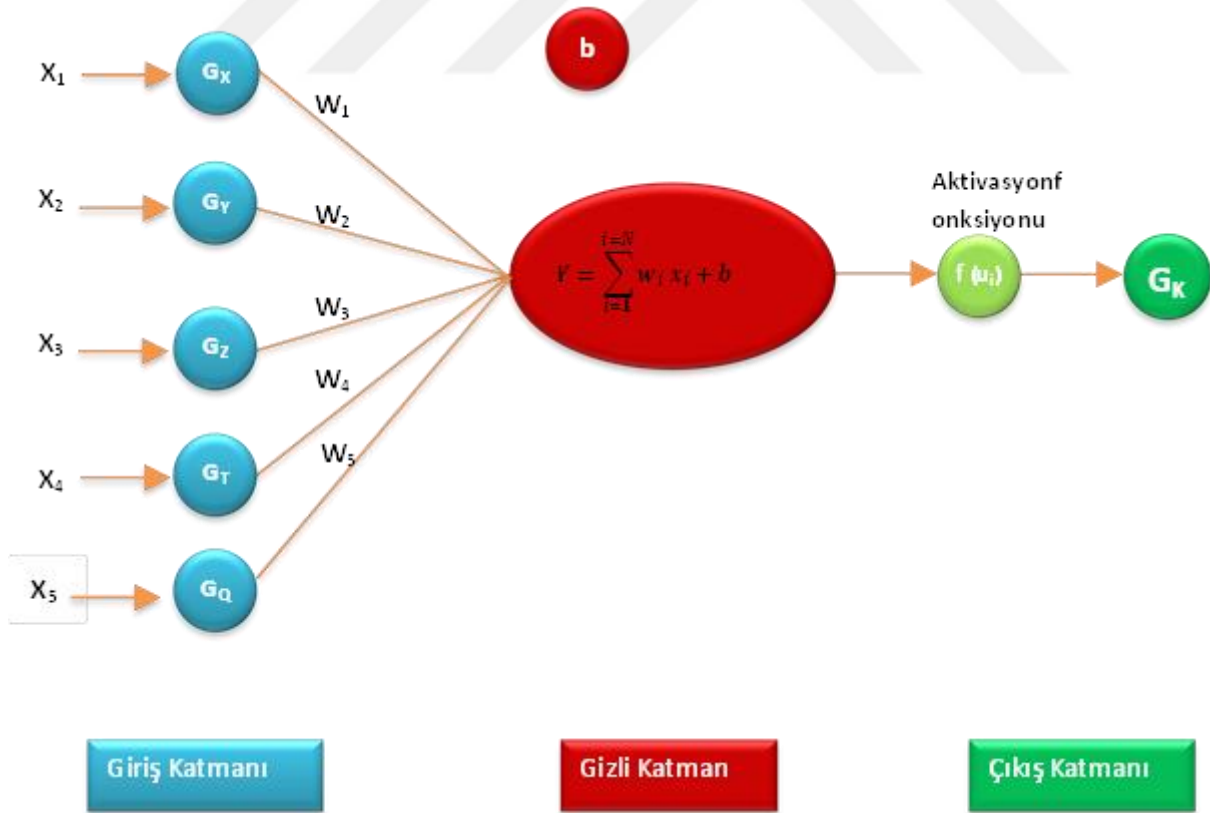
Şekil 3.19. Biyolojik sinir hücresinin yapısı (Anonim 5, 2022).

Biyolojik sinir hücresi; bir akson, bir gövde, çok sayıda sinir ucu (dendrit) ve akson ile diğer sinir hücresinin sinir ucu arasında kalan ince uzantılar (sinaps) olmak üzere dört temel bölümden oluşmaktadır. Bölümlerin görevleri şu şekilde sıralanabilir: Dendritler, gelen sinyalleri çekirdeğe iletir. Sonra çekirdek dendritten gelen sinyalleri bir araya toplar ve aksona iletir. Toplanan bu sinyaller, aksonlar tarafından işlenerek sinapslara gönderilir. Sinapslar da

yeni üretilen sinyalleri diğer sinir hücrelerine iletir. Yapay sinir hücreleri, gerçek sinir hücrelerinin simule edilmesiyle gerçekleştirilir (Anonim 5, 2022).

3.5.2. Yapay Sinir Hücresi

Yapay sinir hücreleri, biyolojik sinir hücreleri gibi benzer yapıda çalışmaktadırlar. Yapay sinir hücrelerinin ana elemanlarına girdi, bias, toplayıcılar, ağırlıklar, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı elemanlarıdır: Girdiler: Nöronlara gelen verilerdir. Ağırlıklar: bağlantıların ağırlığıyla çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu ağırlıkların değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Toplayıcılar: bir yapay sinir hücresine ağırlıklarla çarpılarak gelen girdileri toplayarak o hücrenin net girdisini hesaplayan fonksiyondur. Aktivasyon Fonksiyonu: Bu fonksiyon hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonunda genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. Ayrıca aktivasyon fonksiyonu seçilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise fonksiyonun türevinin kolay hesaplanabilir olmasıdır. Çıktı: Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değer hücrenin çıktı değeri olmaktadır. Her hücre birden fazla girdisi olmasına rağmen bir tek çıktısı olmaktadır ve istenilen sayıda hücreye bağlanabilir.



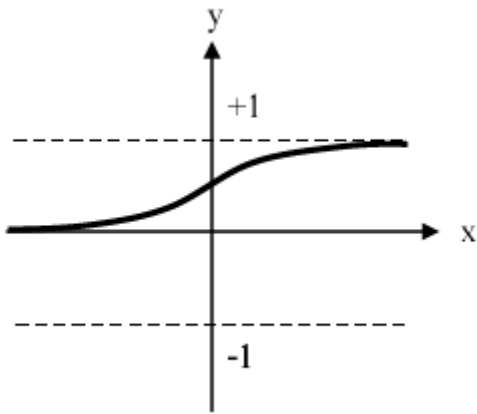
Şekil 3.20. YSA modelinde kullanılan ileri beslemeli ağ mimarisi

Şekil 3.20’de temel hali gösterilen YSA modelinin $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$, gelen girdileri; $W_1, W_2, W_3, \dots, W_4$ bağlantı ağırlıklarını, b bias terimini; $f(u_i)$ aktivasyon fonksiyonunu; G_K ise çıktı değerlerini ifade etmektedir. Lineer toplayıcıların hesaplanmasında kullanılırken, çıktı değerinin hesaplanmasında $Y_K = \varphi(Y + b)$ formülü kullanılarak sonuç bulunur.

$$Y = \sum_{i=1}^{i=N} w_i x_i + b \quad (14)$$

3.5.3. Aktivasyon Fonksiyonu

Bir YSA çıktısının genliğini sınırlamak için birçok tip aktivasyon fonksiyonu, " $\varphi(V)$ ", vardır. Bu çalışmada Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu: Yapay sinir ağları uygulamalarından en çok tercih edilen fonksiyonlardan biridir. Doğrusal olmayan ve sürekli türevi alınabilir fonksiyon bir aktivasyon fonksiyon çeşitidir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu girdi değerleri için 0 ile 1 arasında değer verir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu formülü $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 3.21’de Sigmoid aktivasyon fonksiyonu şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Sigmoid aktivasyon fonksiyonun şekli (Bölük, 2020)

3.5.4. YSA'nın Avantajları

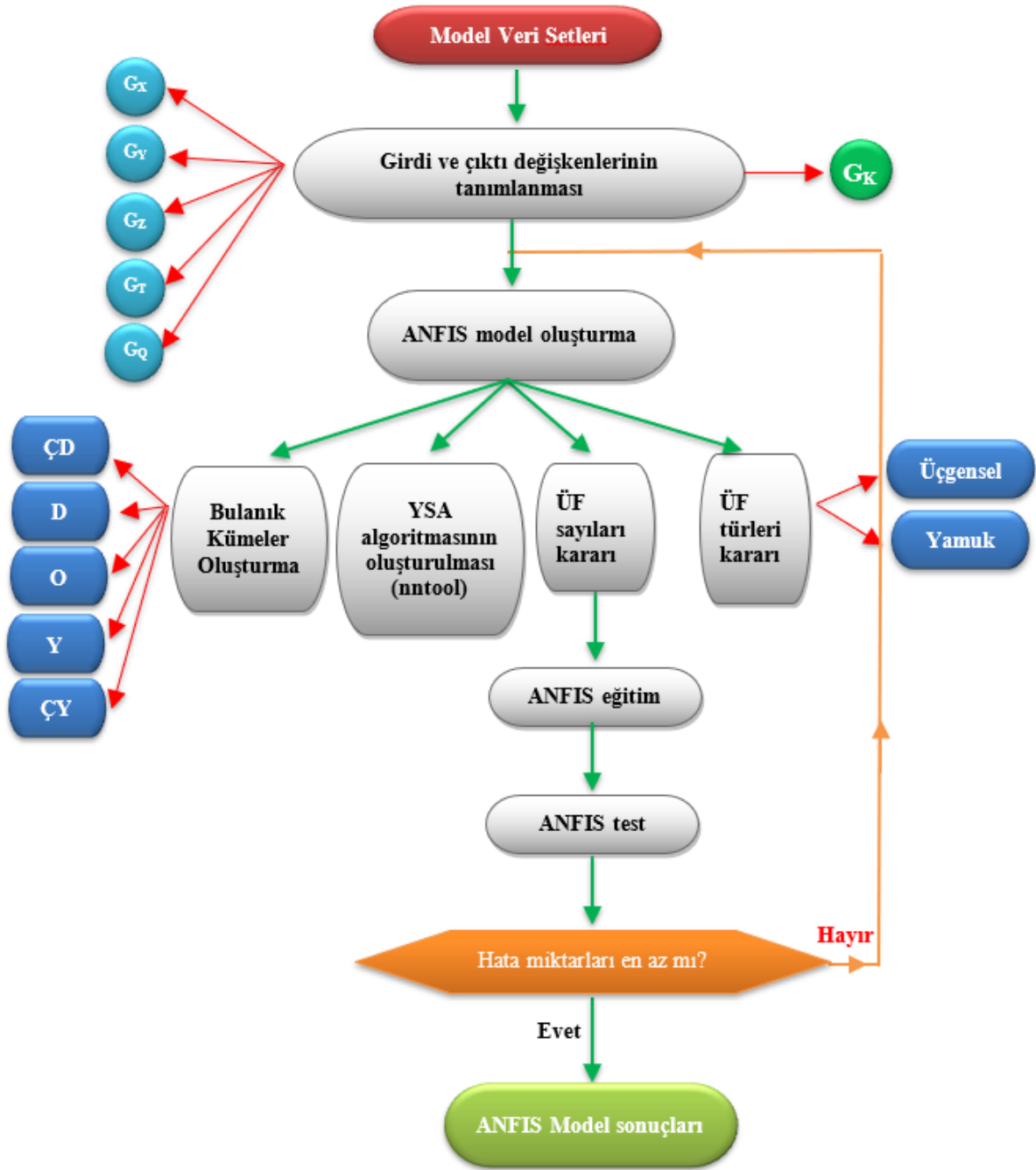
YSA’da veriler veri tabanına değil ağına tamamına yayılır. Bu da birkaç verinin kaybolması ağına çalışmasını engellememektedir. YSA’da eğitildikten sonra eksik veri olsa daha sonuç verebilir. Sonucun performansı eksik verinin önemine bağlıdır. YSA’da bir veya birden fazla hücrenin bozulması sonuç alınmasını engellemez. YSA dağıntık hafızaya sahiptir. Bu yüzden başarılı

sonuçlar almak için öncelikle çıktılara göre ağın eğitilmesi gerekmektedir. YSA’da ağlar zamanla bozulma gösterir yani ağ sorunu olduğu anda hemen bozulmaz. YSA birkaç işlemi aynı anda yapabilecek sayısal potansiyeli vardır.

3.6. Adaptif Sinirsel Bulanık ıkarım Sistemi (ANFIS) Yöntemi

ANFIS, bulanık çıkarım sisteminin adaptif ağlara uyarlanmış halidir. 1993 yılında Jang (Jang, 1993) tarafından geliştirilen ANFIS modeli, hibrit öğrenme algoritmasını kullanmaktadır. Yapay sinir ağları ve bulanık çıkarım sistemi birleşiminden oluşmaktadır. Şekil 3.22’de ANFIS modelinin akış diyagramı gösterilmektedir. ANFIS ile ilgili detaylı kapsamlı bilgiler (Krl, 2019; Arslan, 2020) yüksek lisans tezlerinde mevcuttur.





Şekil 3.22. ANFIS modelinin akış diyagramı

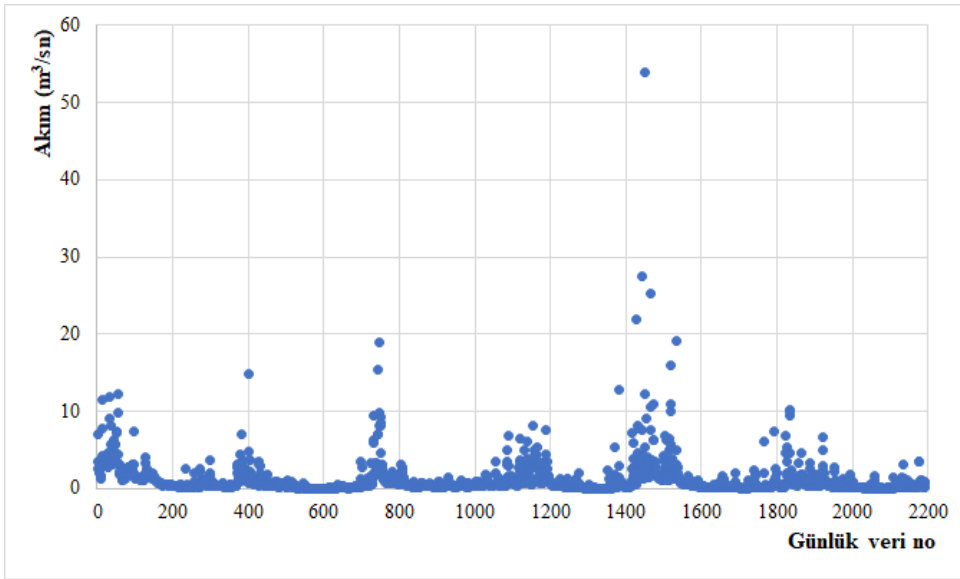
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Alibey Barajının İstatistik Özellikleri

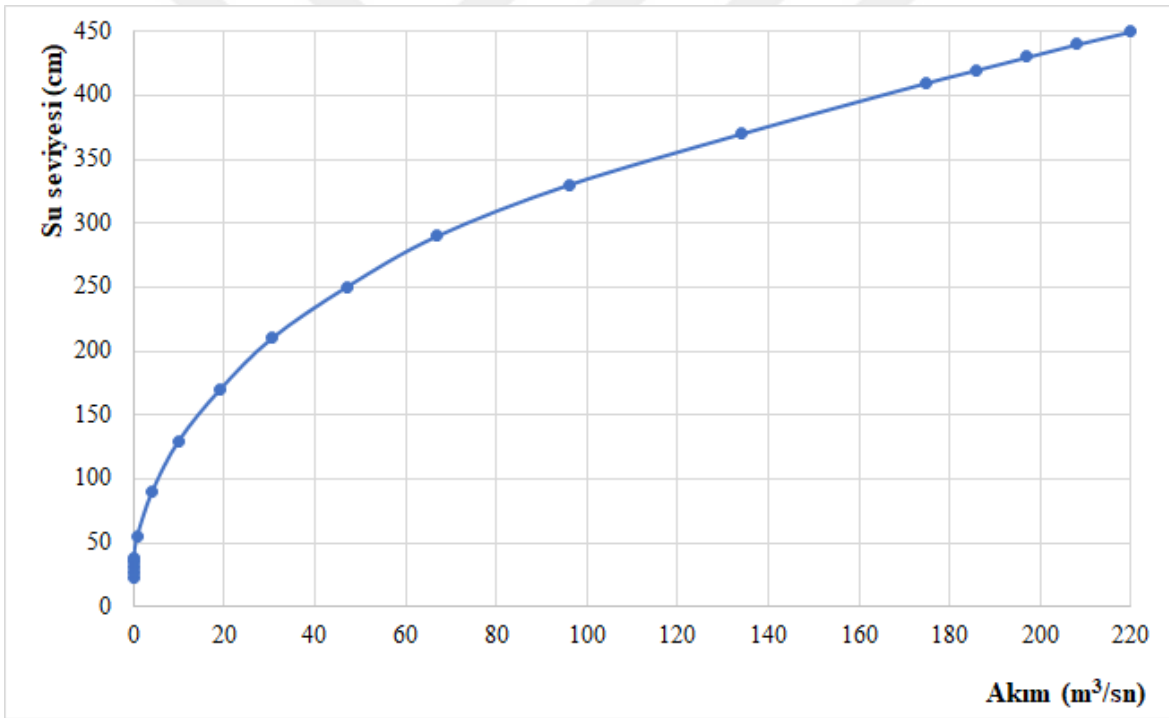
Alibey Barajına en yakın akım gözlem istasyonu olan Pirinççi köy akım gözlem istasyonu (AGİ) (D02A047) Marmara havzasına bağlıdır. Coğrafi konumu 41°9'47" Kuzey ile 28°51'10" Doğu GPS'dir. Yaklaşık kotu 25m, yağış alanı 111,80 km² ve Malova Deresi üzerinde bulunmaktadır. 2014-2020 yılları arasında Pirinççi köy akım gözlem istasyonundan ölçülen günlük en çok anlık akım ($G_{E\check{C}AA}$), günlük en az anlık akım (G_{EAAA}) ve yıllık ortalama akım (Y_{OA}) miktarlarının istatistik değerleri Çizelge 4.1' de verilmiştir. Alibey Barajı'na ait aşağıda gösterilen şekillerde Şekil 4.1'de Pirinççi köy AGİ 2015-2020 yılları arası akım-gün değişimi, Şekil 4.2'de Pirinççi köy akım gözlem istasyonuna ait 2015-2016-2017 yılları anahtar eğrisi, Şekil 4.3'te Pirinççi köy akım gözlem istasyonuna ait 2018 yılı anahtar eğrisi, Şekil 4.4'te Pirinççi köy akım gözlem istasyonuna ait 2019 yılı anahtar eğrisi ve Şekil 4.5'te Pirinççi köy akım gözlem istasyonuna ait 2020 yılı anahtar eğrisi değişimleri grafiklerle gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Pirinççi köy akım gözlem istasyonu ait; $G_{E\check{C}AA}$, G_{EAAA} ve Y_{OA}

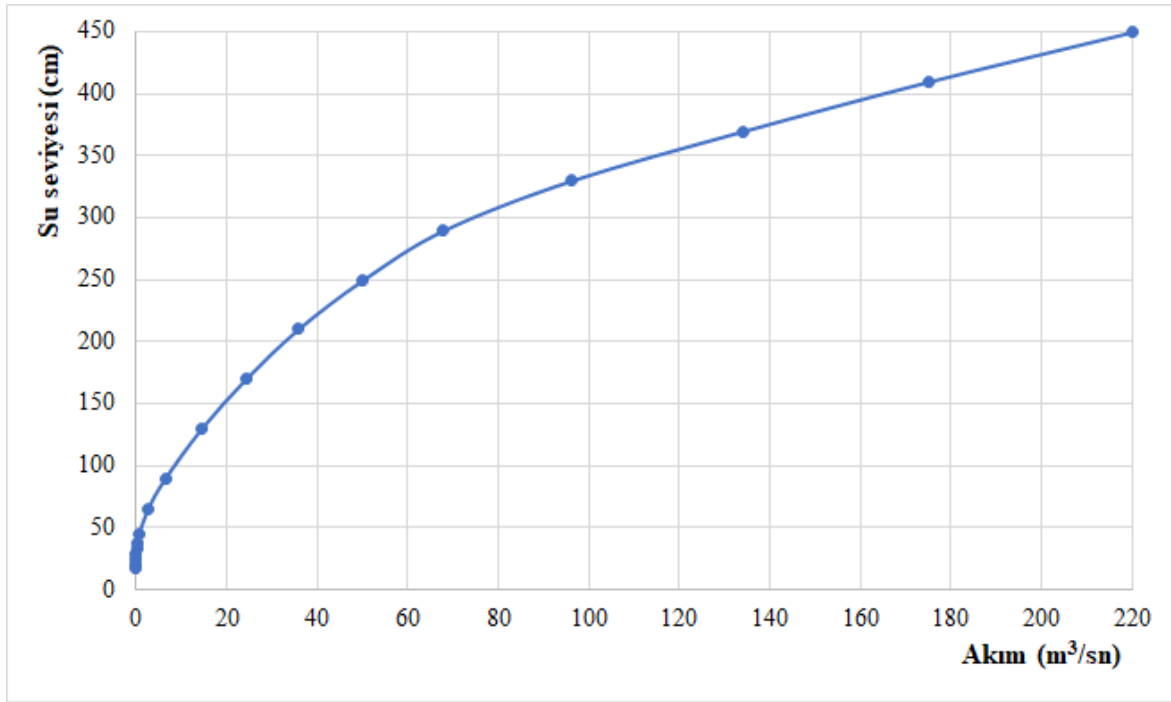
Yıl	$G_{E\check{C}AA}(m^3/sn)$	$G_{EAAA}(m^3/sn)$	$Y_{OA}(m^3/sn)$
2014-2015	75,8	0,116	2,034
2015-2016	43,5	0	0,632
2016-2017	34	0,06	0,916
2017-2018	18,9	0,01	0,913
2018-2019	74,5	0,04	1,715
2019-2020	21,2	0,015	0,732



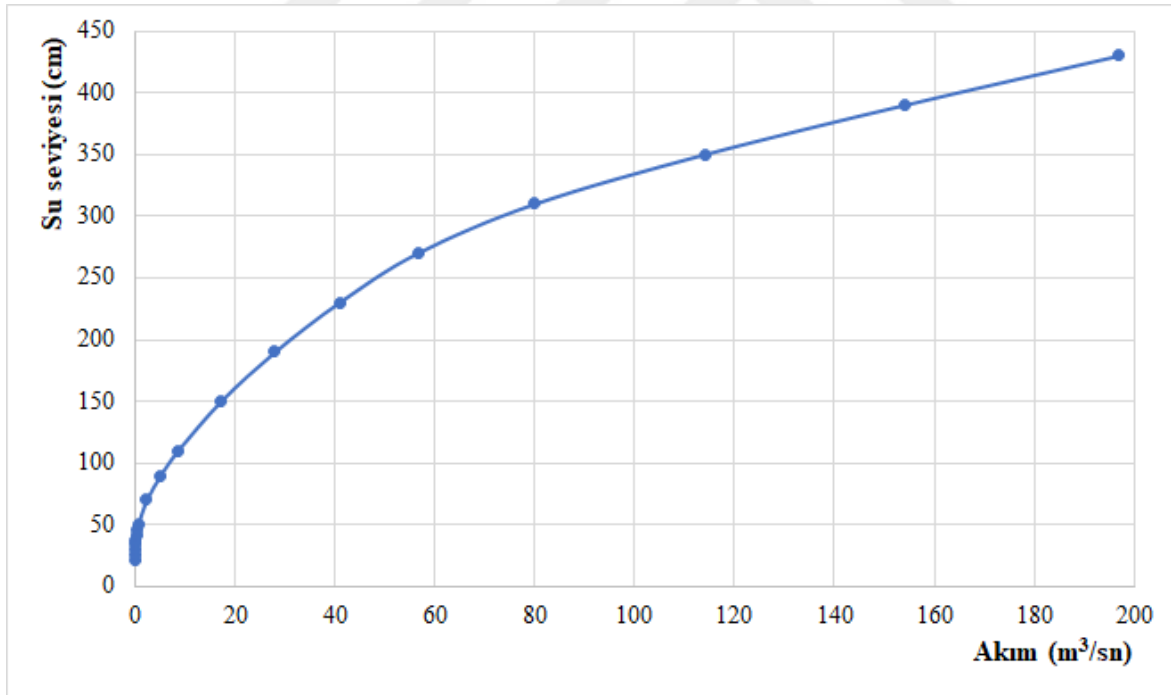
Şekil 4.1. Pirinççi köy AGİ 2015-2020 yılları arası akım-gün değişimi



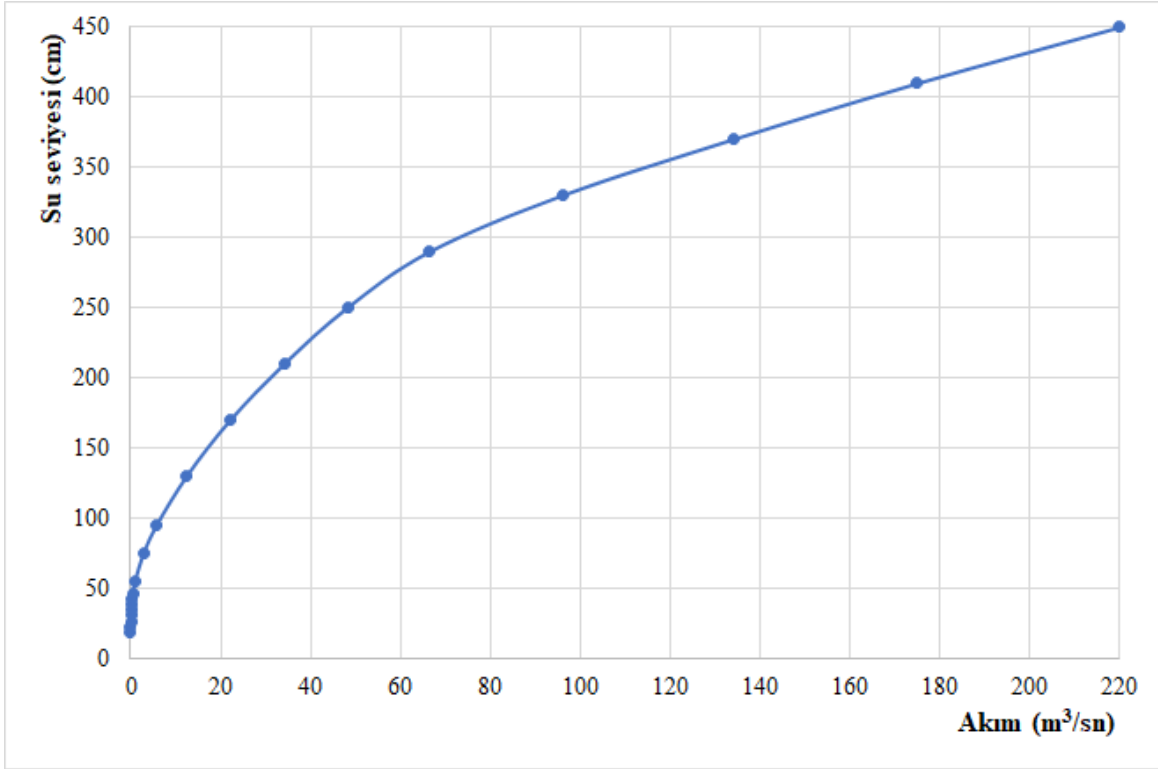
Şekil 4.2. Pirinççi köy AGİ ait 2015-2016-2017 yılları anahtar eğrisi



Şekil 4.3. Pirinççi köy AGİ ait 2018 yılı anahtar eğrisi



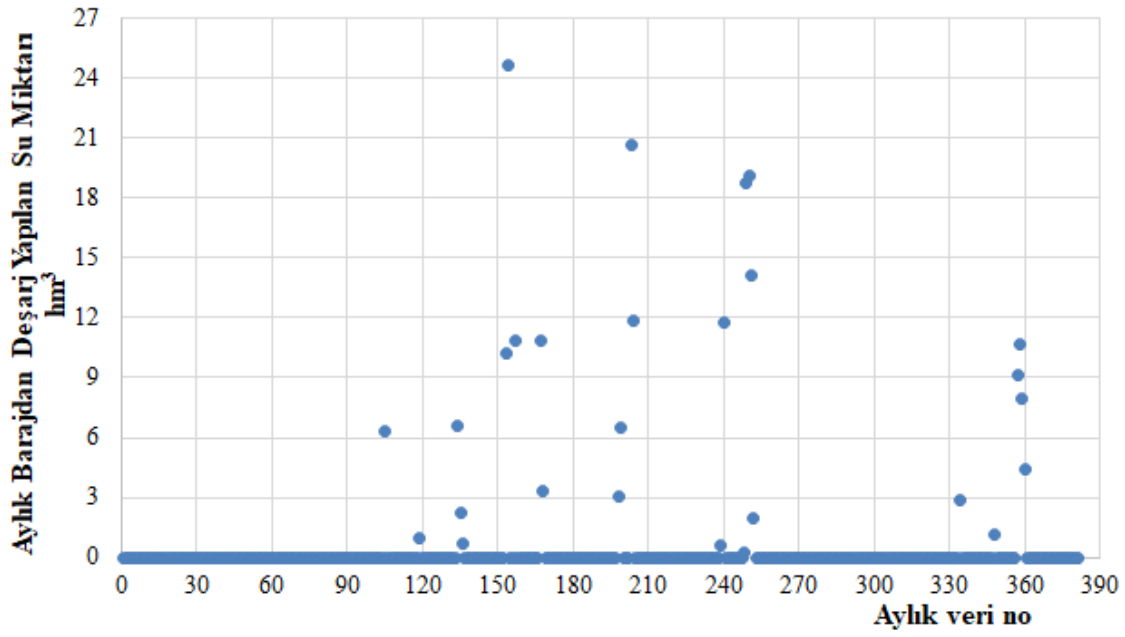
Şekil 4.4. Pirinççi köy AGİ ait 2019 yılı anahtar eğrisi



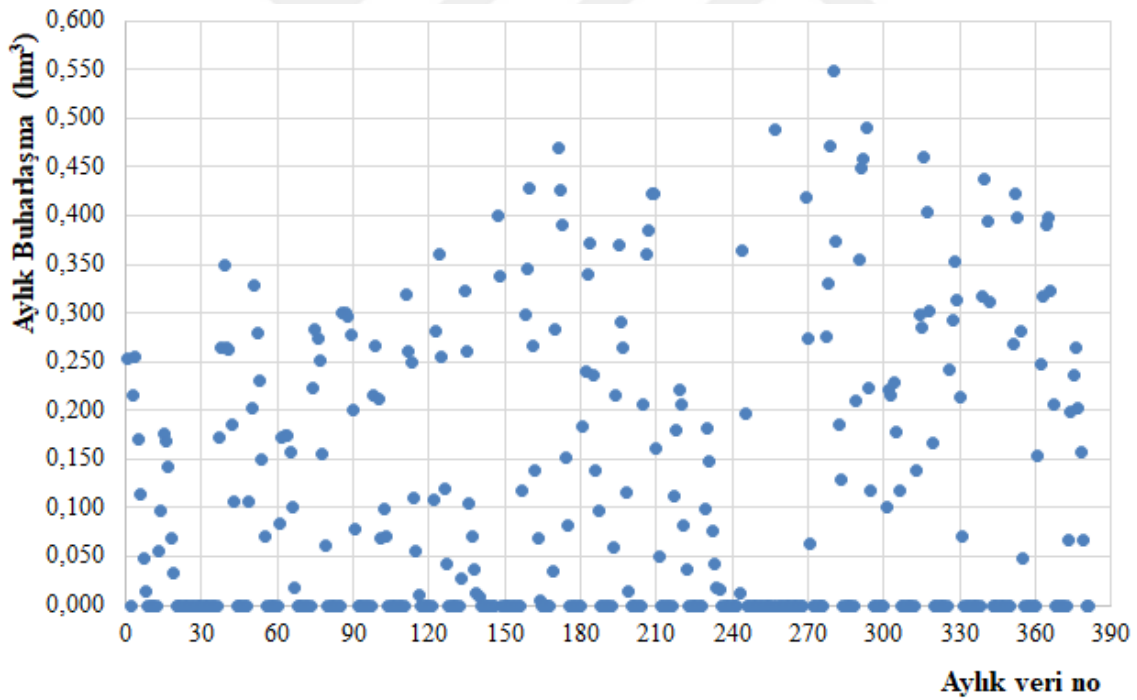
Şekil 4.5. Pirinççi köy AGİ ait 2020 yılı anahtar eğrisi

4.1.1. Alibey Barajı Aylık Ölçüm Verileri İstatistik Özellikleri

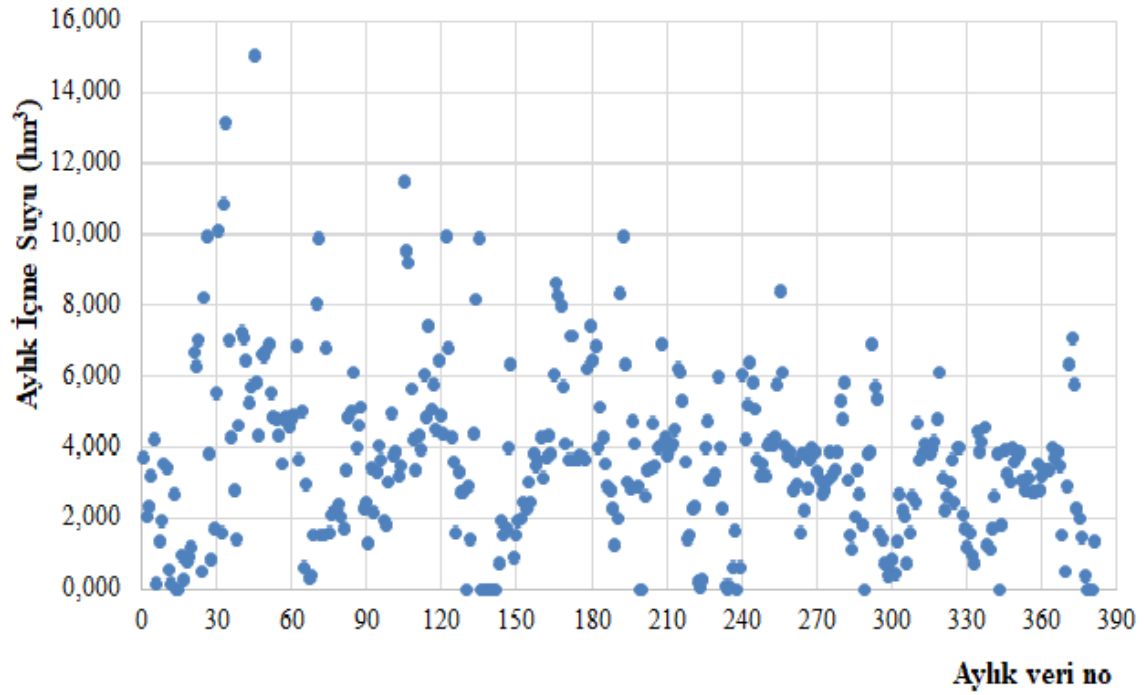
Bu çalışmada 1989-2020 yıllarına ait 381 adet aylık baraj ölçüm verileri kullanılmıştır. Çalışmada, tüm verilerin %75'i eğitim; %25'si test için ayrılmıştır. Eğitim için 285 aylık veri, test için 96 aylık ölçüm verisi kullanılmıştır. Bu veriler ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve Bulanık SMRGT modelleri hangisinin daha iyi sonuç verdiği karşılaştırılmıştır. Alibey Barajı'na ait aşağıda verilen Şekil 4.6'da aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı, Şekil 4.7'de aylık buharlaşma miktarı, Şekil 4.8'de aylık içme suyu miktarı, Şekil 4.9'da aylık göle gelen su miktarı ve Şekil 4.10'da aylık baraj seviye değişimleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



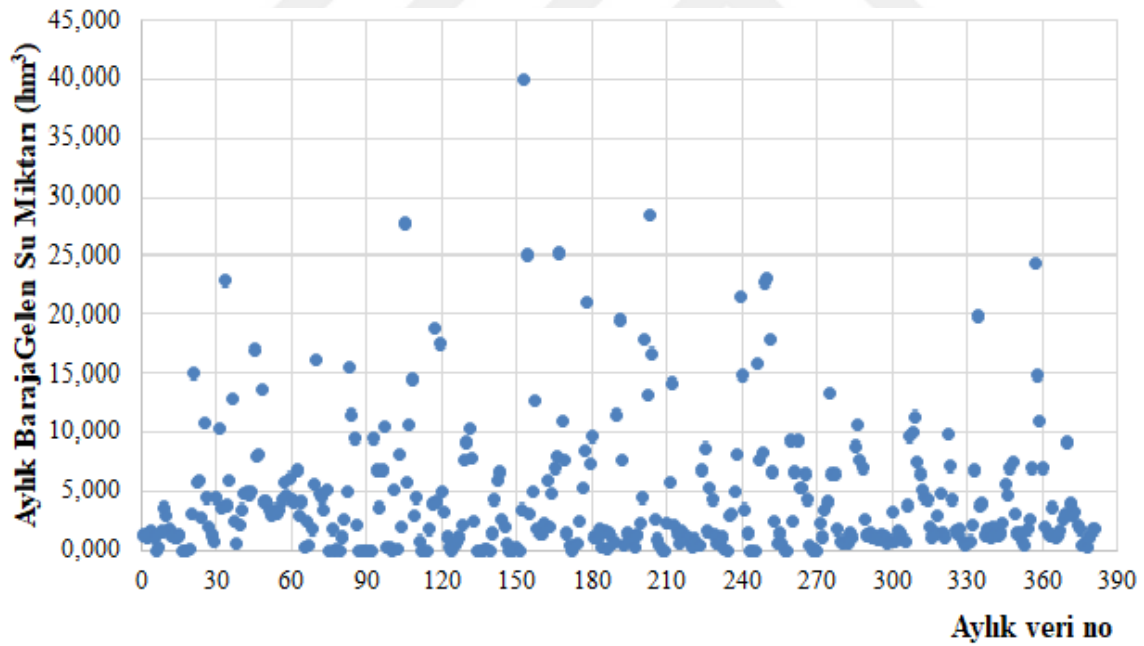
Şekil 4.6. Aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı



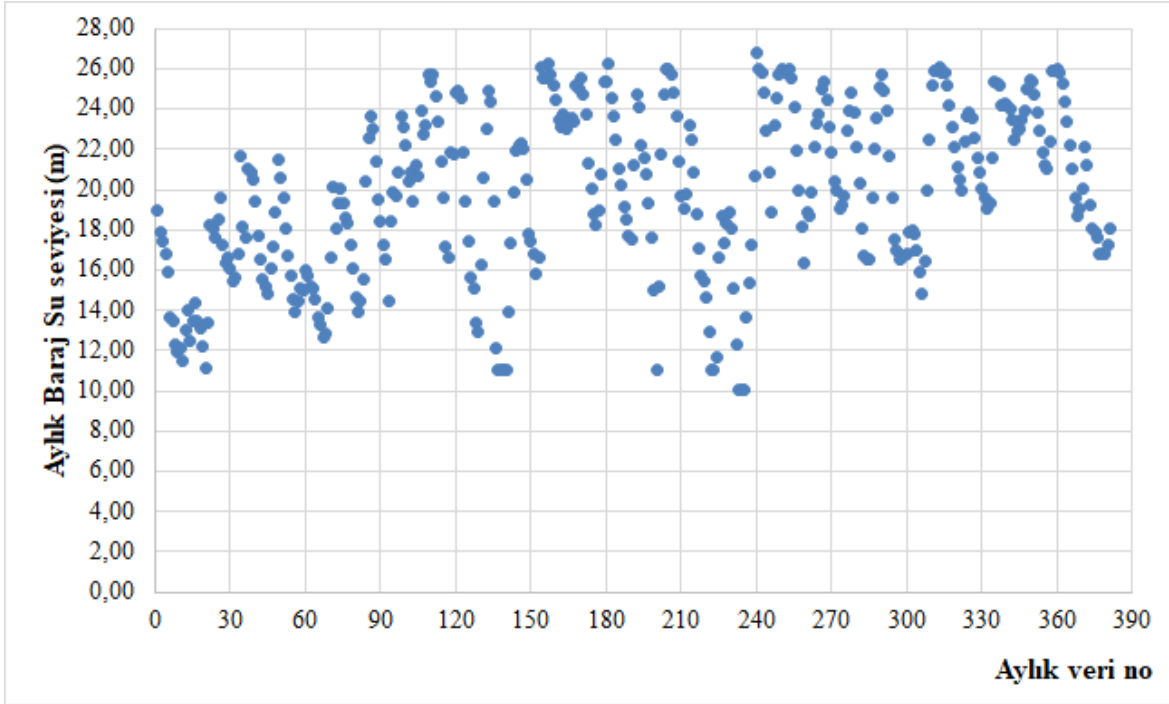
Şekil 4.7. Aylık buharlaşma miktarı



Şekil 4.8. Aylık içme suyu miktarı



Şekil 4.9. Aylık göle gelen su miktarı



Şekil 4.10. Aylık su seviyesi değişimleri

Alibey barajına ait aylık tüm veriler için istatistiksel değerlerin değişimleri Çizelge 4.2 'de, eğitim verileri için istatistiksel değerlerin değişimleri Çizelge 4.3'te ve test verileri için istatistiksel değerlerin değişimleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Bu çizelgelerde; X_{mak} , maksimum ortalama değerleri; X_{min} , minimum ortalama değerleri; X_{ort} , ortalama değerleri; S_x , Standart sapma ve C_{sx} , çarpıklık katsayısını temsil etmektedir.

Çizelge 4.2. Alibey Barajı tüm aylık verileri istatistik özellikleri

Tüm	X_{min}	X_{ort}	X_{mak}	S_x	C_{sx}
X_A	24,621	0,581	0	7,59	5,74
Y_A	0,549	0,105	0	0,02	1,08
Z_A	15,029	3,583	0	5,58	0,95
T_A	40,0150	4,3700	0	30,88	2,44
Q_A	26,7700	19,8500	10,09	17,14	-0,3
K_A	26,77	19,85	10,09	17,14	-0,3

Çizelge 4.3. Alibey Barajı eğitim aylık verileri istatistik özellikleri

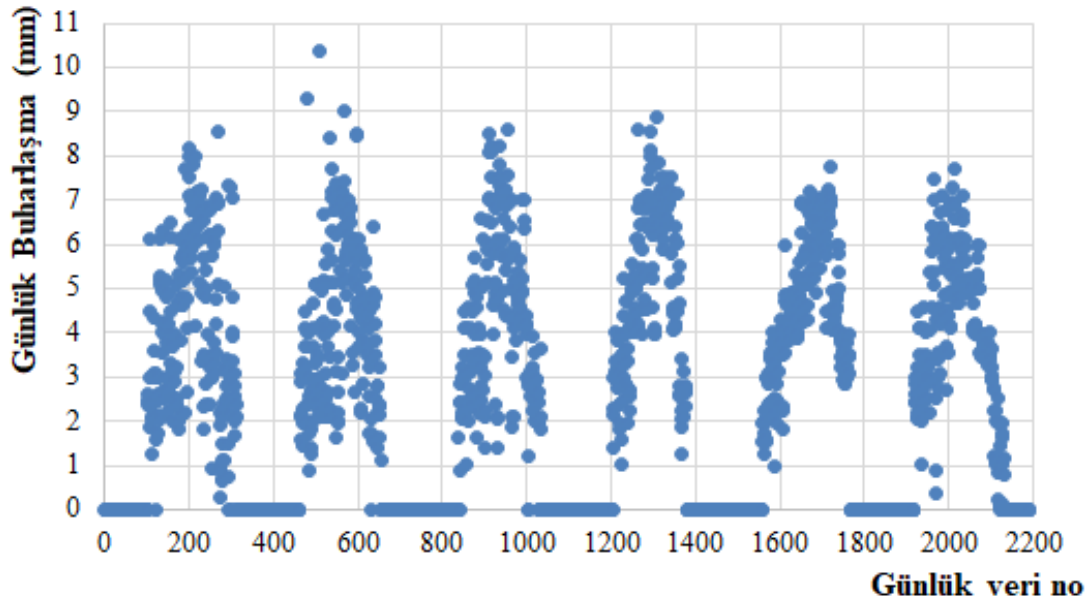
Eğitim	Xmin	Xort	Xmak	Sx	Csx
X _A	24,621	0,65	0	9,17	5,46
Y _A	0,549	0,092	0	0,017	1,24
Z _A	15,029	3,85	0	6,33	0,86
T _A	40,0150	4,61	0	35,49	2,32
Q _A	26,7700	19,23	10,09	18,07	-0,15
K _A	26,77	19,23	10,09	18,09	-0,15

Çizelge 4.4. Alibey Barajı test aylık verileri istatistik özellikleri

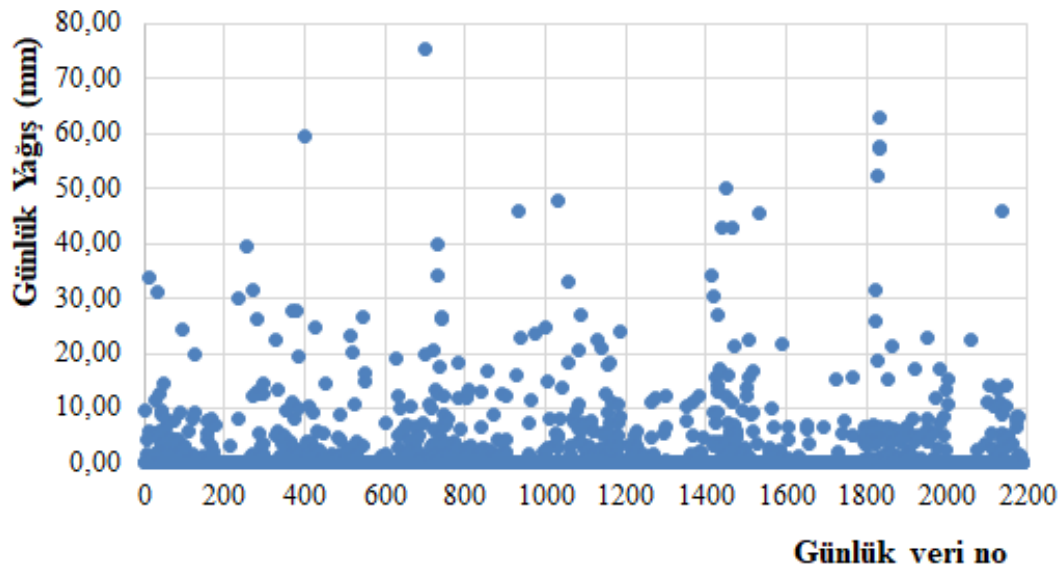
Test	Xmin	Xort	Xmak	Sx	Csx
X _A	10,640	0,380	0	2,93	4,93
Y _A	0,490	0,136	0	0,025	0,686
Z _A	7,060	2,800	0	2,61	0,2
T _A	24,4520	3,6500	0,227	16,9	2,57
Q _A	26,1100	21,6700	14,78	10,17	-0,34
K _A	26,11	21,68	14,78	10,03	-0,33

4.1.2. Alibey Barajı Günlük Ölçüm Verileri İstatistik Özellikleri

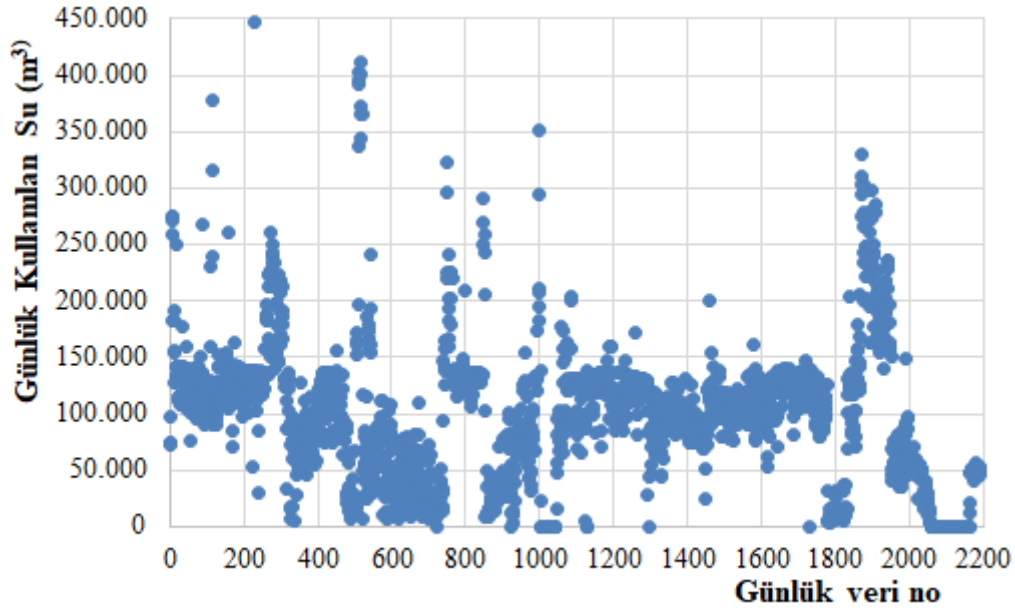
Bu çalışmada 2015-2020 yıllarına ait 2190 adet günlük baraj ölçüm verileri kullanılmıştır. Çalışmada, eğitim için 1643 günlük veri, test için 547 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır. Bu veriler ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT modelleri hangisinin daha iyi sonuç verdiği karşılaştırılmıştır. Alibey Barajı'na ait aşağıda verilen 2015-2020 yıllarına ait Şekil 4.11'de günlük buharlaşma miktarı, Şekil 4.12'de günlük yağış miktarı, Şekil 4.13'te günlük kullanılan su miktarı, Şekil 4.14'te günlük Terkos Barajından Alibey Barajına aktarılan su miktarı ve Şekil 4.15'te günlük baraj hazne hacmi değişimleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



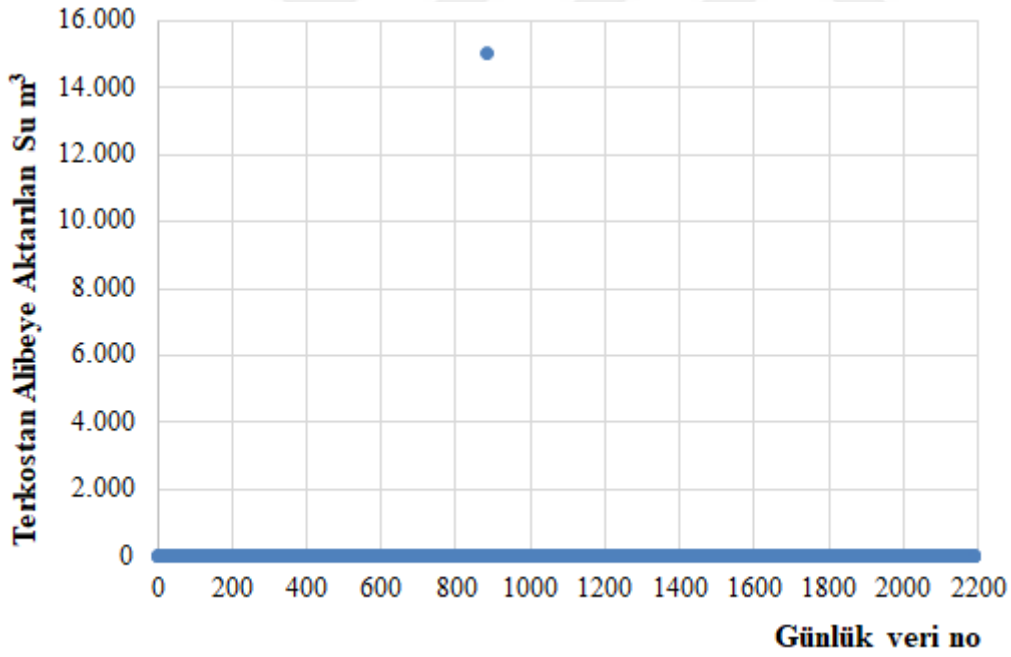
Şekil 4.11. 2015-2020 yılları arası günlük buharlaşma miktarı değişimi



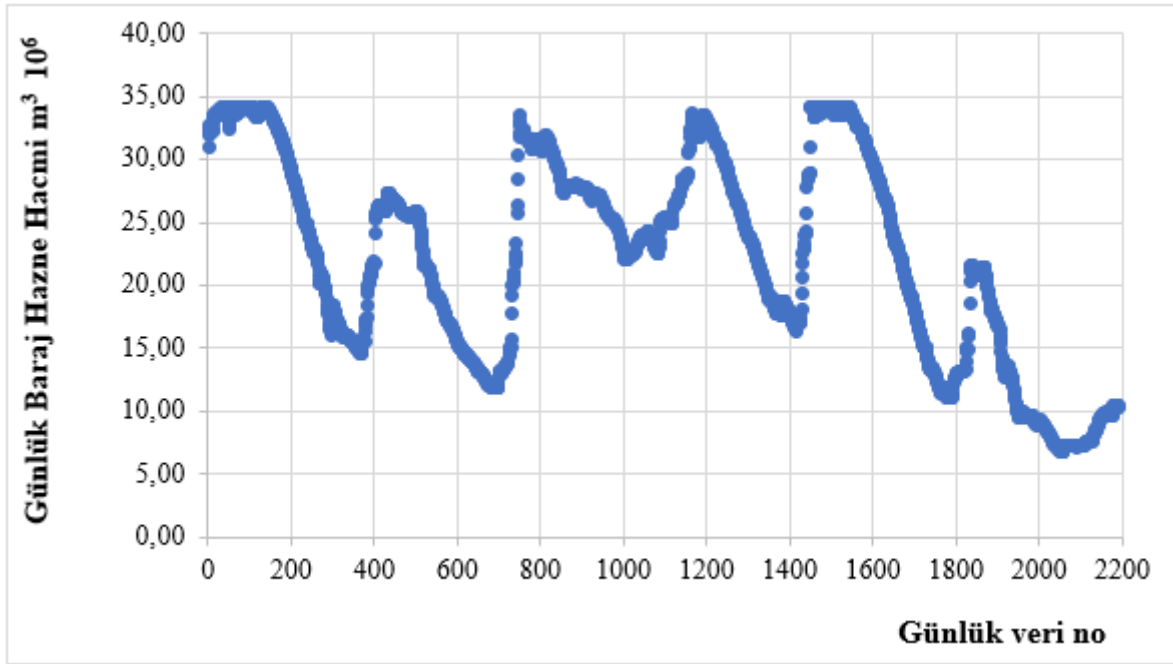
Şekil 4.12. 2015-2020 yılları arası günlük yağış miktarı değişimi



Şekil 4.13. 2015-2020 yılları arası günlük kullanılan su miktarı değişimi



Şekil 4.14. 2015-2020 yılları arası günlük Terkos Barajından Alibey Barajına aktarılan su miktarı değişimi



Şekil 4.15. 2015-2020 yılları arası günlük baraj hazne hacmi değişimi

Alibey barajına ait günlük tüm veriler için istatistiksel değerlerin değişimleri Çizelge 4.5'te, eğitim verileri için istatistiksel değerlerin değişimleri Çizelge 4.6'da ve test verileri için istatistiksel değerlerin değişimleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. Bu çizelgelerde; X_{\max} , maksimum ortalama değerleri; X_{\min} , minimum ortalama değerleri; X_{ort} , ortalama değerleri; S_x , standart sapma ve C_{sx} , çarpıklık katsayısını temsil etmektedir.

Çizelge 4.5. Alibey Barajı günlük tüm verilerin istatistik özellikleri

Tüm	X_{\min}	X_{ort}	X_{\max}	S_x	C_{sx}
G_x	0	2,37	10,36	6,52	0,56
G_y	0	1,99	75,36	37,23	5,44
G_z	0	97.986	447.300	3.845.811.577	0,86
G_Q	6.746.300	22.352.866	34.143.000	6,76E+13	-0,22
G_K	6.746.300	22.343.412	34.143.000	6,75E+13	-0,22

Çizelge 4.6. Alibey Barajı günlük eğitim verilerinin istatistik özellikleri

Eğitim	Xmin	Xort	Xmak	Sx	Csx
G _x	0	2,36	10,36	6,52	0,58
G _y	0	1,96	75,36	35,25	5,47
G _z	0	98.101,3	447.300	3.867.147.438	0,87
G _Q	6.746.300	22.341.819,29	34.143.000	6,76E+13	-0,22
G _K	6.746.300	22.329.196,23	34.143.000	6,76E+13	-0,22

Çizelge 4.7. Alibey Barajı günlük test verilerinin istatistik özellikleri

Test	Xmin	Xort	Xmak	Sx	Csx
G _x	0	2,38	8,86	6,55	0,53
G _y	0	2,07	62,88	43,27	5,34
G _z	0	97.765,38	403.000	3.802.013.859	0,81
G _Q	6.746.300	22.343.638,03	34.143.000	6,75E+13	-0,22
G _K	6.746.300	22.343.508,23	34.143.000	6,76E+13	-0,22

4.2. Model Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu çalışmada modeller aylık veriler ve günlük veriler olmak üzere iki şekilde çalışılmıştır.

4.2.1 Aylık Su Seviyesi Tahmin Modellerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, aylık 381 veri için oluşturulan modellerin sonuçları sırasıyla; ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT modelleri aşağıda Çizelge 4.8 ve 4.9'da gösterilmiştir. Model karşılaştırılmalarında her model için istatistik ölçüt olarak R, RMSE ve MAE hesaplanmıştır. ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT yöntemleri ile yapılan: RMSE, MAE ve R hesaplamaları için Alibey Barajına ait, aylık su seviyesi (K_A) tahmini için: aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık içme su miktarı (Z_A) ve aylık göle gelen su miktarı (T_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. Daha sonra ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT yöntemlerinde ise aylık su seviyesine ait zaman serileri girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar model tahmini ve ölçüm verilerinin performanslarını karşılaştırmak için kullanılmıştır. MAE ve RMSE aşağıdaki denklemleri kullanılarak belirlenmiştir. RMSE ve MAE aşağıdaki Denklem 15 ve 16'da kullanılarak belirlenmiştir.

$$RMSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Yi_{ölçüm} - Yi_{tahmin})^{1/2} \quad (15)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Yi_{ölçüm} - Yi_{tahmin}| \quad (16)$$

Buradan N veri sayısını ve Yi su seviyesi değerini temsil etmektedir.

Çizelge 4.8. Aylık eğitim verileri modellerinin performans karşılaştırması

Model	Model Inputs	MAE	RMSE	R
ÇDR	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	1,21	1,67	0,952
IDR	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	1,13	1,54	0,952
QDR	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	4,29	2,07	0,918
PQDR	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	3,23	3,72	0,928
YSA	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	1,14	1,52	0,951
ANFIS	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	0,77	0,14	0,96
SMRGT	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	1,07	1,38	0,96

Çizelge 4.9. Aylık test verileri modellerinin performans karşılaştırması

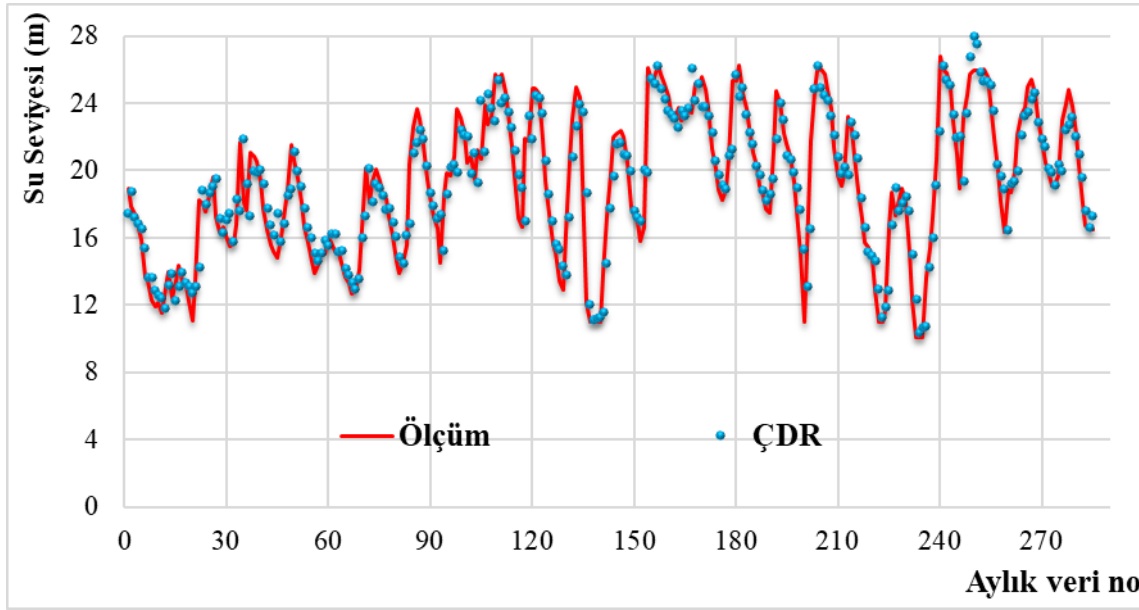
Model	Model Inputs	MAE	RMSE	R
ÇDR	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	0,814	1,071	0,952
IDR	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	0,79	1,02	0,952
QDR	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	4,83	5,35	0,918
PQDR	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	3,40	3,74	0,928
YSA	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	0,7	0,93	0,951
ANFIS	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	0,7	0,97	0,96
SMRGT	X _A , Y _A , Z _A , T _A , Q _A	0,93	1,18	0,96

Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) Yönteminin Sonuçları

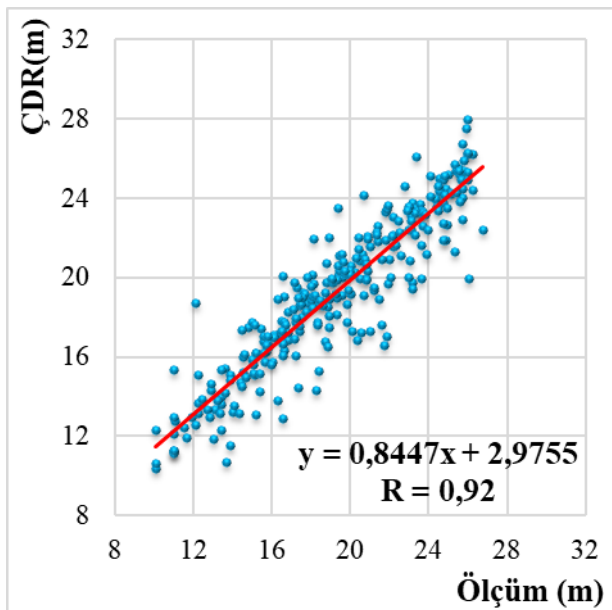
ÇDR yönteminde, Alibey barajına ait; aylık su seviyesi (K_A) tahmini için aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. 1989-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır.

Aşağıda, denklem 17’de ÇDR modelinin denklemi, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilmiştir. Oluşturulan bu ÇDR modelinin eğitim verilerinin $R=0.95$, $MAE=1.21$ ve $RMSE=1.67$, test verilerinin $R=0.95$, $MAE=0.81$ ve $RMSE=1.07$ sonuçları elde edilmiştir.

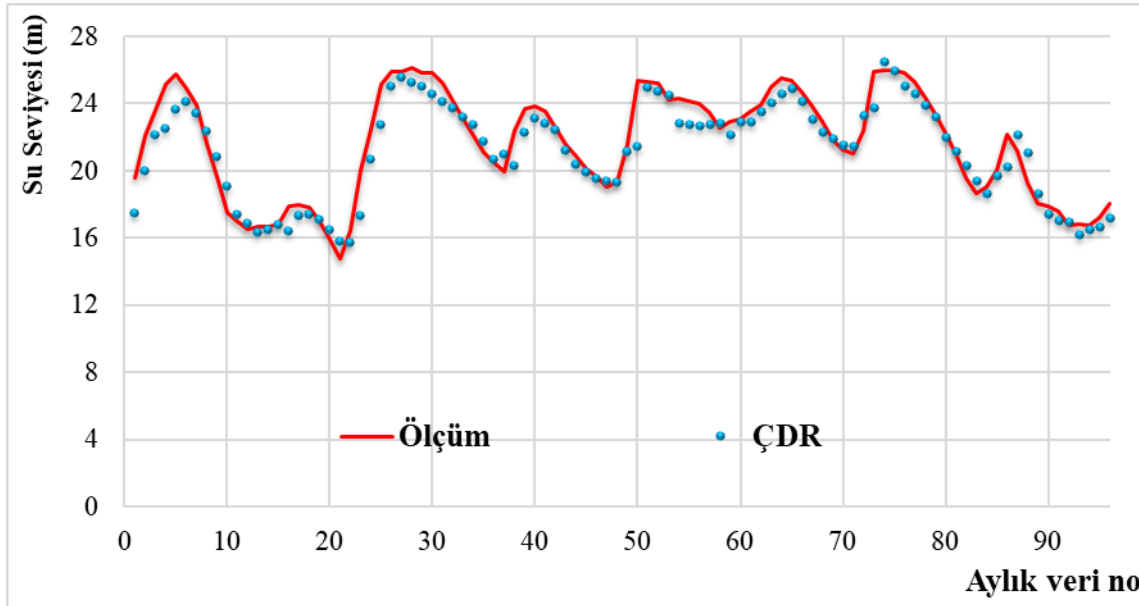
$$K_A = 1,096 * X_A - 2,25 * Y_A + 0,05 * Z_A + 0,098 * T_A + 0,9184 * Q_A \quad (17)$$



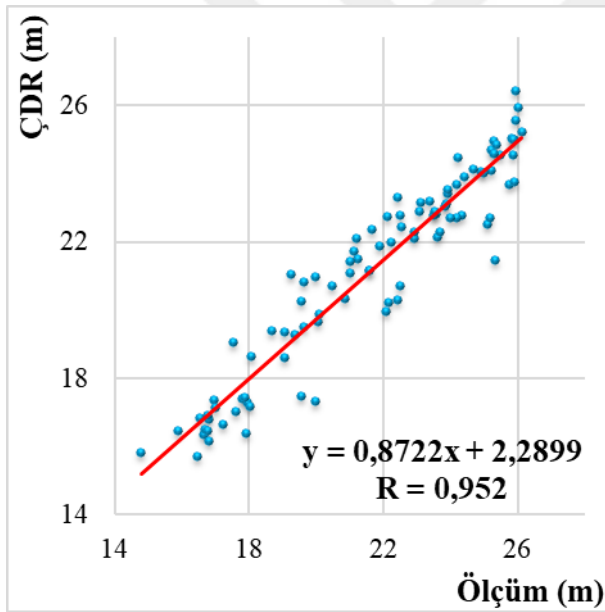
Şekil 4.16. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.17. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.18. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli dağılım grafiği (test)



Şekil 4.19. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli saçılım grafiği (test)

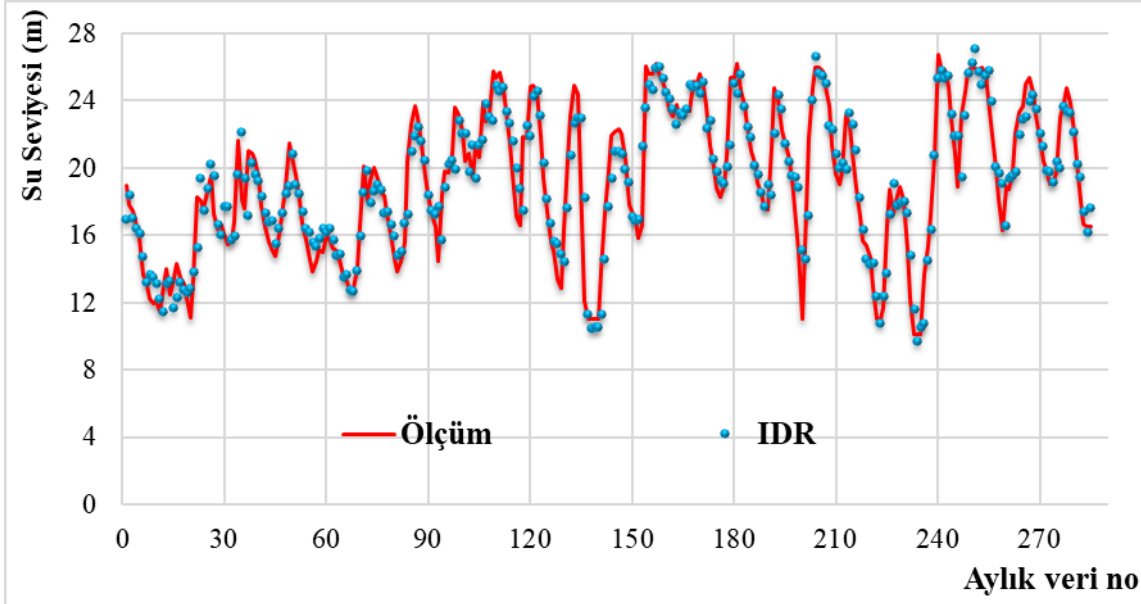
Interaction Çok değişkenli Regresyon (IDR) Yönteminin Sonuçları

IDR yönteminde, Alibey barajına ait; aylık su seviyesi (K_A) tahmini için aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. 1989-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, denklem 18'de IDR modelinin denklemi, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir. Oluşturulan bu IDR modelinin eğitim

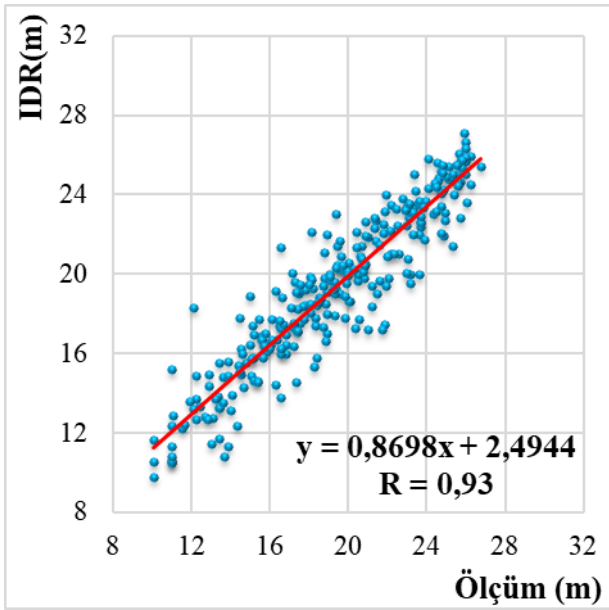
verilerinin $R=0.95$, $MAE=1.13$ ve $RMSE=1.54$, test verilerinin $R=0.95$, $MAE=0.79$ ve $RMSE=1.02$ sonuçları elde edilmiştir.

$$K_A = 1,05 + 0,82 * X_A - 15,08 * Y_A + 0,44 * Z_A + 0,29 * T_A + 0,87 * Q_A - 1,6 * X_A * Y_A + 0,044 * X_A * Z_A - 0,014 * X_A * T_A - 0,026 * X_A * Q_A - 1,79 * Y_A * Z_A + 0,61 * Y_A * T_A + 0,887 * Y_A * Q_A - 0,032 * Z_A * T_A - 0,005 * Z_A * Q_A - 0,0038 * T_A * Q_A$$

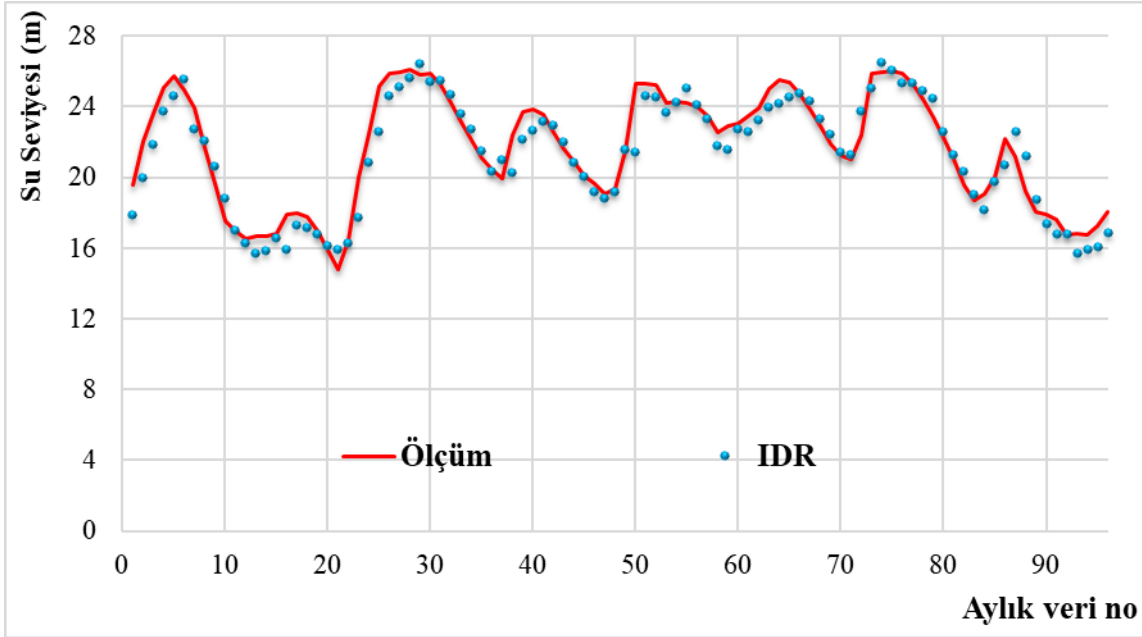
(18)



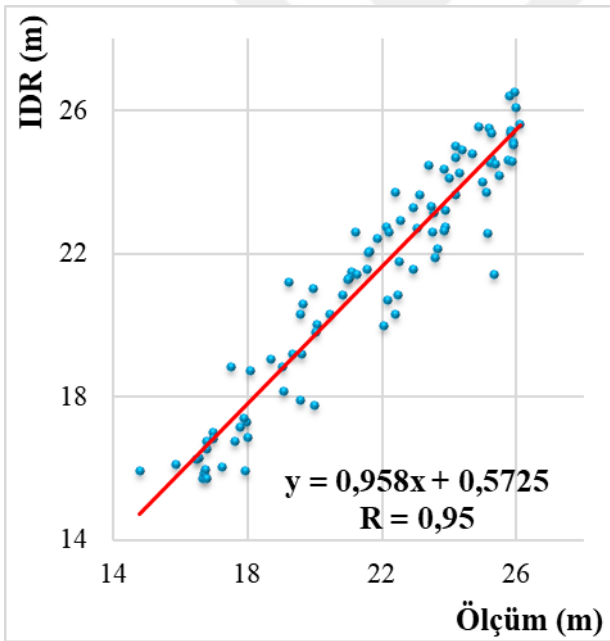
Şekil 4.20. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve IDR modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.21. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve IDR modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.22. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve IDR modeli dağılım grafiği (test)



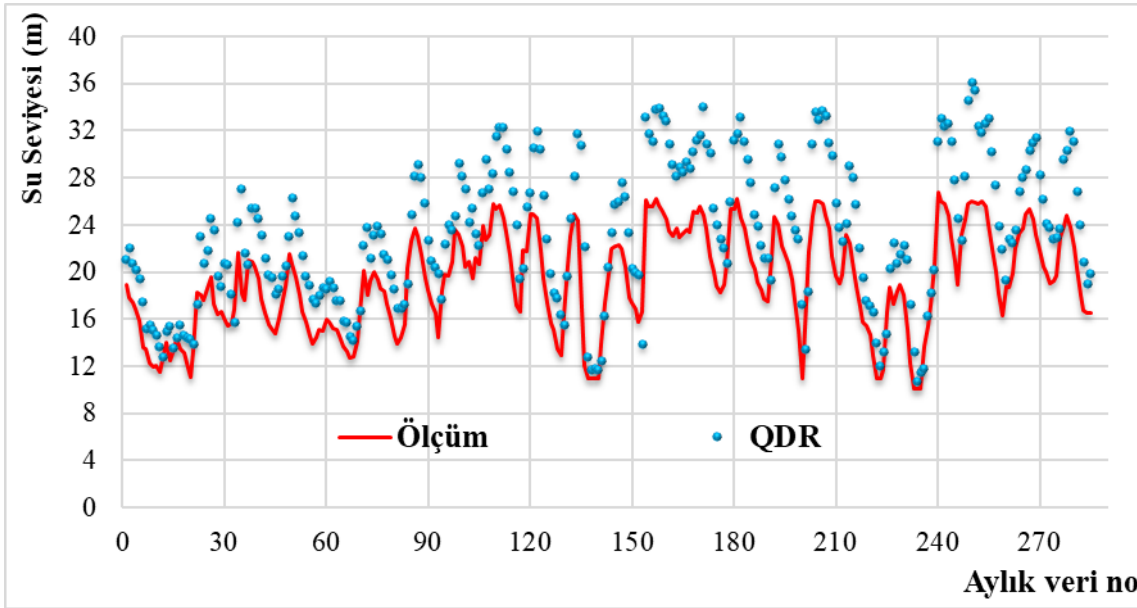
Şekil 4.23. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve IDR modeli saçılım grafiği (test)

Quadratic Çok değişkenli Regresyon (QDR) Yönteminin Sonuçları

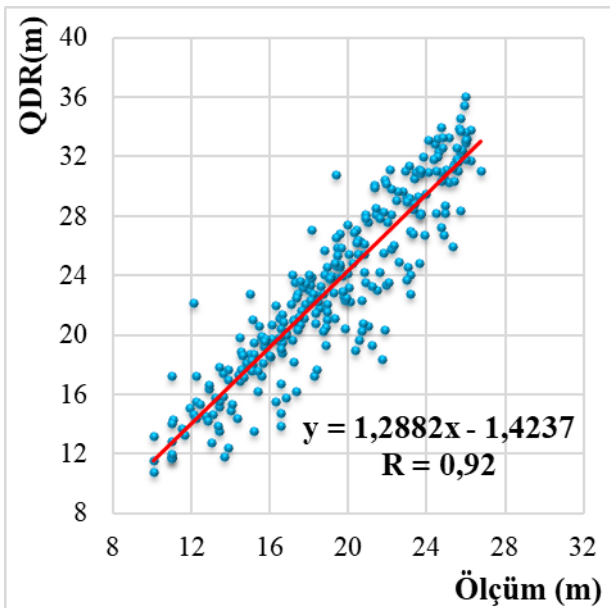
QDR yönteminde, Alibey barajına ait; aylık su seviyesi (K_A) tahmini için aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. 1989-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, denklem 19'da QDR modelinin denklemi, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te eğitim verileri

için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilmiştir. Oluşturulan bu QDR modelinin eğitim verilerinin R=0.91, MAE=4.29 ve RMSE=2.07, test verilerinin R=0.91, MAE=4.83 ve RMSE=5.35 sonuçları elde edilmiştir.

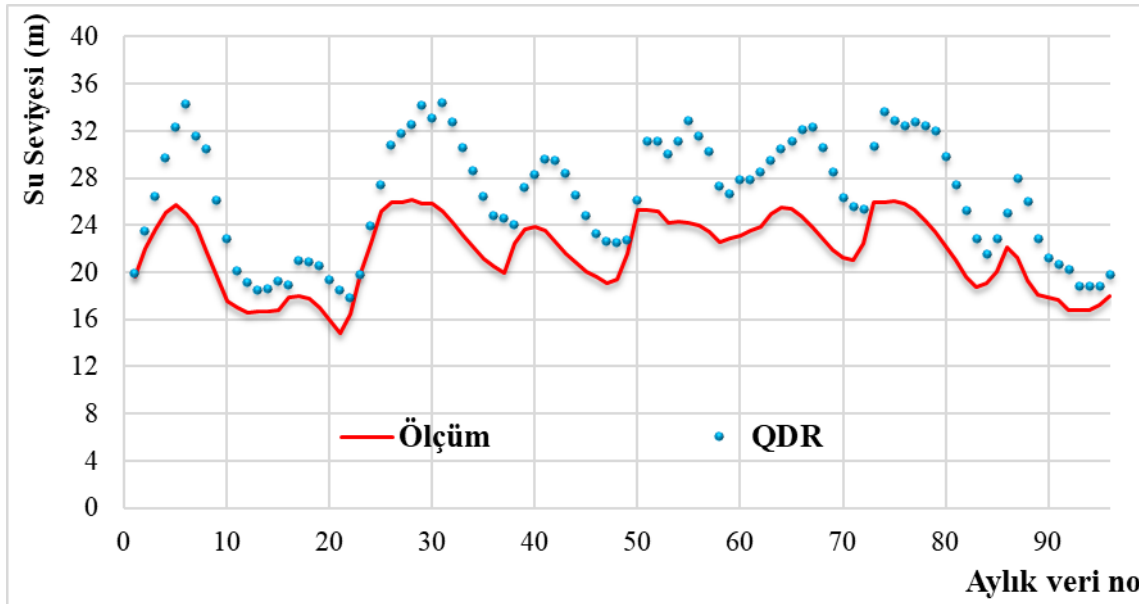
$$K_A = 1,05 + 0,82 * X_A - 15,08 * Y_A + 0,44 * Z_A + 0,29 * T_A + 0,87 * Q_A - 1,6 * X_A * Y_A + 0,044 * X_A * Z_A - 0,014 * X_A * T_A - 0,026 * X_A * Q_A - 1,79 * Y_A * Z_A + 0,61 * Y_A * T_A + 0,887 * Y_A * Q_A - 0,032 * Z_A * T_A - 0,005 * Z_A * Q_A - 0,0038 * T_A * Q_A + 0,019 * X_A^2 + 9,84 * Y_A^2 + 0,011 * Z_A^2 - 0,0075 * T_A^2 + 0,01 * Q_A^2 \quad (19)$$



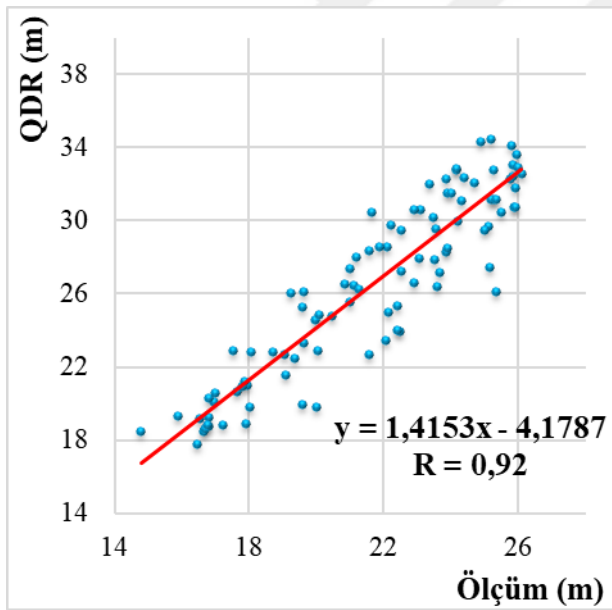
Şekil 4.24. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve QDR modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.25. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve QDR modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.26. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve QDR modeli dağılım grafiği (test)



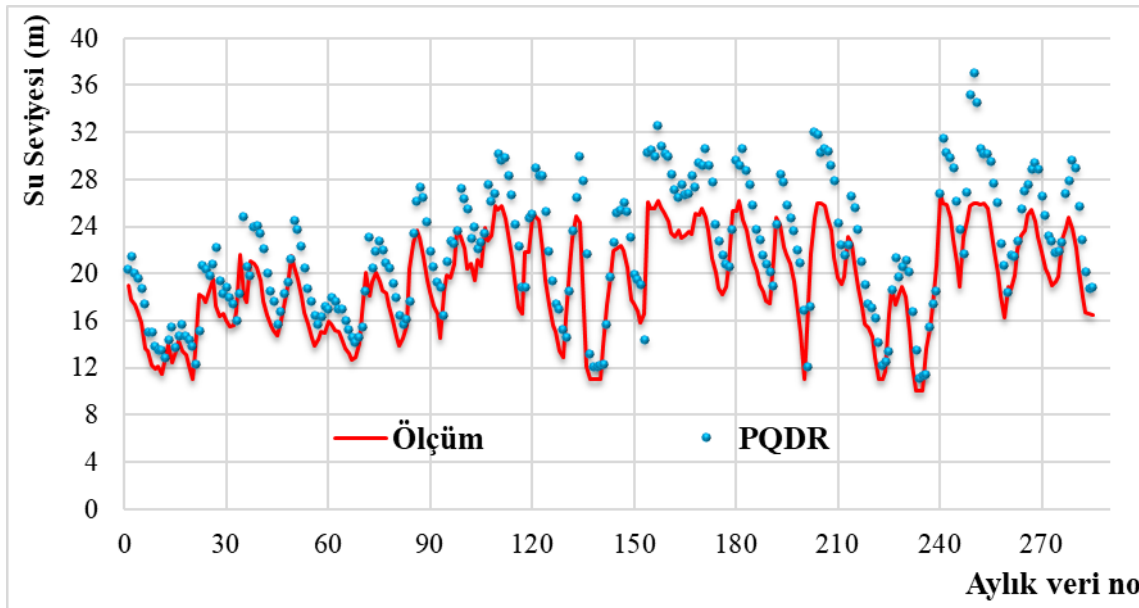
Şekil 4.27. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve QDR modeli saçılım grafiği (test)

Pure-Quadratic Çok değişkenli Regresyon (PQDR) Yönteminin Sonuçları

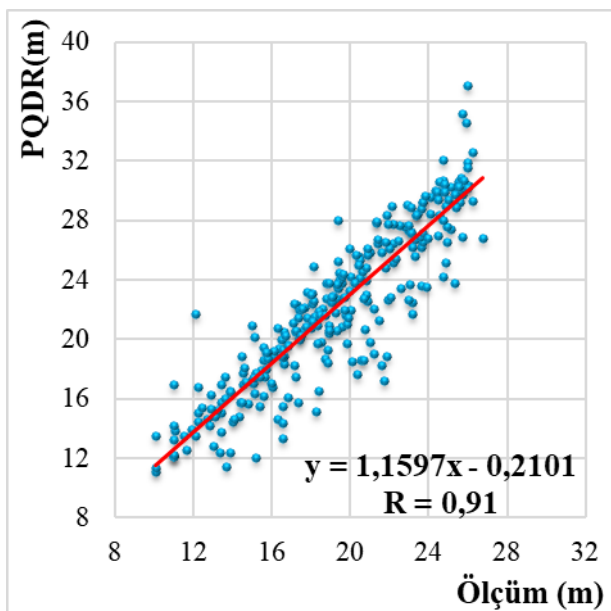
PQDR yönteminde, Alibey barajına ait; aylık su seviyesi (K_A) tahmini için aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. 1989-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, denklem 20'de PQDR modelinin denklemi, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da eğitim verileri

için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de verilmiştir. Oluşturulan bu PQDR modelinin eğitim verilerinin $R=0.92$, $MAE=3.23$ ve $RMSE=3.72$, test verilerinin $R=0.92$, $MAE=3.4$ ve $RMSE=3.74$ sonuçları elde edilmiştir.

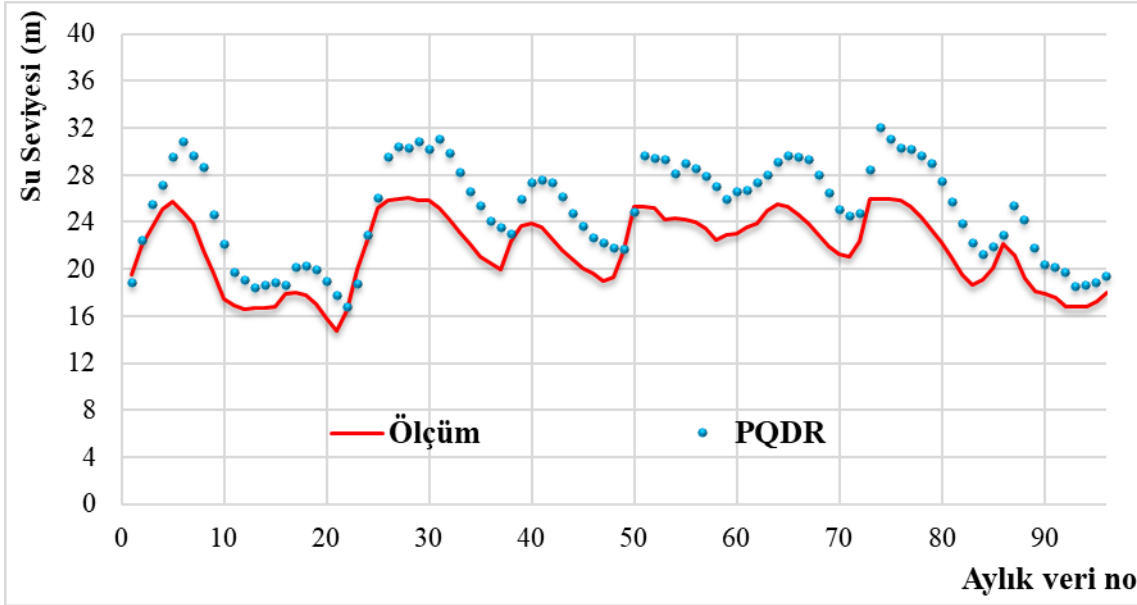
$$K_A = 1,096 * X_A - 2,25 * Y_A + 0,05 * Z_A + 0,098 * T_A + 0,9184 * Q_A + 0,02 * X_A^2 + 9,16 * Y_A^2 - 0,008 * Z_A^2 - 0,006 * T_A^2 + 0,0076 * Q_A^2 \quad (20)$$



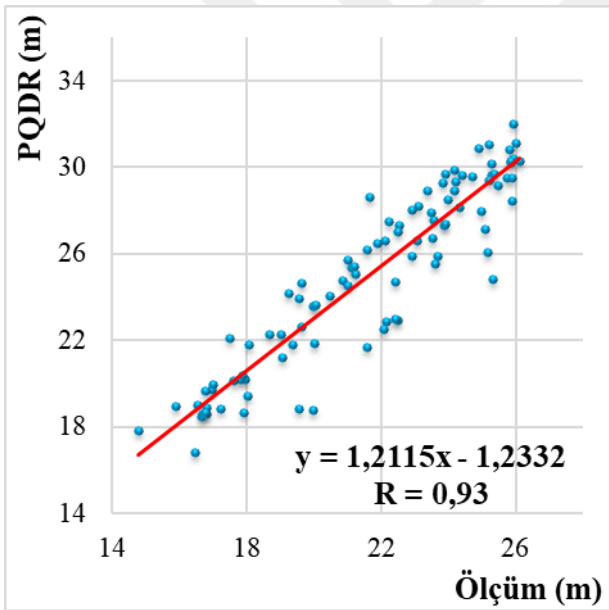
Şekil 4.28. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.29. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.30. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli dağılım grafiği (test)

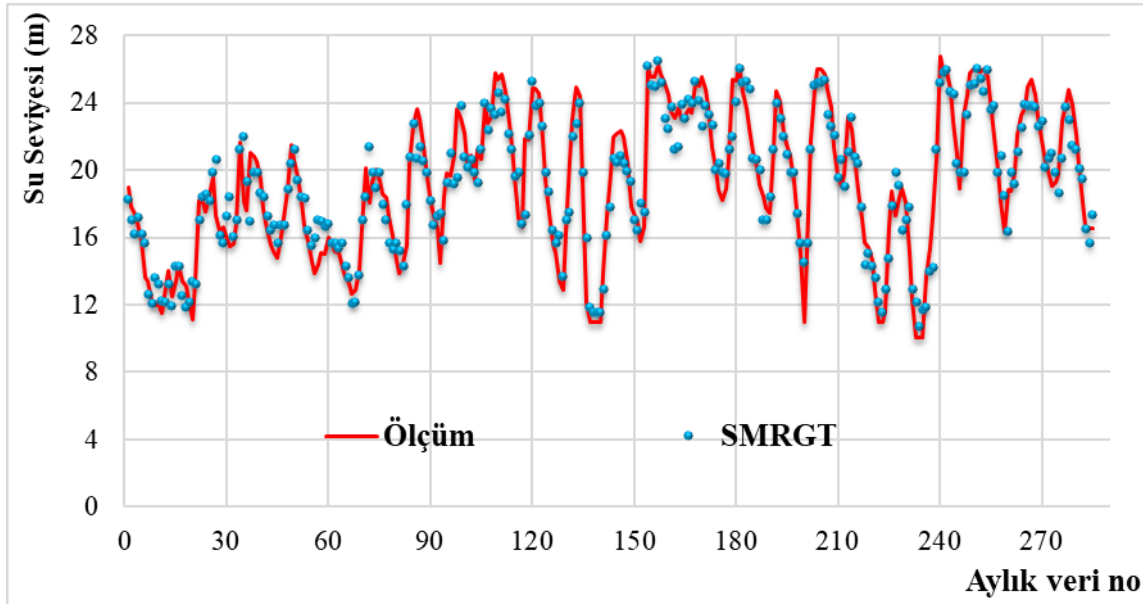


Şekil 4.31. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli saçılım grafiği (test)

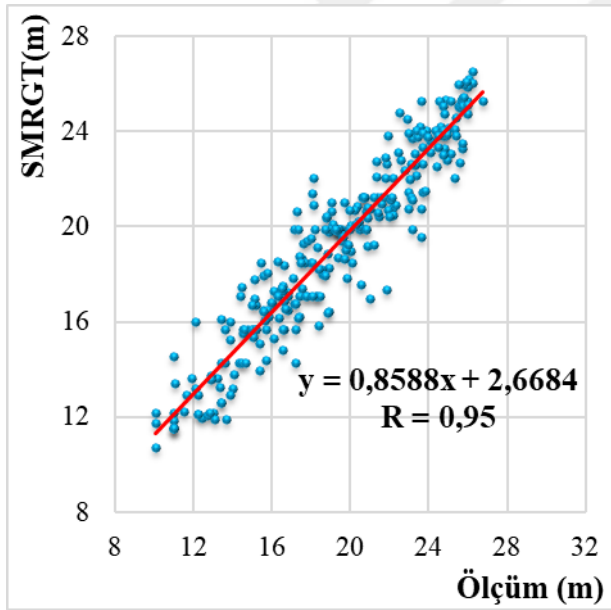
Bulanık SMRGT Yönteminin Sonuçları

Bulanık SMRGT yönteminde, Alibey barajına ait; aylık su seviyesi (K_A) tahmini için aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. 1989-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, Şekil 4.32 ve 4.33'te eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te gösterilmiştir. Oluşturulan bu Bulanık SMRGT modelinin eğitim verilerinin $R=0.96$,

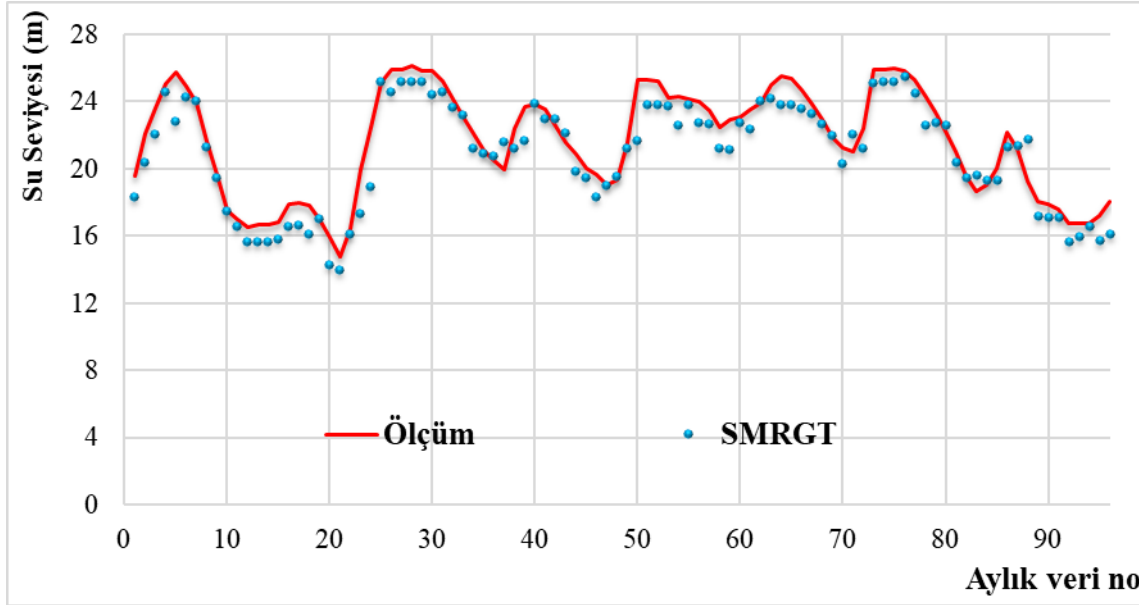
MAE=1.07 ve RMSE=1.38, test verilerinin R=0.96, MAE=0.93 ve RMSE=1.18 sonuçları elde edilmiştir.



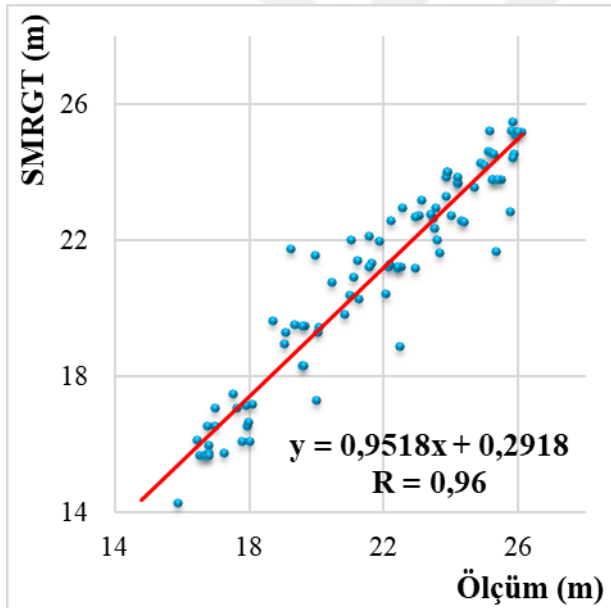
Şekil 4.32. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.33. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.34. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli dağılım grafiği (test)

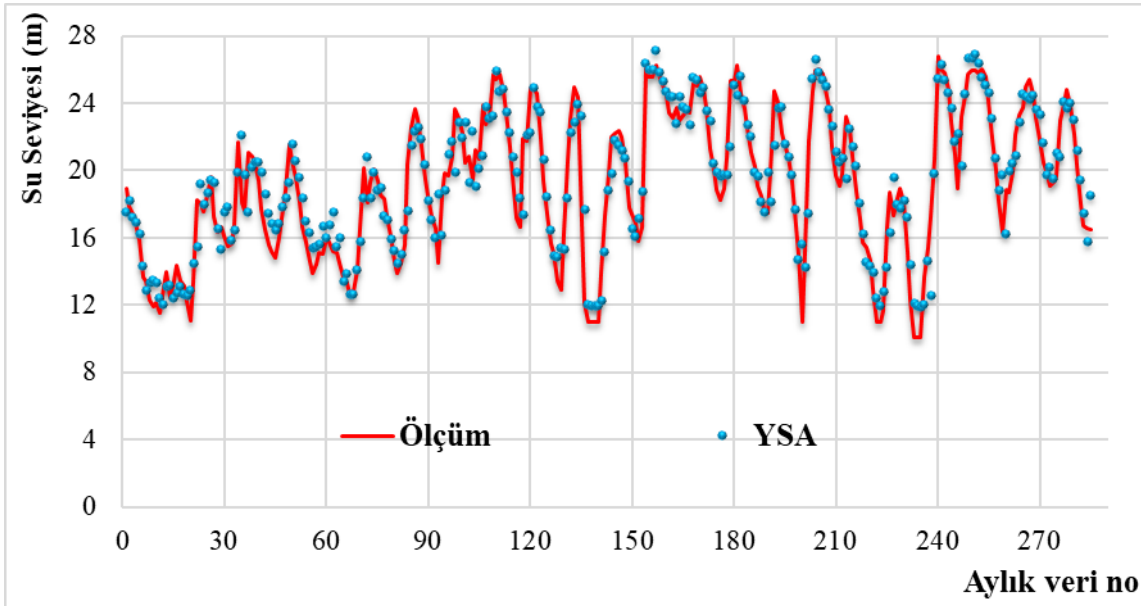


Şekil 4.35. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (test)

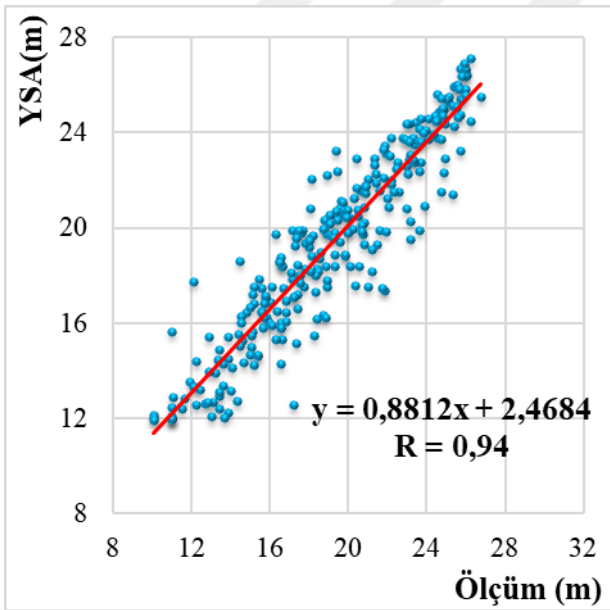
Yapay Sinir Ağları (YSA) Yönteminin Sonuçları

YSA yönteminde, Alibey barajına ait; aylık su seviyesi (K_A) tahmini için aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. 1989-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, Şekil 4.36 ve 4.37'de eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da gösterilmiştir.

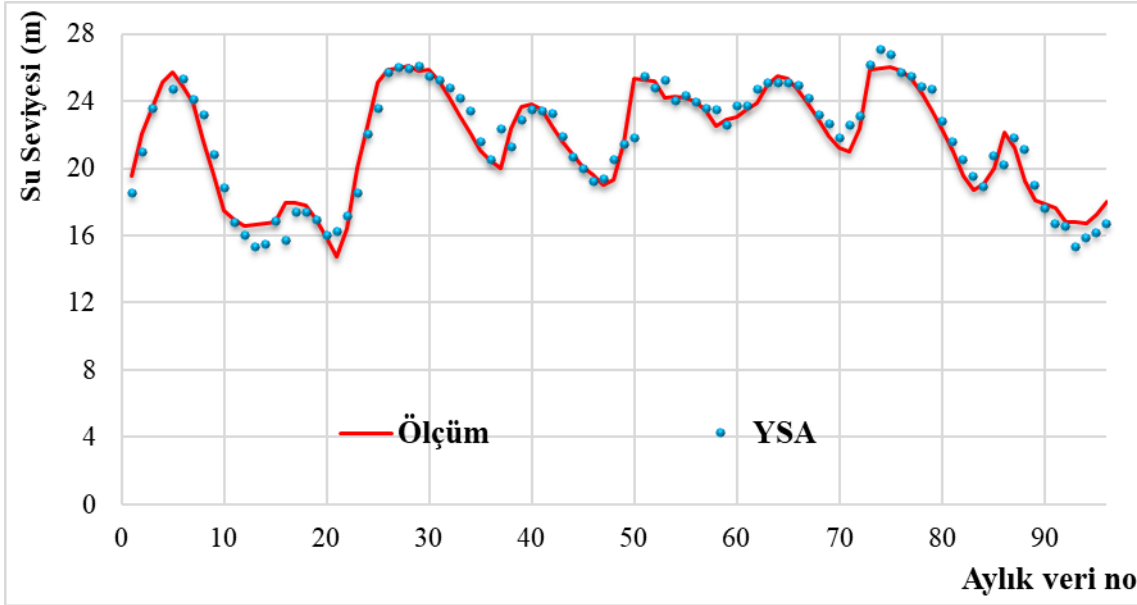
Oluşturulan bu YSA modelinin eğitim verilerinin $R=0.95$, $MAE=1.14$ ve $RMSE=1.52$, test verilerinin $R=0.95$, $MAE=0.7$ ve $RMSE=0.93$ sonuçları elde edilmiştir.



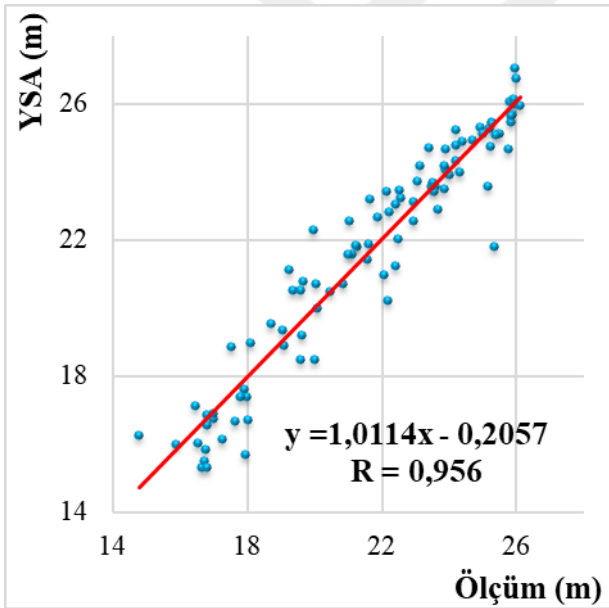
Şekil 4.36. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.37. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.38. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli dağılım grafiği (test)

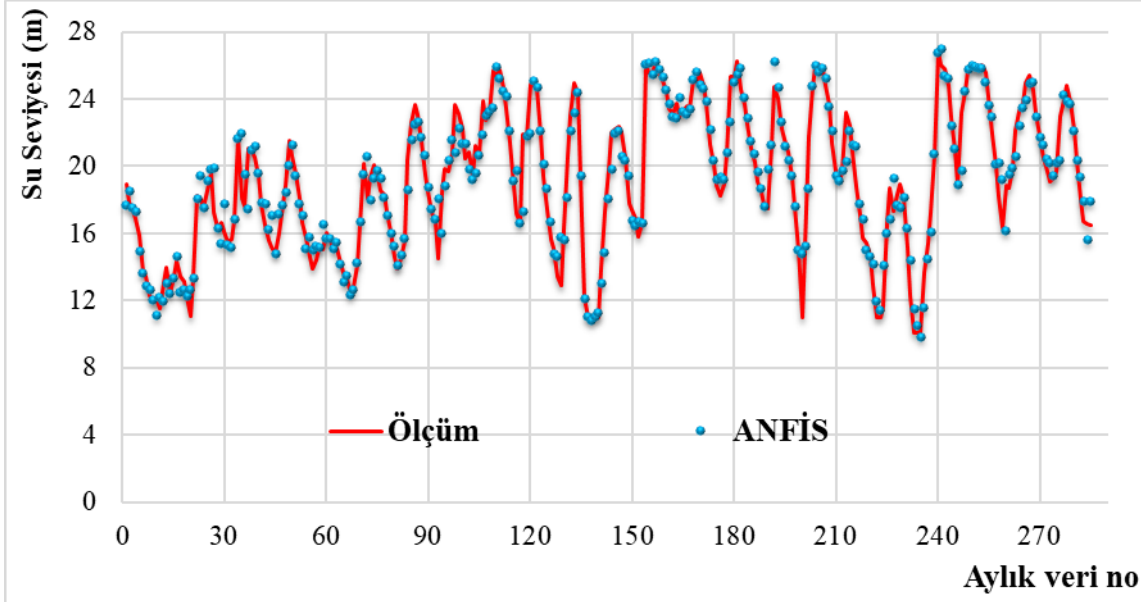


Şekil 4.39. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli saçılım grafiği (test)

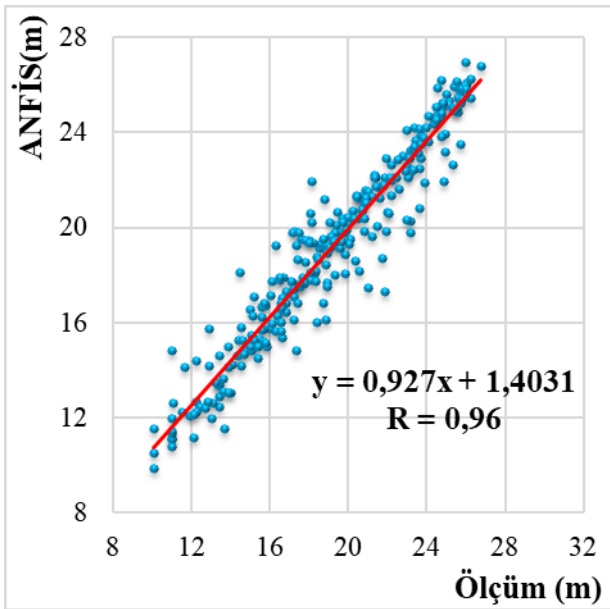
Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım sistemi (ANFIS) Yönteminin Sonuçları

ANFIS yönteminde, Alibey barajına ait; aylık su seviyesi (K_A) tahmini için tahmini için aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A), aylık göle gelen su miktarı (T_A) ve bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri kullanılmıştır. 1989-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, Şekil 4.40 ve 4.41'de eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te

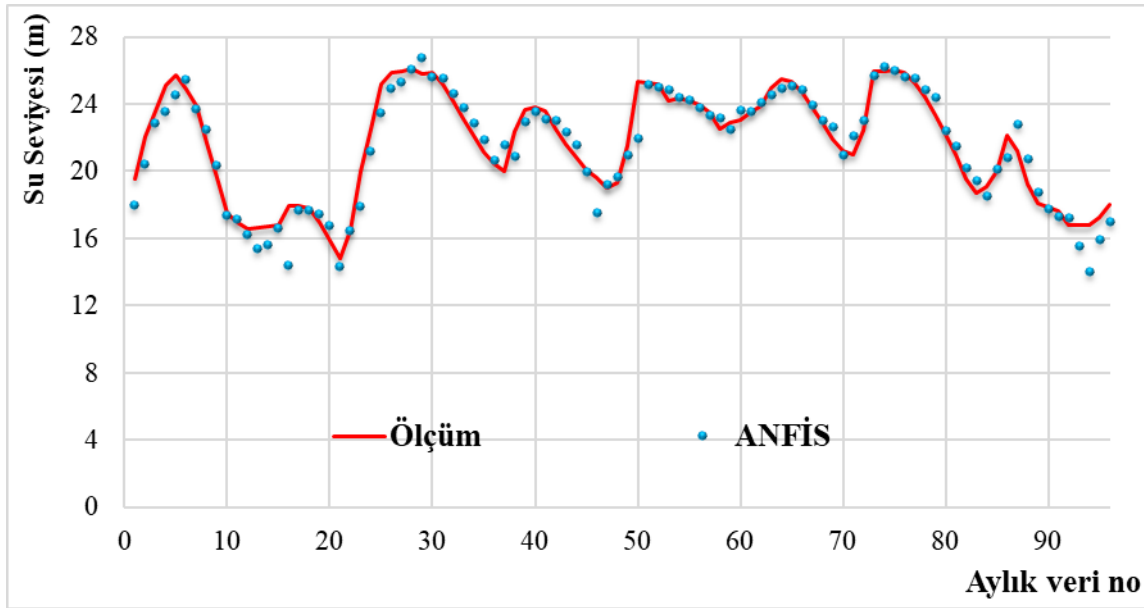
gösterilmiştir. Oluşturulan bu ANFIS modelinin eğitim verilerinin $R=0.96$, $MAE=0.77$ ve $RMSE=0.14$, test verilerinin $R=0.96$, $MAE=0.7$ ve $RMSE=0.97$ sonuçları elde edilmiştir.



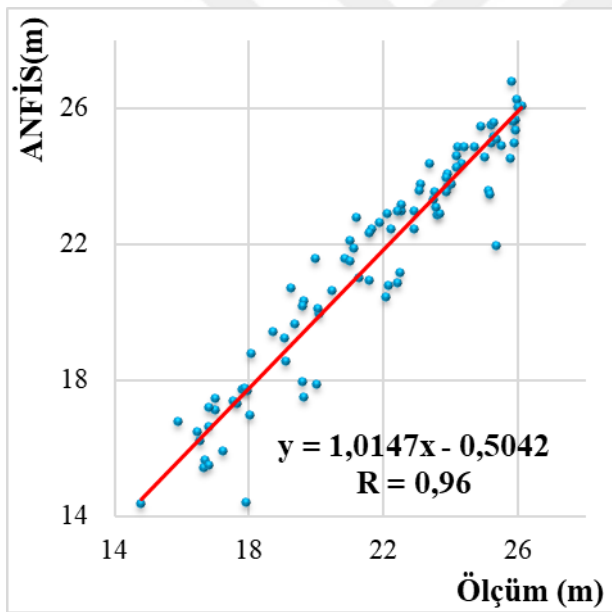
Şekil 4.40. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.41. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.42. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli dağılım grafiği (test)



Şekil 4.43. Aylık su seviyesi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli saçılım grafiği (test)

4.2.2. Günlük Baraj Hazne Hacmi Tahmin Modellerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, günlük 2190 veri için oluşturulan modellemelerin sonuçları sırasıyla; ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT modelleri aşağıda Çizelge 4.10'da eğitim verilerin ve Çizelge 4.11'de test verilerinin sonuçları gösterilmiştir. Her bir model için RMSE, MAE ve R değerleri hesaplanmıştır. ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT yöntemleri ile yapılan: RMSE, MAE ve R hesaplamaları için Alibey Barajına ait, günlük baraj hazne hacmi tahmini için: günlük buharlaşma miktarı, günlük yağış miktarı, günlük kullanılan su miktarı ve günlük Terkos Barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı ölçüm verileri kullanılmıştır. Daha sonra ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT yöntemlerinde ise günlük baraj hazne hacmine ait zaman serileri girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar model tahmini ve ölçüm verilerinin performanslarını karşılaştırmak için kullanılmıştır. RMSE ve MAE aşağıdaki Denklem 21 ve 22'yi kullanılarak belirlenmiştir.

$$RMSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Yi_{ölçüm} - Yi_{tahmin})^{1/2} \quad (21)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Yi_{ölçüm} - Yi_{tahmin}| \quad (22)$$

Buradan N veri sayısını ve Yi baraj hazne hacmi değerini temsil etmektedir.

Çizelge 4.10. Günlük eğitim verileri model performans karşılaştırması

Model	Model Inputs	MAE	RMSE	R
ÇDR	G _X , G _Y , G _Z , G _T , G _Q	0,02	200 717	0,99
IDR	G _X , G _Y , G _Z , G _T , G _Q	100	23 762 823	0,44
QDR	G _X , G _Y , G _Z , G _T , G _Q	101	24 040 519	0,92
PQDR	G _X , G _Y , G _Z , G _T , G _Q	0,27	230 733	0,99
YSA	G _X , G _Y , G _Z , G _T , G _Q	93 007	186 000	0,99
ANFIS	G _X , G _Y , G _Z , G _T , G _Q	85 000	186 400	0,99
SMRGT	G _X , G _Y , G _Z , G _T , G _Q	1 120 000	1 360 000	0,99

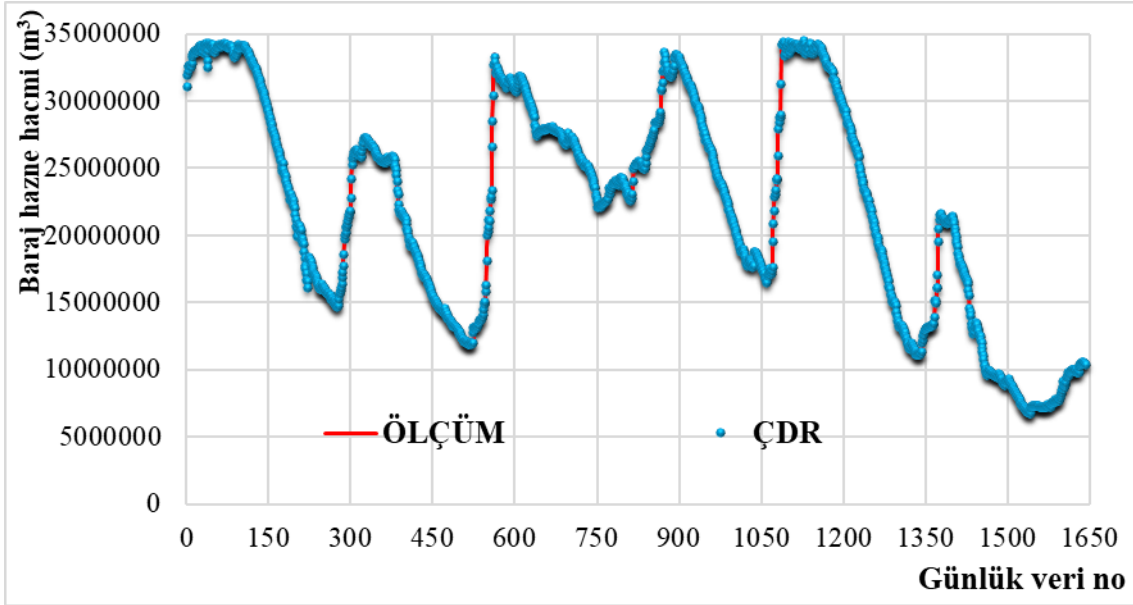
Çizelge 4.11. Günlük test verileri model performans karşılaştırması

Model	Model Inputs	MAE	RMSE	R
ÇDR	G_X, G_Y, G_Z, G_T, G_Q	0,093	190 510	0,99
IDR	G_X, G_Y, G_Z, G_T, G_Q	100	23 805 307	0,30
QDR	G_X, G_Y, G_Z, G_T, G_Q	101	23 560 369	0,92
PQDR	G_X, G_Y, G_Z, G_T, G_Q	0,34	231 000	0,99
YSA	G_X, G_Y, G_Z, G_T, G_Q	388 500	1 050 000	0,99
ANFIS	G_X, G_Y, G_Z, G_T, G_Q	110 000	346 000	0,99
SMRGT	G_X, G_Y, G_Z, G_T, G_Q	1 100 000	1 340 000	0,99

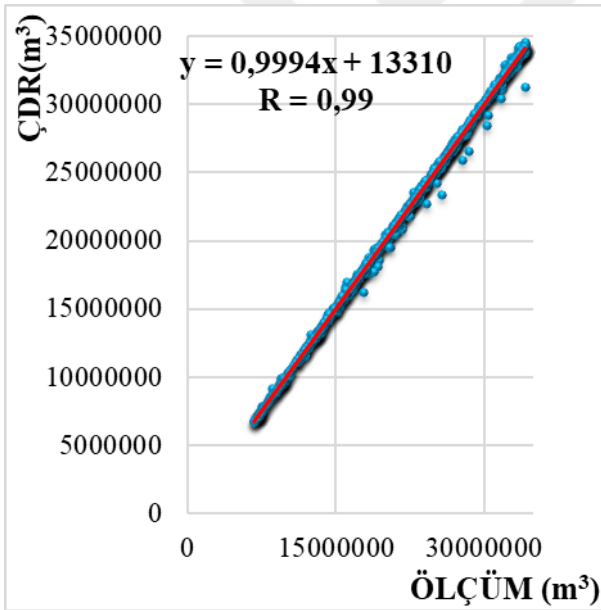
Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) Yöntemi Sonuçları

ÇDR yönteminde, Alibey barajına ait; G_K (günlük baraj hazne hacmi) tahmini için G_X (günlük buharlaşma miktarı), G_Y (günlük yağış miktarı), G_Z (günlük kullanılan su miktarı), G_T (günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı) ve G_Q (bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi) ölçüm verileri kullanılmıştır. 2015-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, denklem 23'te ÇDR modelinin elde edilmiş denklemi, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.46 ve Şekil 4.47'de verilmiştir. Oluşturulan bu ÇDR modelinin eğitim verilerinin $R=0.99$, $MAE=0.02$ ve $RMSE=40\ 287\ 366\ 387$, test verilerinin $R=0.99$, $MAE=0,093$ ve $RMSE=36\ 293\ 690\ 256$ sonuçları elde edilmiştir.

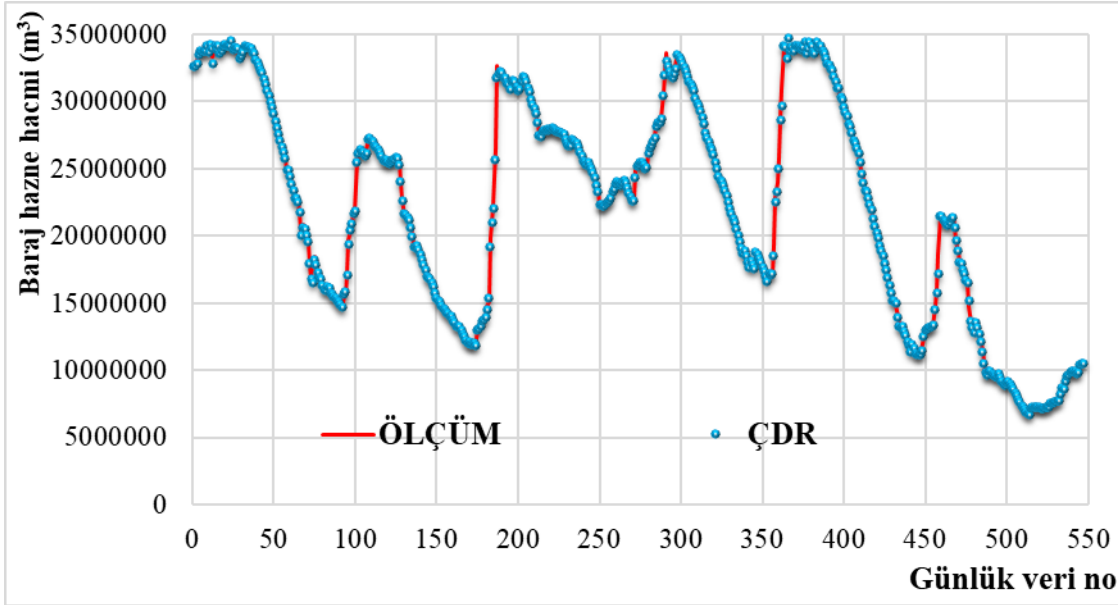
$$G_K = 33600 - 16620 * G_X + 15833 * G_Y - 0,862 * G_Z + 3,3342 * G_T + 1,0021 * G_Q \quad (23)$$



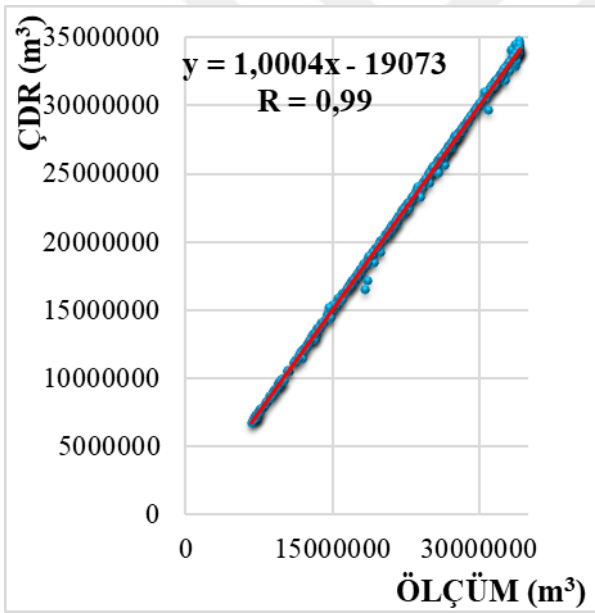
Şekil 4.44. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için Ölçüm ve ÇDR modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.45. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.46. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için Ölçüm ve ÇDR modeli dağılım grafiği (test)



Şekil 4.47. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ÇDR modeli saçılım grafiği (test)

Interaction Çok değişkenli Regresyon (IDR) Yöntemi Sonuçları

IDR yönteminde, Alibey barajına ait; G_K (günlük baraj hazne hacmi) tahmini için G_X (günlük buharlaşma miktarı), G_Y (günlük yağış miktarı), G_Z (günlük kullanılan su miktarı), G_T (günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı) ve G_Q (bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi) ölçüm verileri kullanılmıştır. 2015-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, denklem 24'te IDR modelinin denklemine verilmiştir Oluşturulan bu IDR modelinin eğitim verilerinin $R=0.44$, $MAE=100$ ve

RMSE=560 000 000 000 000, test verilerinin R=0.30 MAE=100 ve RMSE=560 000 000 000 000 sonuçları elde edilmiştir.

IDR modelinin hata değerinin bu kadar yüksek çıkmasının nedeni günlük ölçülen verilerin birden fazlası sıfır olmasından dolayıdır. Bu da bu yöntemde bazı katsayıları değersiz bir şekilde verdiğiinden dolayı sonuçlar böyle çıkmıştır.

$$G_K = 0 + 0 * G_X + 0 * G_Y + 0 * G_Z + 0 * G_T + 0 * G_Q + 0 * G_X * G_Y + 0 * G_X * G_Z + 0 * G_X * G_T + 0 * G_X * G_Q + 0 * G_Y * G_Z + 0 * G_Y * G_T + 0,000168 * G_Y * G_Q + 21899000000000 * G_Z * G_T - 0,0000000 * G_Z * G_Q - 4240200000 * G_T * G_Q \quad (24)$$

Quadratic Çok değişkenli Regresyon (QDR) Yöntemi Sonuçları

QDR yönteminde, Alibey barajına ait; G_K (günlük baraj hazne hacmi) tahmini için G_X (günlük buharlaşma miktarı), G_Y (günlük yağış miktarı), G_Z (günlük kullanılan su miktarı), G_T (günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı) ve G_Q (bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi) ölçüm verileri kullanılmıştır. 2015-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda denklem 25'te QDR modelinin denklemi verilmiştir. Oluşturulan bu QDR modelinin eğitim verilerinin R=0.92, MAE=101 ve RMSE=570 000 000 000 000 test verilerinin R=0.92, MAE=101 ve o RMSE=570 000 000 000 000 sonuçları elde edilmiştir.

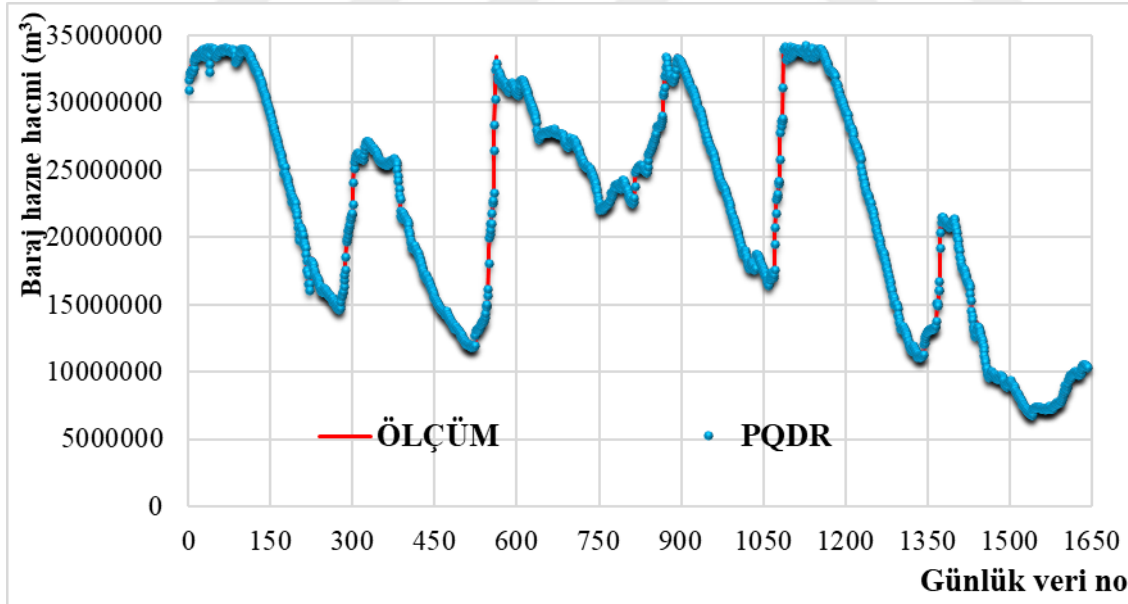
QDR modelinin hata değerinin bu kadar yüksek çıkmasının nedeni günlük ölçülen verilerin birden fazlası sıfır olmasından dolayıdır. Bu da bu yöntemde bazı katsayıları değersiz bir şekilde verdiğiinden dolayı sonuçlar böyle çıkmıştır.

$$G_K = 0 + 0 * G_X + 0 * G_Y + 0 * G_Z + 0 * G_T + 0 * G_Q + 0 * G_X * G_Y + 0 * G_X * G_Z + 0 * G_X * G_T + 0 * G_X * G_Q + 0 * G_Y * G_Z + 0 * G_Y * G_T + 0,000168 * G_Y * G_Q + 21899000000000 * G_Z * G_T - 0,0000000 * G_Z * G_Q - 4240200000 * G_T * G_Q + 1488,2 * G_X^2 - 102,3327 * G_Y^2 - 0,0000018048 * G_Z^2 - 1523600000000000 * G_T^2 - 0,00000000031805 * G_Q^2 \quad (25)$$

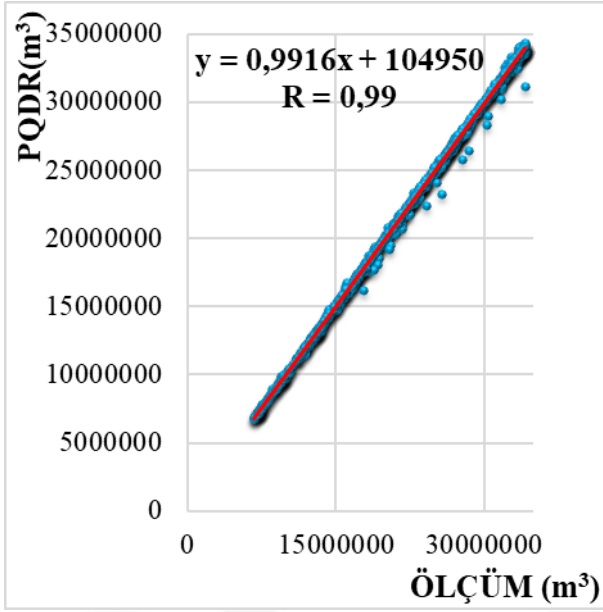
Pure-Quadratic Çok değişkenli Regresyon (PQDR) Yöntemi Sonuçları

PQDR yönteminde, Alibey barajına ait; G_K (günlük baraj hazne hacmi) tahmini için G_X (günlük buharlaşma miktarı), G_Y (günlük yağış miktarı), G_Z (günlük kullanılan su miktarı), G_T (günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı) ve G_Q (bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi) ölçüm verileri kullanılmıştır. 2015-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda denklem 26'da PQDR modelinin denklemi, Şekil 4.48 ve Şekil 4.49'da eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.50 ve Şekil 4.51'de verilmiştir. Oluşturulan bu PQDR modelinin eğitim verilerinin $R=0.99$, $MAE=0.27$ ve $RMSE=53\ 237\ 543\ 965$, test verilerinin $R=0.99$, $MAE=0.34$ ve $RMSE=53\ 237\ 543\ 965$ sonuçları elde edilmiştir.

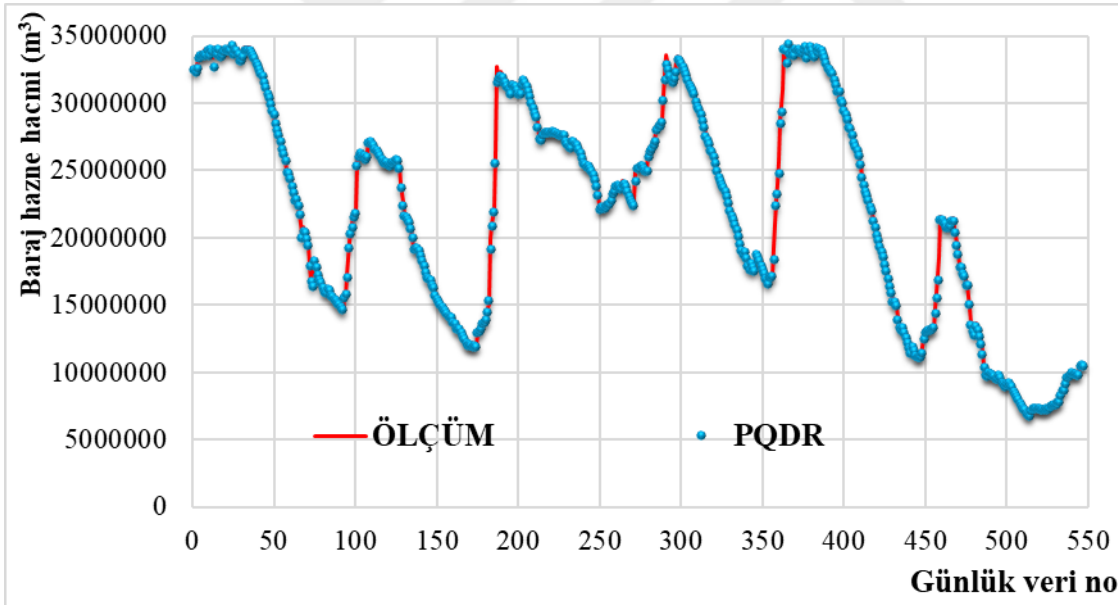
$$G_K = 33600 - 16620 * G_X + 15833 * G_Y - 0,862 * G_Z + 3,3342 * G_T + 1,0021 * G_Q + 2549,8 * G_X^2 - 72,03G_Y^2 - 0,0000018G_Z^2 + 732840000000 * G_T^2 - 0,00000000015205 * G_Q^2 \quad (26)$$



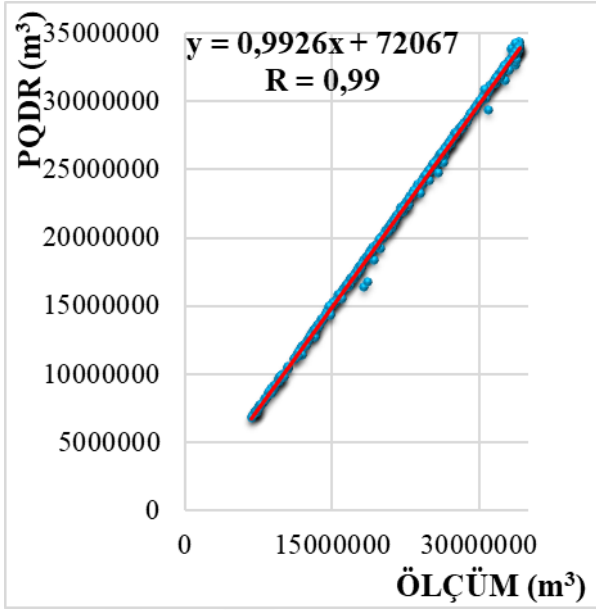
Şekil 4.48. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.49. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli saçılım grafiği (eğitim)



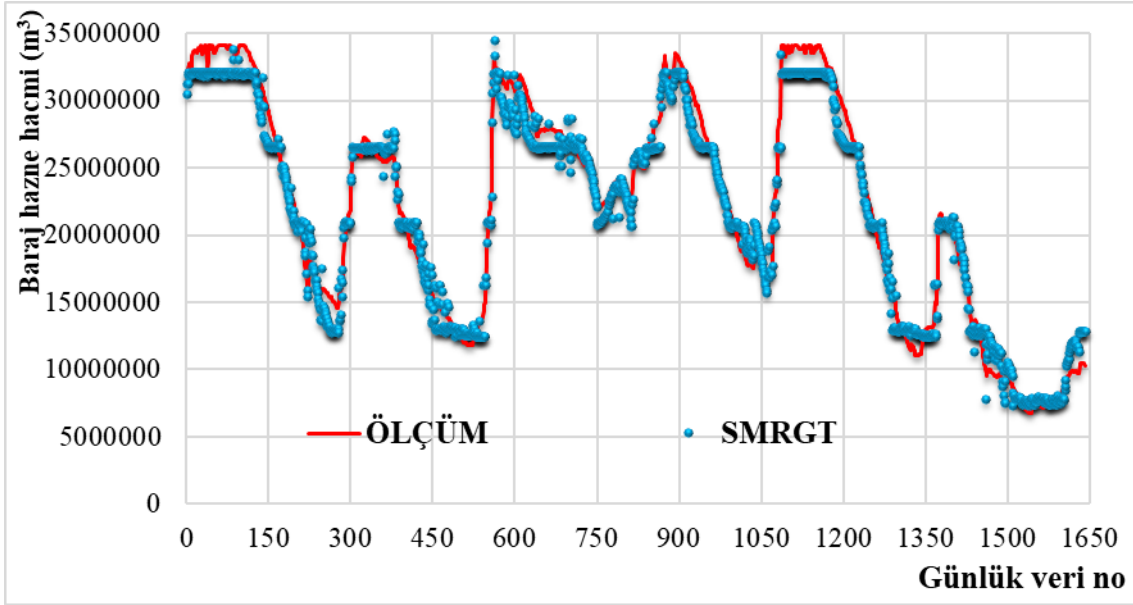
Şekil 4.50. günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli dağılım grafiği (test)



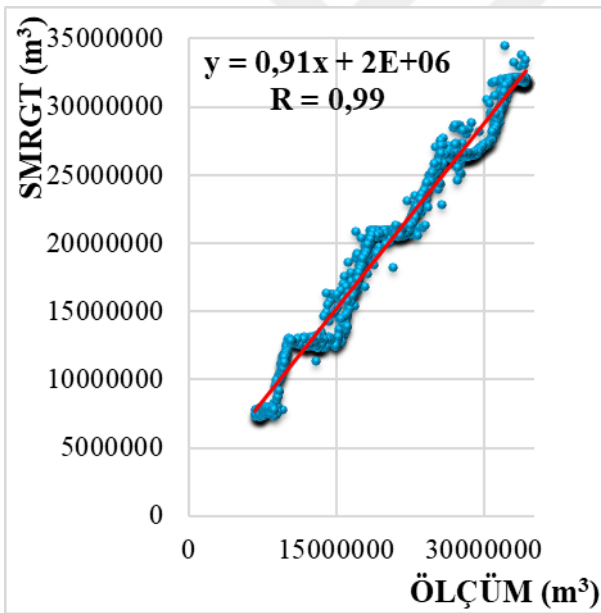
Şekil 4.51. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve PQDR modeli saçılım grafiği (test)

Bulanık SMRGT Yöntemi Sonuçları

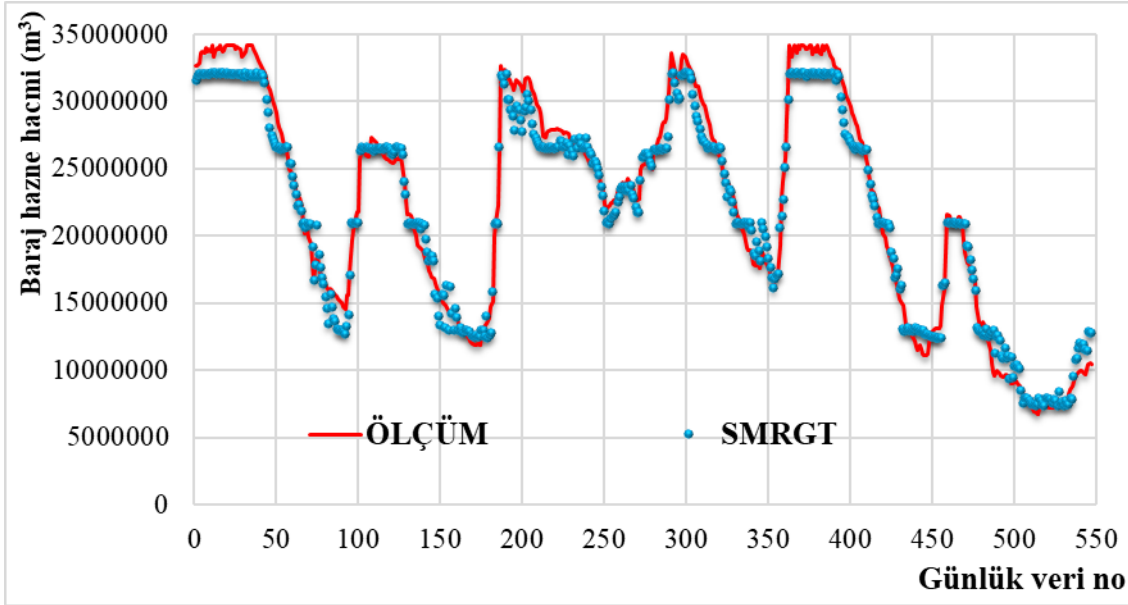
Bulanık SMRGT yönteminde, Alibey barajına ait; G_K (günlük baraj hazne hacmi) tahmini için G_X (günlük buharlaşma miktarı), G_Y (günlük yağış miktarı), G_Z (günlük kullanılan su miktarı), G_T (günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı) ve G_Q (bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi) ölçüm verileri kullanılmıştır. 2015-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, Şekil 4.52 ve 4.53'te eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'te gösterilmiştir. Oluşturulan bu Bulanık SMRGT modelinin eğitim verilerinin $R=0.99$, $MAE=1\ 120\ 000$ ve $RMSE=1\ 360\ 000$, test verilerinin $R=0.99$, $MAE=1\ 100\ 000$ ve $RMSE=1\ 340\ 000$ sonuçları elde edilmiştir.



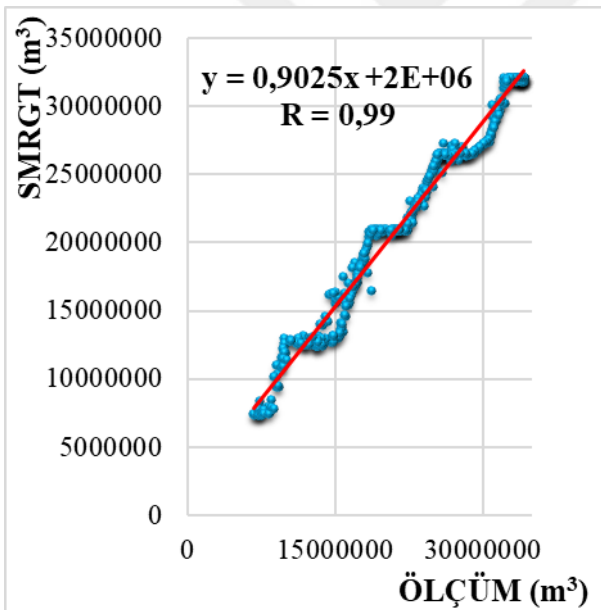
Şekil 4.52. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.53. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.54. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli dağılım grafiği (test)

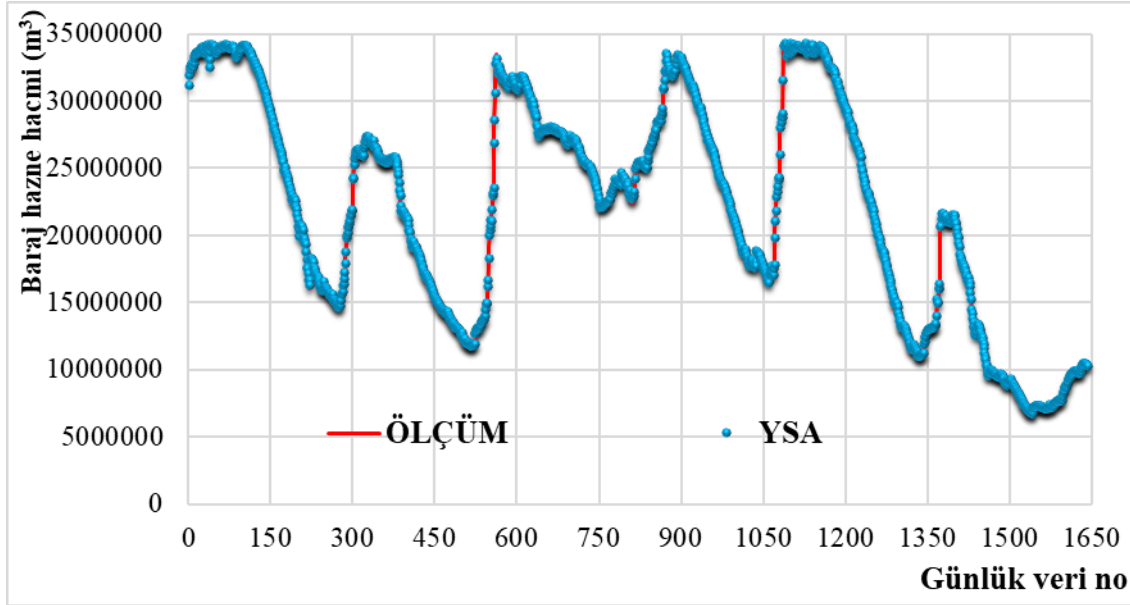


Şekil 4.55. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (test)

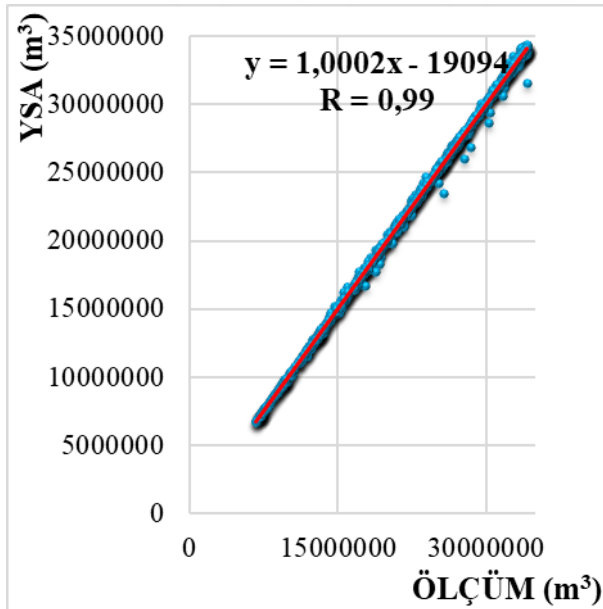
Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi Sonuçları

YSA yönteminde, Alibey barajına ait; G_K (günlük baraj hazne hacmi) tahmini için G_X (günlük buharlaşma miktarı), G_Y (günlük yağış miktarı), G_Z (günlük kullanılan su miktarı), G_T (günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı) ve G_Q (bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi) ölçüm verileri kullanılmıştır. 2015-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, Şekil 4.56 ve 4.57'de eğitim verileri

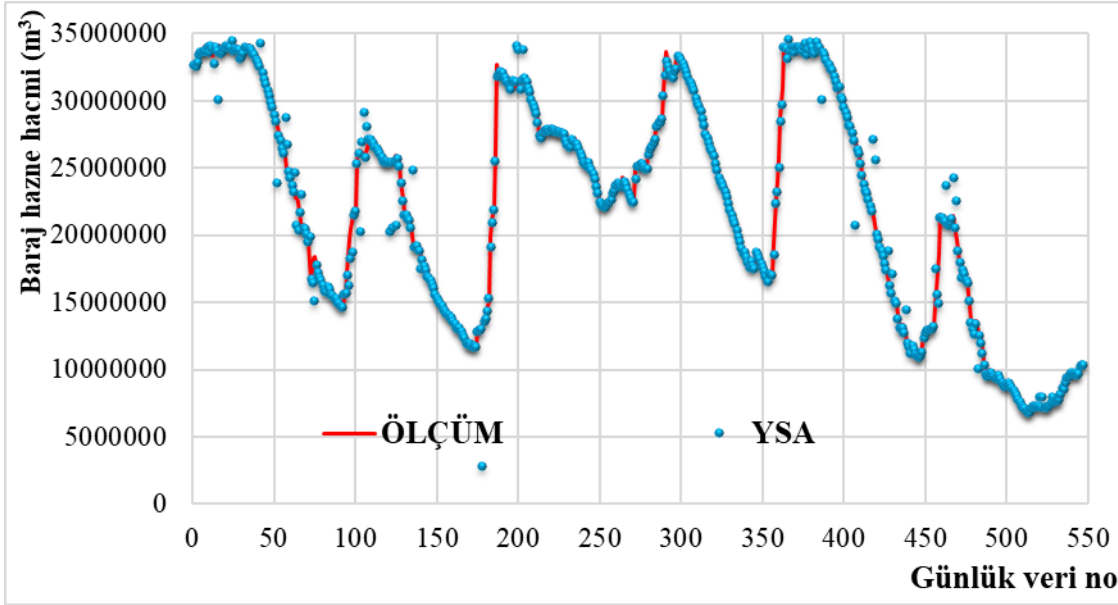
için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.58 ve Şekil 4.59’da gösterilmiştir. Oluşturulan bu YSA modelinin eğitim verilerinin $R=0.99$, $MAE=93\ 007$ ve $RMSE=186\ 000$, test verilerinin $R=0.99$, $MAE=110\ 000$ ve $RMSE=1\ 050\ 000$ sonuçları elde edilmiştir.



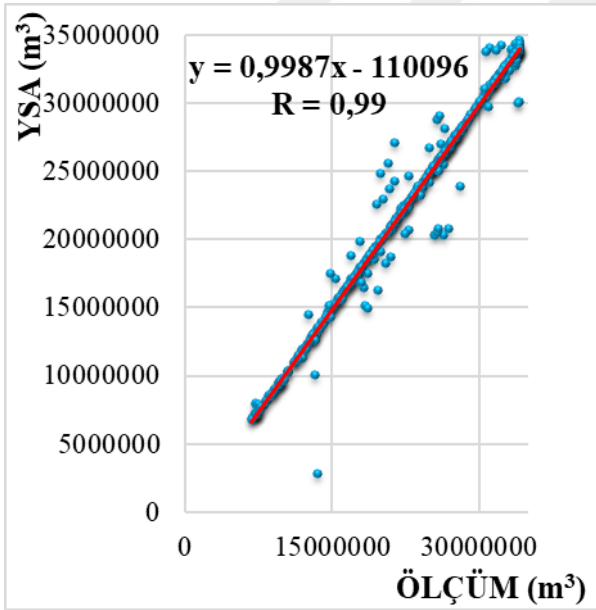
Şekil 4.56. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.57. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli saçılım grafiği (eğitim)



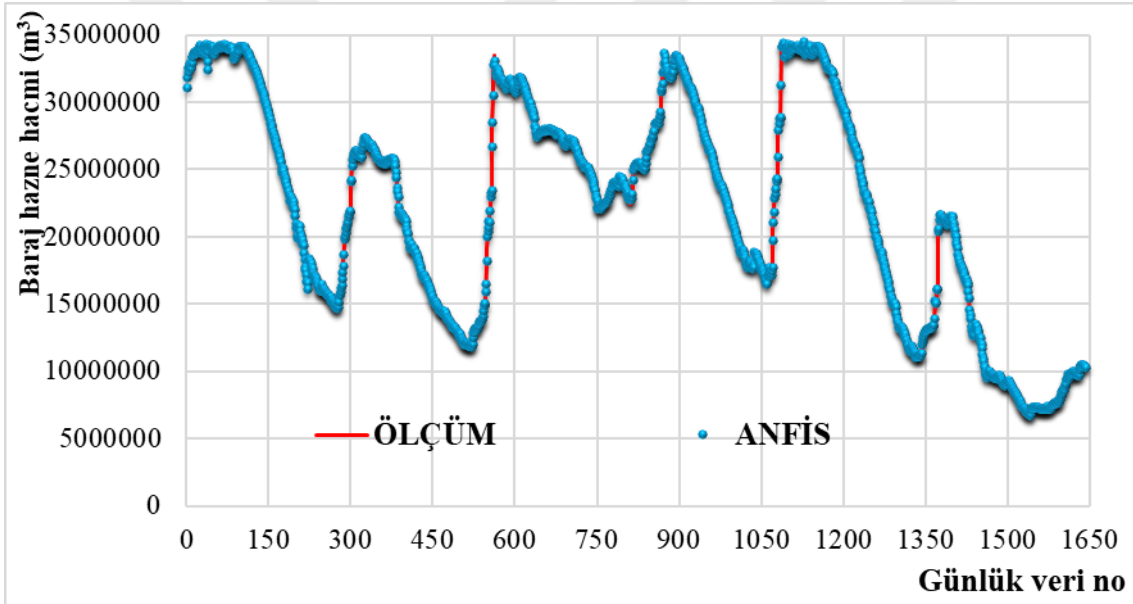
Şekil 4.58. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve YSA modeli dağılım grafiği (test)



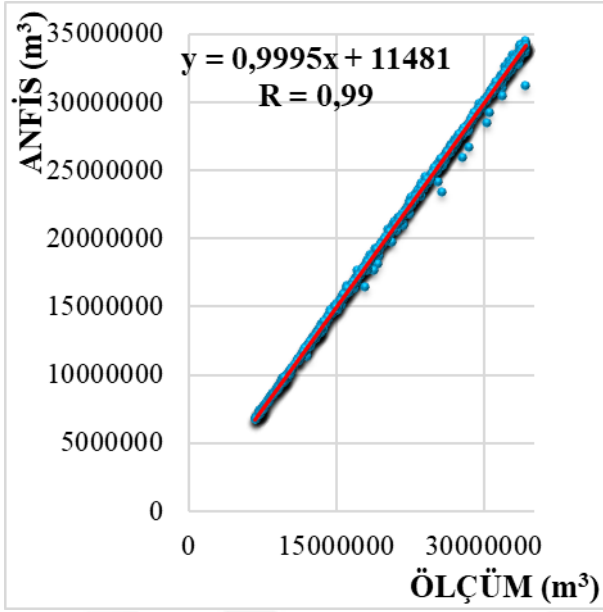
Şekil 4.59. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve SMRGT modeli saçılım grafiği (test)

Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım sistemi (ANFIS) Yöntemi Sonuçları

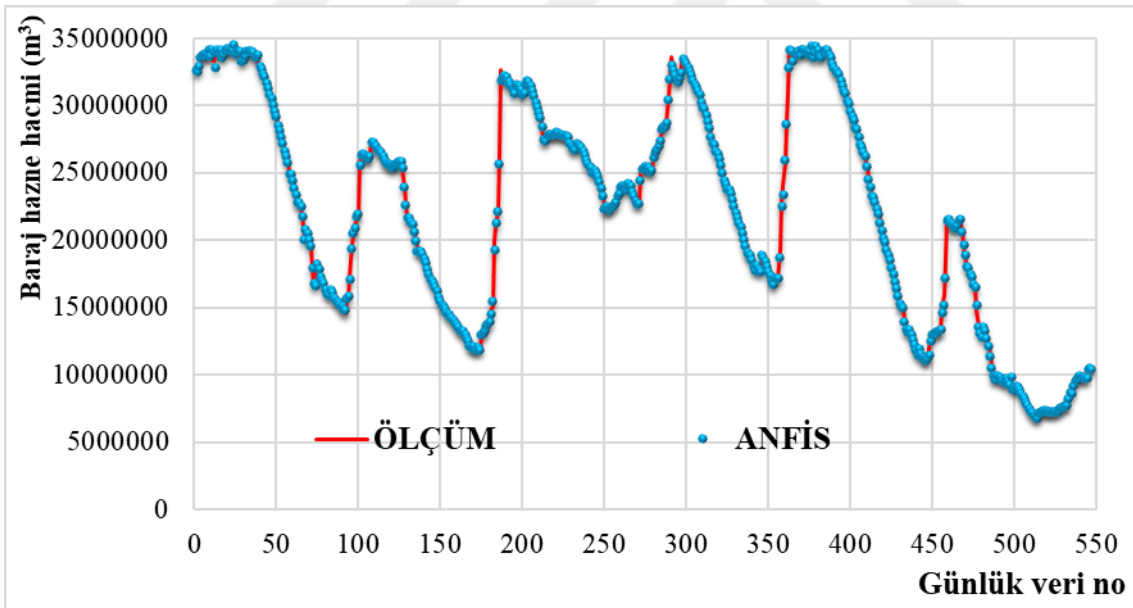
ANFIS yönteminde, Alibey barajına ait; G_K (günlük baraj hazne hacmi) tahmini için G_X (günlük buharlaşma miktarı), G_Y (günlük yağış miktarı), G_Z (günlük kullanılan su miktarı), G_T (günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı) ve G_Q (bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi) ölçüm verileri kullanılmıştır. 2015-2020 yıllarına ait ölçüm verilerinin %75 eğitim %25 ise test verisi olarak uygulanmıştır. Aşağıda, Şekil 4.60 ve 4.61’de eğitim verileri için dağılım ve saçılma grafiği verilmiştir. Ayrıca, test verilerine ait dağılım ve saçılma grafikleri Şekil 4.62. ve Şekil 4.63’te gösterilmiştir. Oluşturulan bu ANFIS modelinin eğitim verilerinin $R=0.99$, $MAE=85\ 000$ ve $RMSE=186\ 400$, test verilerinin $R=0.99$, $MAE=110\ 000$ ve $RMSE=346\ 000$ sonuçları elde edilmiştir.



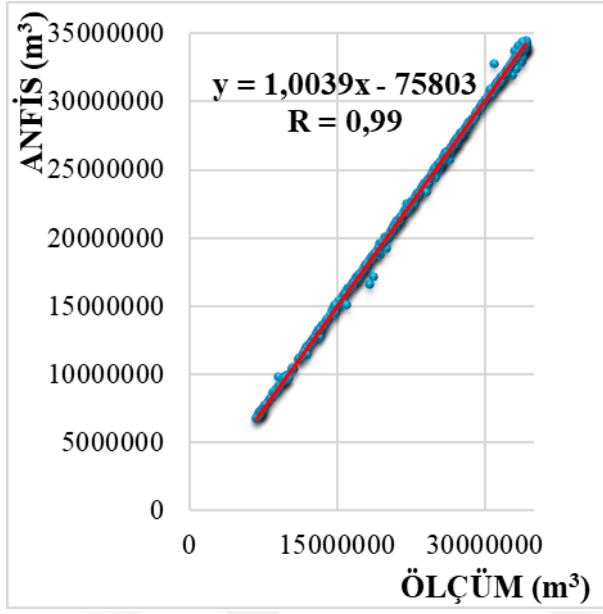
Şekil 4.60. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli dağılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.61. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için Ölçüm ve ANFİS modeli saçılım grafiği (eğitim)



Şekil 4.62. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ANFİS modeli dağılım grafiği (test)



Şekil 4.63. Günlük baraj hazne hacmi değişimleri için ölçüm ve ANFIS modeli saçılım grafiği (test)

5. SONUÇ

Bu çalışmada, aylık baraj su seviyesi ve günlük baraj hazne hacmi için ÇDR, IDR, PQDR, QDR, ANFIS, YSA ve BULANIK SMRGT modeli ile tahmin edilerek araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışma hem aylık su seviyesi hem de günlük baraj hazne hacmi olarak iki farklı şekilde çalışılarak performans karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma alanı olarak İstanbul ili Sultangazi ilçesinde bulunan Alibey Barajı çalışılmıştır.

İlk olarak Alibey Barajı'nın aylık su seviye değişimleri için, aylık barajdan deşarj yapılan su miktarı (X_A), aylık buharlaşma miktarı (Y_A), aylık içme su miktarı (Z_A) ve aylık göle gelen su miktarı (T_A), bir ay önceki aylık su seviyesi (Q_A) ölçüm verileri için aylık 381 verinin 285'i eğitim için, 96'sı ise test olarak ayrılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur. İstatistiksel performans değerlendirme ölçütü olarak R, MAE ve RMSE kullanılmıştır. Aylık model karşılaştırılmalarında modeller oldukça birbirlerine yakın sonuç verdiği gözlenmiştir. Bulanık SMRGT yönteminin diğerlerine göre az da olsa iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Günlük olarak ise Alibey Barajı'nın günlük baraj hazne hacmi (G_K) tahmini için, günlük buharlaşma miktarı (G_X), günlük yağış miktarı (G_Y), günlük kullanılan su miktarı (G_Z), günlük Terkos barajından Alibey barajına aktarılan su miktarı (G_T) ve bir gün önceki günlük baraj hazne hacmi (G_Q) ölçüm verileri için günlük 2190 verinin 1643'ü eğitim için, 547'si test olarak ayrılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur. İstatistiksel performans değerlendirme ölçütü olarak R, MAE ve RMSE kullanılmıştır. Aylık model karşılaştırılmalarında modeller oldukça birbirlerine yakın sonuç verdiği gözlenmiştir.

Çalışma sonucunda bu çalışmada kullanılan yapay zekâ yöntemlerinin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntemler su seviye değişimi ve baraj hazne hacminin tahmininde önerilmekte olup problem çözümünde oldukça yararlı bir tahmin kaynağı olabileceği gözlemlenmiştir.

Bulanık SMRGT yönteminin uygulanışı bakımından açık olması diğer yöntemlere göre daha güvenilir olduğu belirtilebilir. Bulanık SMRGT yönteminin diğer önemli özelliği ise verilerin yüzde yüz doğru olmamasında bile diğer yöntemlere göre oldukça rahat uygulanabiliridir. Başka bir güzel yanı ise baraj hazne hacmini ya da su değişimleri etkileyen parametreler eksik olsa dahi uzman görüşü ile bu yöntem uygulanabilir yapay zekâ yöntemidir.

Su kaynaklarının doğru yönetimi, projelendirilmesi ve planlanması için, farklı bölgelerdeki barajlarda su seviyesi ve baraj hazne hacmi tahminlerde yapay zekâ yöntemlerinden Bulanık SMRGT yöntemi tavsiye edilmektedir.



KAYNAKÇA

- Anonim 1, 2022. <https://www.trthaber.com/haber/cevre/alibey-barajinda-vana-degisimi-501475.html>. Erişim Tarihi: 13/02/2022.
- Anonim 2, 2022. *Sultangazi Belediyesi Basın ve Yayın Müdürlüğü*, İstanbul.
- Anonim 3, 2022. Alibey Barajı Lokasyon, *Google Maps*. Erişim Tarihi:20/11/2021.
- Anonim 4, 2022. *14 Bölge Devlet Su İşleri Müdürlüğü*, İstanbul.
- Anonim 5, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı*. Erişim Tarihi:01/06/2022.
- Almeida, L. T., Figueiredo, F. P., Oliveira, F. G. (2016). Estimates of volume and sedimentation of the reservoir of the Itacarambi River dam, Minas Gerais, Brazil. *Pesquisas Agrarias e Ambientais, Nativa*, 4(4), 231-237.
- Arslan, H. (2020). Keban baraj gölü seviyesinin bulanık mantık ve destek vektör makineleri yöntemleriyle tahmini. (Yüksek Lisans Tezi). *İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı*.
- Bölük, O. (2020). Yağış-Akış İlişkisinin Yapay Zekâ Teknikleri Kullanarak Tahmini. (Yüksek Lisans Tezi). *İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı*.
- Cansız, Ö.F., Erginer, İ., Üneş, F., Taşar, B. 2021. Modeling of highways energy consumption with artificial intelligence and regression methods. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-16.
- Damla, Y., Temiz, T., Keskin, E. (2020). Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Su Seviyesinin Tahmin Edilmesi: Yalova Gökçe Barajı Örneği. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 6 (1), 32-49.
- Dayan, F., Demirci, M., Üneş, F., Taşar, B. (2021). Nehirlerdeki Katı Madde Miktarının Bulanık SMRGT Yöntemi ile Tahmini. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (4) , 294-307.
- Er, E.E., Üneş, F., Taşar, B. (2022). Estimating Dam Reservoir Level Change of Istanbul Alibey Dam With The Fuzzy SMRGT Method. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(Özel sayı), 80-95.
- Erginer, İ. (2018). Modifiye bitümlü karışımların Marshall Stabilite değerlerinin yapay sinir ağı ile tahmini. (Yüksek Lisans Tezi). *İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı*.

- Erkek, C. ve Ağırlioğlu, N. (2010) Su Kaynakları Mühendisliği. *Beta Yayınevi*.
- Geetha, M.C.S. ve Shanthi, E.I. (2021). Forecasting Groundwater and Dam Reservoir Level Based On Artificial Neural Network. *Journal of Green Engineering*, 11(1), 179-194.
- Ghose, D.K., Sahoo, A., Samantaray, S. (2021). Prediction of Flood in Barak River using Hybrid Machine Learning Approaches: A Case Study. *Journal Geological Society of India*, 97, 186-198.
- Gümüşcan, F.G. (2017). Klasik ve Bulanık Mantık Modellenme Yöntemleri ile Yarseli Baraj Hazne Hacmini Tahmini. (Yüksek Lisans Tezi), *İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı*.
- Halden, E., Özkul, S. (2004). Kritik dönem yöntemleri ile hazne hacminin belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 99-113.
- Jang J.S.R., (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Jang, J.S.R., Sun, C.T., Mizutani, E. (1996). Neuro-Fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [BookReview]. *IEEE Transactions on automatic control*, 42(10), 1482-1484.
- Kılınç, İ. (2004). İstanbul'daki baraj haznelerinin işletilmesinde yapay sinir ağları kullanılması. (Yüksek Lisans Tezi). *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı*.
- Küçükerdem, T. S., Kilit, M. ve Saphoğlu, K. (2019). Bulanık çıkarım sistemlerinde kullanılan küme sayılarının K-ortalamlar ile belirlenmesi ve baraj hacmi modellenmesi: Kestel barajı örneği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(8), 962-967.
- Larrea, P. P., Rios, X. Z., Parra, L. C. (2021). Application of Neural Network Models and ANFIS for Water Level Forecasting of the Salve Faccha Dam in the Andean Zone in Northern Ecuador. *Publisher of Open Access Journals (MDPI), Water*, 13,2011.
- Monterola, C. P., Ibanez, B.C., Dajac, C.V.G., Liponhay, M.P., Esteban, M.H. (2022). Forecasting Reservoir Water, Levels Using Deep Neural Networks: A Case Study of Angat Dam in the Philippines. *Water 2022*, 14(34), <https://doi.org/10.3390/w14010034>.
- Parada R., Font J., Casas-Roma J. (2019) Forecasting Water Levels of Catalan Reservoirs. In: Torra V., Narukawa Y., Pasi G., Viviani M. (eds) Modeling Decisions for Artificial Intelligence. MDAI 2019. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 11676. Springer, Cham.
- Ripple, W., 1883. The capacity of storage for water supply. *Proceedings Institution of Civil*

- Engineers*, 71, p. 270-278.
- Sudler, C. E., 1927. Storage required for regulation of streamflow. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 61, p. 622-660.
- Uygunoğlu, T., Ünal, O. (2005). Seyitömer uçucu külünün betonun basınç dayanımına etkisi üzerine bulanık mantık yaklaşımı. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 13-20.
- Üneş F., Yildirim S., Cigizoglu H. K., Coskun H. (2013). Estimation of dam reservoir volume fluctuations using artificial neural network and support vector regression. *Journal Of Engineering Research*, 1(3), 53,74.
- Üneş, F., Gümüşcan, F. G., Demirci, M. (2017). Prediction of Dam Reservoir Volume Fluctuations Using Adaptive Neuro Fuzzy Approach. *European Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2(1), 144-148.
- Üneş, F., Demirci, M., Zelenakova, M., Çalışıcı, M., Taşar, B., Vranay, F., Kaya, Y. Z. (2020). River Flow Estimation Using Artificial Intelligence and Fuzzy Techniques. *Publisher of Open Access Journals (MDPI), Water*, 12,242.
- Toprak, Z.F. (2004). Akarsularda Boyuna Dispersiyon Katsayısının Bulanık Mantık Yöntemi ile Belirlenmesi, (Doktora Tezi), *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Toprak, Z.F., Songur, M., Hamidi, N., Gülsever H. (2013). Determination of losses in water-networks using a new Fuzzy technique (SMRGT). *Global Journal on Technology*, 3.
- Toprak, S., Atay, A., Toprak, Z.F. (2015). SMRGT yöntemi ile bulanıklaştırılmış veriler için bulanık doğrusal regresyon. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 31(3), 1-7.
- Toprak, Z.F., Toprak, A., Aykaç, Z. (2017). Bulanık SMRGT yönteminin pratik uygulamaları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 123-132.
- Ziggah, Y.Y., Issaka, Y. Ve Laari, P.B. (2022). Evaluation of Different Artificial Intelligent Methods for Prediciting Dam Piezometric Water Level. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8, 2715-2731.

DİZİN

A

Alibey Barajı,
II, V, 2, 3, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 25, 32,
35, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 49, 51,
53, 56, 58, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 70,
73, 76, 78

Anahtar Eğrisi,
32, 33, 34, 35

B

Bulanık SMRGT,
IV, VI, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 18, 19, 20, 2
3, 26, 37, 39, 43, 53, 54, 61, 68, 76, 7
7, 78, 79

Buharlaştırma,
IV, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 21, 22, 24, 35
, 36, 39, 40, 43, 44, 46, 49, 51, 53, 56,
58, 61, 64, 65, 66, 68, 70, 73, 76

C-Ç

ÇDR,
IV, V, 5, 8, 9, 10, 11, 14, 35, 39, 43, 4
4, 45, 46, 61, 62, 63, 64, 76

D

DSİ,
5, 14

E

Etik Beyan,
III

F

Formül,
5, 14, 15, 20, 29

I

IDR,
IV, 5, 10, 11, 14, 15, 35, 39, 43, 44, 4
6, 47, 48, 49, 61, 62, 64, 65, 76

İ

İSKİ
14
İstanbul
IV, 5, 8, 10, 11, 13, 14, 76, 78, 80

K

Key Words
VII

M

MAE,
IV, V, VI, VII, 5, 43, 44, 45, 47, 49, 5
2, 54, 56, 58, 61, 62, 65, 66, 68, 71, 7
3, 76

Ö

Özet,
IV

R

RMSE,
IV, V, VI, VII, 5, 43, 44, 45, 47, 49, 5
2, 54, 56, 58, 61, 62, 65, 66, 68, 71, 7
3, 76

T

Teşekkür
VIII

Q

QDR
IV, V, 5, 10, 11, 14, 15, 35, 39, 43, 44
, 49, 50, 51, 61, 62, 65, 76

Y

YSA,
IV, V, 5, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 27, 29, 3
0, 35, 39, 43, 44, 56, 57, 58, 61, 62, 7
0, 71, 72, 76



TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

