

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇORUH NEHRİ HAVZASI'NDA TAŞINAN ASKIDA KATI MADDE YÜKÜNÜN
FARKLI YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Banu YILMAZ

HAZİRAN 2016

TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇORUH NEHRİ HAVZASI'NDA TAŞINAN ASKIDA KATI MADDE YÜKÜNÜN FARKLI
YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE MODELLENMESİ**

Banu YILMAZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 / 05 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 02 / 06 / 2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Egemen ARAS

Trabzon 2016

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Banu YILMAZ Tarafından Hazırlanan

ÇORUH NEHRİ HAVZASI'NDA TAŞINAN ASKIDA KATI MADDE YÜKÜNÜN FARKLI
YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE MODELLENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/ 05/2016 gün ve 1653 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK

Üye : Doç. Dr. Egemen ARAS

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ümmükişüm ÖZEL AKDEMİR



The image shows three handwritten signatures in blue ink, each placed above a horizontal dotted line. The signatures are: 1. Ömer Yüksek, 2. Egemen Aras, and 3. Ümmükişüm Özel Akdemir.

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Çoruh Nehri Havzası’nda Taşınan Askıda Katı Madde Yükünün Farklı Yapay Zeka Teknikleri İle Modellenmesi ” konulu bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmamda danışmanlığımı üstlenerek yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana her daim yol gösteren, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ve yararlanmaya devam edeceğim değerli hocam Doç. Dr. Egemen ARAS’a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışmamın tamamlanması sırasında çözüm bulamadığım birçok konuda fikirlerine başvurduğum, bana yeni yollar gösteren ve çıktığım bu yolda beni başarıya teşvik eden Yrd. Doç. Dr. Murat KANKAL hocama teşekkür etmeyi borç bilirim. Tez çalışmamın analiz ve program kısmında bana yardımcı olan, desteğini her zaman yanımda hissettiğim Arş. Gör. Sinan NACAR’a, bilgilerinden faydalandığım, manevi desteklerini ve arkadaşlıklarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Ergun UZLU, Arş. Gör. Uğur SATILMIŞ ve Arş. Gör. Osman Tuğrul BAKI’ye teşekkürlerimi sunarım. Gerek lisans gerek yüksek lisans ders aşamasında öğrencisi olmaktan gurur duyduğum, engin bilgisiyle yoluma ışık tutan değerli büyüğüm Sayın Prof. Dr. Ömer YÜKSEK’e, henüz lisans aşamasındayken danışmanım olan ve o dönemlerde beni akademik hayata yönlendiren merhum Doç.Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ’ye sonsuz teşekkür ederim.

Eğitim öğretim hayatımın tüm safhalarında yanımda olan, hem maddi hem manevi anlamda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Filiz BAKAN, babam Erkan BAKAN ve ablam Berna KÖZEN’e, bu uzun yolda gösterdiği ilgi ve anlayışıyla her zaman yanımda olan sevgili eşim Hüseyin Emre YILMAZ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Banu YILMAZ
Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çoruh Nehri Havzası’nda Taşınan Askıda Katı Madde Yükünün Farklı Yapay Zeka Teknikleri İle Modellenmesi ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Egemen ARAS’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 02/06/2016

Banu YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	3
1.3. Literatür Taraması.....	5
1.4. Akarsularda Katı Madde Hareketi	14
1.4.1. Suyun Karakteristikleri	15
1.4.2. Katı Maddenin Karakteristikleri	16
1.4.3. Akarsulardaki Katı Maddenin Sınıflandırılması.....	19
1.4.4. Katı Madde Hareketine Etki Eden Değişkenler.....	20
1.4.5. Katı Madde Hareketinin Başlaması	21
1.4.6. Katı Madde Taşınımı	24
1.4.7. Sürüntü Maddesi Miktarı Hesabı	24
1.4.8. Askı Maddesi Miktarı Hesabı	24
1.4.9. Askıda Katı Madde Ölçüm Teknikleri.....	29
1.4.9.1. Nokta Entegrasyon Yöntemi.....	29
1.4.9.2. Derinlik Entegrasyon Yöntemi	30
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	33
2.1. Çalışmada Kullanılan Yöntemler.....	33
2.1.1. Sediment Anahtar Eğrisi (SAE).....	33
2.1.2. Çoklu Regresyon Analizi (ÇRA).....	34
2.1.3. Çok Değişkenli Uyarlamalı Regresyon Eğrileri (ÇDURE).....	35

2.1.4.	Yapay Arı Kolonisi (YAK).....	37
2.1.4.1.	Doğadaki Arıların Yem Bulma Davranışı	38
2.1.4.2.	Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Adımları	40
2.1.5.	Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması (ÖÖTO).....	42
2.1.5.1.	Öğretmen Safhası.....	42
2.1.5.2.	Öğrenci Safhası	43
2.1.6.	Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Yöntemleri ile Askıda Katı Madde Yüğü Tahmini (YAK, ÖÖTO)	46
2.1.7.	Yapay Sinir Ağları (YSA)	47
2.1.7.1.	Biyolojik Sinir Hüçresinin Yapısı.....	48
2.1.7.2.	Yapay Sinir Hüçresi	49
2.1.8.	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarının Yapısı (ÇK-YSA)	50
2.1.8.1.	Çok Katmanlı Ağların Çalışma Adımları	52
2.1.8.2.	Geri Yayınım Algoritması	53
2.1.9.	Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması ile YSA eğitimi (YSA-YAK ve YSA-ÖÖTO)	54
2.2.	Çalışma Alanı ve Veriler	55
2.2.1.	Çoruh Havzası ve Tanıtımı	55
2.2.2.	Çoruh Nehri	56
2.2.2.1.	Çoruh Nehri 2335- İnanlı İstasyonu	57
2.2.2.2.	Çoruh Nehri 2322- Altınsu İstasyonu	60
2.2.2.3.	Çoruh Nehri 2315- Karşıköy İstasyonu	62
2.3.	Veri Anormalliklerinin Giderilmesi.....	64
2.4.	Giriş Değişkenlerinin Belirlenmesi.....	65
2.5.	Veri Gruplarının Analizi	68
2.6.	Çalışmada Kullanılan Değerlendirme Ölçütleri.....	69
3.	BULGULAR VE İRDELEME	71
3.1.	Çoruh Nehri 2335- İnanlı İstasyonu'na Ait Elde Edilen Askıda Katı Madde Yüğü Tahmin Modelleri	71
3.1.2.	Değerlendirme.....	84
3.2.	Çoruh Nehri 2322- Altınsu İstasyonu'na Ait Elde Edilen Askıda Katı Madde Yüğü Tahmin Modelleri	85
3.2.1.	Değerlendirme.....	98
3.3.	Çoruh Nehri 2315 - Karşıköy İstasyonu'na Ait Elde Edilen Askıda Katı Madde Yüğü Tahmin Modelleri	99

3.3.1.	Değerlendirme.....	112
3.4.	İstasyonlara Ait Tüm Regresyon Modellerinin Karşılaştırılması	116
4.	SONUÇLAR.....	118
5.	ÖNERİLER.....	120
6.	KAYNAKLAR	122
7.	EKLER.....	129
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÇORUH NEHRİ HAVZASI'NDA TAŞINAN ASKIDA KATI MADDE YÜKÜNÜN
FARKLI YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE MODELLENMESİ

Banu YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Egemen ARAS
2016, 128 Sayfa, 22 Sayfa Ek

Doğal akarsularda taşınan askıda katı madde yükünün doğru tahmini su kaynakları ve yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Akarsularda yapılan direkt ölçümler askıda katı maddenin belirlenmesinde en güvenilir yol olmalarına rağmen, maliyetli ve zaman alıcıdır. Sediment taşınım denklemlerinde ise akım ve katı madde ile ilgili birçok parametreye gerek duyulmaktadır. Yaygın olarak kullanılan sediment anahtar eğrisi birçok noktada yetersizlikler göstermektedir. Bu sebepten dolayı sediment tahmini için daha yakın sonuçlar veren yöntemlere gereksinim vardır. Bu çalışmada Çoruh Nehri Havzası üzerinde bulunan Altınsu, İnanlı ve Karşıköy istasyonlarında, askıda katı madde tahmini konusunda birçok yöntemden yararlanılmıştır. Sediment anahtar eğrisinin yanı sıra farklı regresyon ve yapay sinir ağları teknikleri kullanılmış ve karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Her bir istasyon için çoklu regresyon analizi, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri, yapay arı kolonileri, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması, çok katmanlı yapay sinir ağları, yapay arı kolonisi algoritması ile yapay sinir ağları eğitimi ve öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması ile yapay sinir ağları eğitimi olmak üzere toplamda 7 ayrı yöntem uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar karesel hatanın ortalama karekökü, ortalama mutlak hata ve determinasyon katsayısı kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Yapay sinir ağları ile oluşturulan yöntemlerin yanısıra çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri modelinin de askıda katı madde yükü tahmini konusunda başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Askıda Katı Madde Tahmini, Yapay Sinir Ağları, Yapay Arı Kolonisi, Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması, Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri.

Master Thesis

SUMMARY

MODELING OF SUSPENDED SEDIMENT LOAD CARRIED IN ÇORUH RIVER
BASIN BY USING DIFFERENT ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Banu YILMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Egemen ARAS
2016, 128 Pages, 22 pages Appendix

Accurate prediction of the suspended sediment load in rivers is very important for water resources and management. Although direct measurement is most reliable method for sediment, it is very expensive and time-consuming. In addition, sediment transport equations require many various parameters about flow and sediment characteristics. Sediment rating curves which is widely used show deficiencies in several points. For this reason, we need other methods which more reliable result. In this study, many methods were developed about suspended sediment estimation, at three stations Altınsu, İnanlı and Karşıköy, on Çoruh River, in Çoruh Basin. In addition to the sediment rating curve, different regression and artificial neural networks were used and comparative analyzes were conducted. For each station 7 methods were applied. They were regression analysis, multivariate adaptive regression splines, artificial bee colony, teaching-learning-based optimization algorithm, multilayer artificial neural network, artificial neural network training using artificial bee colony and artificial neural network training using teaching-learning based optimization algorithm. The results were evaluated according to the criteria of root mean square error, mean absolute error and coefficient of determination. In addition to the methods which generated with artificial neural networks, multivariate adaptive regression splines model has achieved successful results about estimation of suspended sediment load.

Key Words: Estimation of suspended sediment load, Artificial neural networks, Artificial bee colony, Teaching-learning based optimization algorithm, Multivariate adaptive regression splines.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımı	20
Şekil 1.2.	Su içerisindeki parçacığa etki eden kuvvetler	23
Şekil 1.3.	Bir akarsu en kesitindeki hız, katı madde konsantrasyonu ve katı madde debisinin derinliğe göre değişimi.....	27
Şekil 1.4.	Akarsuyun kesitlere ayrılması	31
Şekil 2.1.	ÇDURE modelindeki temel fonksiyonlar.....	36
Şekil 2.2.	Arılarda dans.....	40
Şekil 2.3.	YAK algoritmasının akış diyagramı.....	44
Şekil 2.4.	ÖÖTO algoritması akış şeması.....	45
Şekil 2.5.	Biyolojik sinir hücresi ve yapısı	49
Şekil 2.6.	Yapay sinir hücresinin yapısı	49
Şekil 2.7.	Çok katmanlı yapay sinir ağlarının yapısı	51
Şekil 2.8.	Çoruh Havzası'nın yer bulduru haritası.....	56
Şekil 2.9.	Çoruh Havzası, Çoruh Nehri ile 2315-Karşıköy, 2322-Altınsu ve 2335-İnanlı Akım gözlem istasyonları	57
Şekil 2.10.	İnanlı İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi.....	58
Şekil 2.11.	İnanlı İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi.....	59
Şekil 2.12.	İnanlı İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi.....	59
Şekil 2.13.	Altınsu İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi.....	60
Şekil 2.14.	Altınsu İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi.....	61
Şekil 2.15.	Altınsu İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi.....	61
Şekil 2.16.	Karşıköy İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi.....	62
Şekil 2.17.	Karşıköy İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi	63
Şekil 2.18.	Karşıköy İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişim.....	63

Şekil 3.1.	İnanlı İstasyonu'nda SAE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	72
Şekil 3.2.	İnanlı İstasyonu'na ait SAE modelinin zaman serisi	72
Şekil 3.3.	İnanlı İstasyonu'nda ÇRA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagram	74
Şekil 3.4.	İnanlı İstasyonu'na ait ÇRA modelinin zaman serisi	74
Şekil 3.5.	İnanlı İstasyonu'nda ÇDURE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	75
Şekil 3.6.	İnanlı İstasyonu'na ait ÇDURE modelinin zaman serisi	75
Şekil 3.7.	İnanlı İstasyonu'nda YAK tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	77
Şekil 3.8.	İnanlı İstasyonu'na ait YAK modelinin zaman serisi	77
Şekil 3.9.	İnanlı İstasyonu'nda ÖÖTO tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	79
Şekil 3.10.	İnanlı İstasyonu'na ait ÖÖTO modelinin zaman serisi	79
Şekil 3.11.	İnanlı İstasyonu'nda ÇK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	80
Şekil 3.12.	İnanlı İstasyonu'na ait ÇK-YSA modelinin zaman serisi	80
Şekil 3.13.	İnanlı İstasyonu'nda YAK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	81
Şekil 3.14.	İnanlı İstasyonu'na ait YAK-YSA modelinin zaman serisi	82
Şekil 3.15.	İnanlı İstasyonu'nda ÖÖTO-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	83
Şekil 3.16.	İnanlı İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA modelinin zaman serisi	83
Şekil 3.17.	İnanlı İstasyonu'na ait tüm modeller	84
Şekil 3.18.	İnanlı İstasyonuna ait KHOK ve OMH değerleri	84
Şekil 3.19.	Altınsu İstasyonu'nda SAE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	86
Şekil 3.20.	Altınsu İstasyonuna ait SAE modelinin zaman serisi	86
Şekil 3.21.	Altınsu İstasyonu'nda ÇRA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	88
Şekil 3.22.	Altınsu İstasyonuna ait ÇRA modelinin zaman serisi	88
Şekil 3.23.	Altınsu İstasyonu'nda ÇDURE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	89
Şekil 3.24.	Altınsu İstasyonuna ait ÇDURE modelinin zaman serisi	89
Şekil 3.25.	Altınsu İstasyonu'nda YAK tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	91

Şekil 3.26. Altınsu İstasyonuna ait YAK modelinin zaman serisi.....	92
Şekil 3.27. Altınsu İstasyonu'nda ÖÖTO tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	93
Şekil 3.28. Altınsu İstasyonuna ait ÖÖTO modelinin zaman serisi	93
Şekil 3.29. Altınsu İstasyonu'nda ÇK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	94
Şekil 3.30. Altınsu İstasyonuna ait ÇK-YSA modelinin zaman serisi	95
Şekil 3.31. Altınsu İstasyonu'nda YAK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	96
Şekil 3.32. Altınsu İstasyonuna ait YAK-YSA modelinin zaman serisi	96
Şekil 3.33. Altınsu İstasyonu'nda ÖÖTO-YSA tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	97
Şekil 3.34. Altınsu İstasyonuna ait ÖÖTO-YSA modelinin zaman serisi.....	97
Şekil 3.35. Altınsu İstasyonu'a ait tüm modeller.....	98
Şekil 3.36. Altınsu İstasyonuna ait KHOK ve OMH değerleri.....	98
Şekil 3.37. Karşıköy İstasyonu'nda SAE tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	100
Şekil 3.38. Karşıköy İstasyonuna ait SAE modelinin zaman serisi.....	100
Şekil 3.39. Karşıköy İstasyonu'nda ÇRA tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	102
Şekil 3.40. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇRA modelinin zaman serisi.....	102
Şekil 3.41. Karşıköy İstasyonu'nda ÇDURE tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	104
Şekil 3.42. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇDURE modelinin zaman serisi.....	104
Şekil 3.43. Karşıköy İstasyonu'nda YAK tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	105
Şekil 3.44. Karşıköy İstasyonu'na ait YAK modelinin zaman serisi	106
Şekil 3.45. Karşıköy İstasyonu'nda ÖÖTO tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	107
Şekil 3.46. Karşıköy İstasyonu'na ait ÖÖTO modelinin zaman serisi.....	107
Şekil 3.47. Karşıköy İstasyonu'nda ÇK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	108
Şekil 3.48. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇK-YSA modelinin zaman serisi	109
Şekil 3.49. Karşıköy İstasyonu'nda YAK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q _S değerlerine ait saçılım diyagramı	110
Şekil 3.50. Karşıköy İstasyonu'na ait YAK-YSA modelinin zaman serisi	110

Şekil 3.51. Karşıköy İstasyonu'nda ÖÖTO-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı	111
Şekil 3.52. Karşıköy İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA modelinin zaman serisi.....	111
Şekil 3.53. Karşıköy İstasyonu'na ait KHOK ve OMH değerleri	112
Şekil 3.54. Karşıköy İstasyonu'a ait tüm modeller.....	113
Şekil 3.55. Tüm istasyonlar ait KHOK ve OMH değerleri	115
Şekil 3.56. İnanlı İstasyonu'na ait tüm regresyon modelleri	116
Şekil 3.57. Altınsu İstasyonu'na ait tüm regresyon modelleri.....	116
Şekil 3.58. Karşıköy İstasyonu'na ait tüm regresyon modelleri.....	117



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Çaplarına göre tanelerin sınıflandırılması	17
Tablo 2.1. YAK ve ÖÖTO Kontrol parametre değerleri	46
Tablo 2.2. Farklı YSA modelleri için kullanılan değişkenler	54
Tablo 2.3. YAK-YSA ve ÖÖTO-YSA ve kontrol parametreleri	55
Tablo 2.4. YAK-YSA modellerinde kullanılan değişkenler	55
Tablo 2.5. İnanlı İstasyonu'na ait tüm verilerin temel istatistikleri	58
Tablo 2.6. Altınsu İstasyonu'na ait tüm verilerin temel istatistikleri.....	61
Tablo 2.7. Karşıköy İstasyonu'na ait tüm verilerin temel istatistikler.....	63
Tablo 2.8. İnanlı İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları.....	65
Tablo 2.9. Altınsu İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları	66
Tablo 2.10. Karşıköy İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları	66
Tablo 2.11. İnanlı İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları.....	66
Tablo 2.12. Karşıköy İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları	67
Tablo 2.13. Altınsu İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları	67
Tablo 3.1. İnanlı İstasyonuna ait SAE sonuçları.....	71
Tablo 3.2. İnanlı İstasyonu'na ait ÇRA sonuçları.....	73
Tablo 3.3. İnanlı İstasyonuna ait ÇDURE sonuçları.....	76
Tablo 3.4. İnanlı İstasyonuna ait YAK sonuçları.....	78
Tablo 3.5. İnanlı İstasyonuna ait ÖÖTO sonuçları	79
Tablo 3.6. İnanlı İstasyonu'na ait ÇK-YSA sonuçları	80
Tablo 3.7. 2335- İnanlı İstasyonuna ait YAK-YSA sonuçları	81
Tablo 3.8. İnanlı İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA sonuçları	83
Tablo 3.9. İnanlı İstasyonuna ait tüm modellerin sonuçları.....	85
Tablo 3.10. Altınsu İstasyonuna ait SAE sonuçları	86
Tablo 3.11. Altınsu İstasyonuna ait ÇRA sonuçları.....	87
Tablo 3.12. Altınsu İstasyonuna ait ÇDURE sonuçları	89
Tablo 3.13. Altınsu İstasyonuna ait YAK sonuçları	92
Tablo 3.14. Altınsu İstasyonuna ait ÖÖTO sonuçları.....	93
Tablo 3.15. Altınsu İstasyonuna ait ÇK-YSA sonuçları.....	94

Tablo 3.16. Altınsu İstasyonuna ait YAK-YSA sonuçları.....	95
Tablo 3.17. Altınsu İstasyonuna ait ÖÖTO-YSA sonuçları	97
Tablo 3.18. Altınsu İstasyonuna ait tüm modellerin sonuçları	99
Tablo 3.19. Karşıköy İstasyonuna ait SAE sonuçları	99
Tablo 3.20. Karşıköy İstasyonuna ait ÇRA sonuçları.....	101
Tablo 3.21. Karşıköy İstasyonuna ait ÇDURE sonuçları	103
Tablo 3.22. Karşıköy İstasyonuna ait YAK sonuçları	105
Tablo 3.23. Karşıköy İstasyonuna ait ÖÖTO sonuçları.....	107
Tablo 3.24. Karşıköy İstasyonuna ait ÇK-YSA sonuçları	108
Tablo 3.25. Karşıköy İstasyonuna ait YAK-YSA sonuçları.....	109
Tablo 3.26. Karşıköy İstasyonuna ait ÖÖTO-YSA sonuçları	111
Tablo 3.27. Karşıköy İstasyonuna ait tüm modellerin sonuçları	114

KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

AGİ	: Akım gözlem istasyonu
A	: Hız katsayısı
a_1	: W kuvvetine ait kuvvet kolu
a,b,c	: Daneciğin birbirine dik eksenler üzerindeki en uzun, orta ve en kısa boyutları
b_0, b_1, \dots, b_n	: Regresyon denklemlerinin sabit değerleri
b_1	: F kuvvetine ait kuvvet kolu
BF_n	: ÇDURE modelinden elde edilen taban fonksiyonları
C	: Tabandan itibaren z kotundaki konsantrasyon değeri
C_0	: Düşey ekseninde ortalama konsantrasyon değeri
C_0'	: Toplam kesit için ortalama konsantrasyon değeri
C_{tab}	: Akarsu tabanındaki konsantrasyonu
$C_{yüz}$: Su yüzeyindeki konsantrasyon
C_{20}	: Su derinliğinin %20 yüksekliğindeki konsantrasyon
C_{80}	: Su derinliğinin % 80 yüksekliğindeki konsantrasyon
C_{ort}	: Su derinliğinin orta noktasındaki konsantrasyon
C_f	: Dane biçimine bağlı direnç katsayısı
C_{S_x}	: Çarpıklık katsayısı
C_v	: Değişkenlik katsayısı
ÇRA	: Çoklu regresyon analizi
ÇK-YSA	: Çok katmanlı yapay sinir ağları
ÇDURE	: Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri
d_0	: Ortalama dane çapı
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
F	: Suyun sürüklenme ve kaldırma kuvveti bileşkesi
H	: Su derinliği
h_1	: Malzemeyi askı haline geçirecek akım derinliği
k	: Von Karman katsayısı
KHOK	: Karesel hatanın ortalama karekökü

MCN	: Maksimum döngü sayısı
M	: Kütle
N	: Veri sayısı
NP	: Popülasyon hacmi
OMH	: Ortalama mutlak hata
ÖÖTO	: Öğretme- öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması
ÖÖTO-YSA	: Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması ile YSA eğitimi
P	: Porozite
R	: Hidrolik yarıçap
R ²	: Determinasyon katsayısı
SAE	: Sediment anahtar eğrisi
SN	: Besin kaynağı sayısı
S _x	: Verilerin temel istatistiklerinde standart sapma değeri
ŞF	: Dane şekil faktörü
T _f	: Öğretme faktörü
T*	: Ampirik büyüklük
U _*	: Kayma hızı
V _{ort}	: Ortalama hız
V _T	: Sediment danesinin toplam hacmi
V _S	: Örnekteki katı madde hacmi
V ₁	: Malzemeyi askı haline getirecek hız
V	: Hacim
YAK	: Yapay Arı Kolonisi
YSA	: Yapay sinir ağları
YAK-YSA	: Yapay arı kolonisi algoritması ile YSA eğitimi
x _{ort}	: Verilerin temel istatistiklerinde ortalama değer
x _{max}	: Verilerin temel istatistiklerinde maksimum değer
x _{min}	: Verilerin temel istatistiklerinde minimum değer
ρ	: Özgül kütle
ρ _s	: Sediment danesinin özgül kütlesi
γ	: Özgül ağırlık
τ, τ _{ort} , τ _{kr}	: Kayma, ortalama ve kritik kayma gerilmesi

μ	: Dinamik viskozite
ν	: Kinematik viskozite
ε	: Katı maddenin karışım katsayısı
ε_s	: Askı maddesi karışım katsayısı
ψ	: Dane hareket sayısı
q_w	: Birim genişlikten geçen akımın debisi
q_s	: Birim genişlikten geçen askı maddesi debisi
W_z	: Zhang çökme hızı
Q	: Akım debisi
Q_s	: Toplam katı madde debisi
Q_a	: Kesitsel askı yükü sediment miktarı
$Q_{s_{gözlenen}}$: Askıda katı maddenin gözlenmiş değeri
$\bar{Q}_{s_{gözlenen}}$: Gözlenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalaması
$Q_{s_{tahmin}}$: Askıda katı maddenin modellenmiş değerini;
$\bar{Q}_{s_{tahmin}}$: Modellenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalaması
W	: Çökme hızı
\wp	: Temel fonksiyonların kümesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Akarsularda taşınan katı maddelerin bir kısmı havzadan kaynaklanırken diğer bir kısmı da akarsu yatağında oluşan aşınmalardan kaynaklanmaktadır. Yüzeysel akışa geçen su ve rüzgar enerjisi, daneleri yerinden ayırmakta ve danelerin akarsu yatağı boyunca taşınmasına sebep olmaktadır. Bu danelerin akarsulara ulaşması olayına havza ya da tabaka erozyonu denilmektedir. Akarsu yatağında oluşan erozyon ise yatak erozyonu olarak adlandırılmaktadır. Havza ve yatak erozyonu sonucunda suyla hareket eden maddeler akışın sürüklenme gücünün azaldığı bölgelerde yığılma ve oyulmalar meydana getirerek yatak şeklini sürekli olarak değiştirmektedirler. Akarsuyun morfolojik yapısının değişmesiyle ortaya istenmeyen birçok sonuç çıkmaktadır. Akarsu üzerindeki yapılar, fonksiyon, emniyet ve estetik açıdan zarar görmektedirler. Bunların yanı sıra akarsuyun su kalitesi de önemli derecede etkilenmektedir. Bu problemlerin çözümü için katı madde tahminine ihtiyaç duyulmaktadır (Müftüoğlu, 1980).

Erozyon sonucu tonlarca verimli toprağın akarsularca taşınması, tarım arazilerinin düzleşmesine ve çoraklaşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla bir havzada oluşacak olan olası toprak kayıplarının bilinmesi o havzada alınacak önlemler için gereklidir. Bu bir erozyon problemi olmakla birlikte erozyonla mücadele çalışmalarında erozyon ile taşınan katı madde miktarının zamana göre dağılımının bilinmesi gerekmektedir (Simons ve Şentürk, 1992).

Özellikle baraj haznesi gibi su depolama tesislerinde biriken katı maddeler hazne kapasitesini azaltarak, zamanla yapının su alma ağzını tıkanmasına neden olmaktadır. Su alma yapısının tıkanması haznenin işlev göremez duruma gelmesi demektir. Bu zararları geciktirmek için baraj haznesinde ölü hacim denilen pasif bir hacim bırakılmaktadır. Bir barajın hizmet süresi bu hacmin büyüklüğüne bağlıdır. Ölü hacim gerekli olandan büyük ve ya küçük olarak tasarlanırsa baraj ekonomisi bundan büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu sebeplerle, barajların ekonomik olarak projelendirilmesinde katı maddenin doğru olarak tahmin edilmesi zorunludur.

Katı madde problemi ile ilgili bir diğer sorun akarsu kirliliğidir. Endüstriyel ve tarım atıklarının akarsulara boşaltılması, tabandaki maddelerin toksitlerle kirlenmesine neden

olmaktadır. Bu bakımdan bir nehrin ya da rezervuardaki suyun kirlilik seviyesinin tahmininde yine askı maddesi dağılımının yani askı maddesi konsantrasyonunun gerçek zamandaki değişimine ihtiyaç vardır. Akarsuların taşıdığı madde miktarının gerçek zamandaki tahmini yolunda yapılacak çalışmalar bu gibi problemlerin çözümüne katkı sağlamaktadırlar.

Akış ortamı içinde akışla ilgili hareket prensiplerinin yanı sıra, hareket halindeki katı maddelerin de akış özelliklerini etkilediği düşünülürse, katı madde hareketinin ne kadar karmaşık süreçler içerdiği anlaşılmaktadır. Bu hidrodinamik olaylarla ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır fakat tabanı hareketli daneli malzemelerden oluşan bir kanaldaki uniform ve permenan akışların iki boyutlu incelenmesi bile kesin sonuçlar veren metotlara kavuşturulamamıştır. Oysa katı madde miktarı yalnızca akış şartlarına bağlı olarak değişmemekte, havza özellikleri ve yatak morfolojisinin değişimi de katı madde miktarını etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Bu sebeplerden dolayı, katı madde hareketleri ile ilgili hesap sonuçları çok kaba sonuçlar vermektedir (Güldal, 1997).

Katı madde ile ilgili en doğru bilgiler direkt ölçüm teknikleriyle belirlenmektedir. Fakat ölçümlerin hem zaman alması hem de maliyet açısından masraflı olması gibi sebeplerle katı maddeler çok az ölçülebilmektedirler. Ayrıca ölçümlerle elde edilen kısa süreli verilerin uzatılması için de ayrıca bir hesap metodunun kullanılması zorunlu olmaktadır.

Tüm bu sebeplerden dolayı birçok araştırmacı katı madde tahminini geliştirmek amacıyla geçerli olabilecek yollar aramaya yönelmişlerdir. Akarsuyun herhangi bir kontrol kesitindeki debi ile katı madde değişimi arasındaki ilişkinin bir grafik yoluyla gösterilmesi yöntemiyle ortaya çıkan 'katı madde anahtar eğrisi' tahminler için genel bir uygulama halini almıştır. Fakat debi ve katı madde arasında her zaman tek tip bir ilişki bulunmamaktadır. Akışın yükselen seviyelerindeki katı madde miktarı, aynı akış için düşme seviyesinde katı madde miktarından oldukça fazla olabilmektedir. Bu gibi durumlarda katı madde ve akış arasında lineer ve bire-bir bir ilişki olmadığından dolayı, anahtar eğrileri yöntemi yetersiz kalmaktadır. Ayrıca akarsuyun herhangi bir zamanda taşıdığı katı madde miktarı sadece o andaki şartlara değil, geçmiş hidrolojik değişkenlere de bağlıdır. Örneğin debiye bağlı olarak yapılan sediment tahmininde geçmiş debilerin de dikkate alınması daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Bu gecikmiş etkiler anahtar eğri tahminlerine yansımamaktadır.

Yukarıda bahsedilen akış-katı madde arasındaki hidrolik olgunun açıklanabilmesi birçok parametreye bağlı olduğundan problemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Günümüzde karmaşık ve doğrusal olmayan bu gibi olayların çözümünde yapay zeka tekniklerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemler veri kümesine bağlı olarak istenen sonuçları öğrenme yoluyla elde etmektedir. Çok yaygın olarak kullanılan regresyon analizi ve ampirik yöntemlerle yapılan modellerin ötesinde, bunların birçok özelliğini de içeren yapay zeka yöntemlerinin en önemli avantajlarından biri, başlangıçta verilerle ilgili bir takım kabullere (Verilerin normal dağılıma uyması, parametrelerin zamanla sabit olması, bağımlılığın doğrusal olması vb. gibi)gerek duymamasıdır. Diğer ve en önemli avantajlarından biri ise çok esnek yapıya sahip olmaları ve doğrusal olmayan, karmaşık olayları da modelleyebilmeleridir (Kişi, 2008).

1.2.Tezin Amacı ve Kapsamı

Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan Çoruh Havzası'nda şiddetli erozyon sebebiyle; tamamlanmış, inşaatı devam eden ya da yapılması planlanan barajların rezervuarlarının kısa sürede dolması ve ekonomik ömürlerinin azalması gibi risklerle karşı karşıya olması, bu bölgede yapılacak olan katı madde tahmin çalışmalarının önemini arttırmaktadır. Çalışma kapsamında Çoruh Nehri üzerinde bulunan doğal yapısı fazla bozulmamış ve gözlemlenmiş veri sayısı yeterli görülen üç ayrı istasyonda ileriye dönük askıda katı madde tahmin çalışması yapılması amaçlanmıştır.

Havzadan gelen sediment miktarının belirlenebilmesi için çok sayıda formüllere dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Ancak sediment ölçümleri zor ve maliyetli olmasına rağmen en güvenilir yöntemdir. Ülkemizde su kaynaklarına ilişkin çalışmalar yapan kuruluşlardan biri olan ve 2 Kasım 2011 tarihinde kapatılıp Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ismini alan, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü, Amerika'nın Jeoloji Araştırma Kurumu'nun standartlarına göre askıda katı madde ölçümleri de yapmıştır. Bu ölçümler, akarsuyun tüm enkesitini ve derinliğini temsil edecek şekilde derinlik entegresyon yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Nehirlerdeki su seviyesinin düşük olduğu durumlarda, nehir yatağına girilerek yapılan ölçümlerde USDH-48, seviyenin yüksek olduğu durumlarda ise askıdan, teleferikten veya krenden yapılan ölçümlerde ise USD-49 süspanse sediment örnek alma aletleri kullanılmaktadır. EİE'nin gerçekleştirdiği ölçümlerde anlık debi ve askıda katı madde konsantrasyonuna bağlı olarak anlık sediment

yükleri hesaplanmıştır. Genellikle çoğu istasyonda süspanse sediment ölçümleri aylık olarak, debi ölçümleri ise günlük olarak ölçülmektedir. Dolayısıyla bilinen bu günlük akım ölçümlerinden faydalanarak, akarsuyun ölçülmeyen günlerdeki süspanse sediment miktarları hesaplanabilmektedir. Sediment yükleri (ton/gün) koordinat sisteminin ordinat ekseninde (y eksen) bağımlı değişken olarak, ölçülen anlık debiler (m^3/sn) ise apsis ekseninde (x eksen) bağımsız değişken olarak yerleştirilip regresyona dayalı sediment anahtar eğrisi oluşturulur. Daha önce yayımlanmış olan akım gözlem yıllıklarından herhangi bir akıma karşılık gelen sediment yüküne bu eğriler vasıtasıyla ulaşılabilmektedir.

Sediment anahtar eğrileri ileriye dönük tahmin yapma konusunda birçok açıdan yetersiz kalmışlardır. Bu sebeplerden dolayı çalışmada birçok yöntem denenerek en iyi sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Havzada bulunan Karşıköy, Altınsu ve İnanlı İstasyonlarına ait askıda katı madde yükü, çoklu regresyon analizlerinin (ÇRA/ MRA) yanı sıra, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE/ MARS), yapay arı kolonisi (YAK/ ABC) ve öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmaları (ÖÖTO/ TLBO) ile kurulan regresyon modelleri ile tahmin edilmiştir. Yapay zeka uygulamalarından ise çok katmanlı yapay sinir ağlarına ek olarak (ÇK-YSA/ ML-ANN), yine yapay arı kolonileri ve öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmaları (YAK-YSA/ ANN-ABC, ÖÖTO-YSA/ ANN-TLBO) ile eğitilerek modellenmiş, her bir istasyonda her bir modelin en iyi sonucunu veren denkleme ulaşılmış ve tüm bunlar sediment anahtar eğrileri (SAE/ SRC) ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama kriteri olarak determinasyon katsayısı (R^2), karesel hatanın ortalama karekökü (KHOK) ve ortalama mutlak hata (OMH) değerleri kullanılmıştır. Bu ölçütlere dayanarak oluşturulan tablolar ile her istasyonu en iyi temsil eden modeller seçilmiştir.

Çalışmada geçmiş zamanlı sediment ve geçmiş zamanlı akım değerlerinin kurulacak olan tahmin modellerindeki etkisini belirlemek için her istasyonda korelasyon tabloları kurulmuştur. Bu tablolar vasıtasıyla tahminin doğruluğunu arttıran geçmiş zamanlı veriler de girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Girdi değişkenlerinin arasındaki ilişkinin mertebesine de yine bu korelasyonlara bakılarak karar verilmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde, akarsularda katı madde taşınımı ve tahmini ile ilgili önceden yapılmış çalışmalara ve akarsulardaki katı madde hareketini oluşturan konulara yer verilmiştir. İkinci bölümde tezde uygulanmış yöntemler, teze konu olan çalışma alanı ve verilerin istatistik analizleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde kullanılan yöntemlerle elde edilen bulgulara değinilmiş, dördüncü bölümde tez çalışmasından elde edilen genel

sonuçlardan ve beşinci bölümde ise konu ile ilgili yapılabilecek olan diğer çalışmalar ile ilgili öneriler sunulmuştur.

1.3. Literatür Taraması

Su depolama yapılarının depolama hacminin azalmasına sebep olan etkenlerin başında havzadan su ile taşınan sediment miktarı gelir. Akarsulara değişik kaynaklardan sediment ulaşır. Doğal ve yapay sediment kaynakları olmak üzere iki grup altında toplanabilecek kaynaklar arasında, özellikle erozyon ve sedimentasyon birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de önemli sorunlardan birisidir.

Çeşitli kaynaklardan gelen ve akarsularla taşınan sedimentin su depolama yapılarında kapasiteyi azaltmasının yanı sıra; verimli arazilerde birikerek arazinin değerini azaltma, toprağın infiltrasyon hızını azaltma, akarsu yatağını yükselterek taşkın riskini ve zararını artırma, su alma yapılarının girişini tıkama, sulama ve drenaj kanallarının kapasitesini azaltma ve bakım giderlerini artırma, sudaki çözülmüş oksijen miktarını azaltma ve sudaki yaşamı kısıtlama, balık yumurtalarını örterek balıkların çoğalmasını engelleme, içme ve kullanma suyunun arıtma giderlerini artırma, tarım, sanayi ve diğer kesimlerden kaynaklanan çeşitli kirleticileri taşıyarak çevreyi kirletme, doğal ve yapay göllerin rekreasyon özelliğini azaltma ve çevre estetiğini bozma gibi etkileri de vardır.

Erozyonun belirlenebilmesi açısından da önemli olan sediment miktarının belirlenmesi ile ilgili çalışmaların artarak sürdürülmesi, birçok açıdan ülkemizi ve ülkemiz insanlarını zarara uğratan erozyonu azaltacak önlemlerin alınması için de gereklidir (Öztürk, 2002).

Sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümler, katı madde miktarının elde edilmesinde en güvenilir yol olmasına rağmen , oldukça zaman alan ve maliyetli bir yöntemdir (Olive ve Rieger, 1988; Öztürk vd., 2001). Türkiye’de EİE kurumu akarsularda taşınan katı maddeyi akımla ilişkilendiren, regresyona dayalı bir denklem ile ifade edilen sediment anahtar eğrisi modelini kullanmıştır. Bu anahtar eğrilerinden günlük ortalama akıma karşılık gelen sediment yükü belirlenmektedir. Fakat bu eğrilerden faydalanılarak yapılan tahminler özellikle rezervuarların planlanmasında Türkiye’de başarısız kalmıştır (Kisi vd., 2003).

Sedimentasyon hareketi, belirsiz olan birçok rastgele değişkenden etkilenmektedir. Bu doğal olaylarla değişkenler arasındaki lineer olmayan ilişkiyi açıklamak oldukça

zordur. İşte bu devrede yapay zeka metotlarının, olayların fiziksel özelliklerine bakmadan sadece girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi kurarak sonuca varması, modelleme konusunda çekiciliğini göstermektedir (ASCE, 2000 a, b).

Jain (2001), yaptığı çalışmada sediment tahmininin doğru belirlenmesinde sediment anahtar eğrilerinin yapay sinir ağlarının yanında yetersiz kaldığı sonucuna ulaşmıştır. Mississippi Nehri üzerinde iki gözlem istasyonuna ait günlük verileri kullanmıştır. Girdi değişkenleri olarak akım debisi, su seviyesi ve sediment konsantrasyonlarını kullanmış, çıktı değişkeni olarak ise sediment konsantrasyonuna ulaşmıştır. Farklı kombinasyonlarla incelenmiş karşılaştırmalara bağlı olarak çok katmanlı yapay sinir ağlarından elde edilen sonuçların, geleneksel yöntemlere nazaran gözlenen değerlere daha yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

Tayfur (2002), yapmış olduğu çalışmada eğim ve yağış şiddetlerini girdi olarak kullanıp, katı maddeye çıktı olarak ulaşmıştır. Yapay sinir ağlarında 164 adet veri seti kullanarak model geliştirmiş ve elde ettiği sonuçları fiziksel tabanlı metotlarla kıyaslamıştır. Yapay sinir ağları ile kurulan modeller daha iyi sonuç vermiştir.

Ciğizoğlu (2002), İngiltere'nin kuzeyinde bulunan iki ayrı nehirde ve benzer havza alanlarında 15'er dakikalık sıklıkla ölçülen akım ve sediment örnekleri ile yapay sinir ağlarını ve sediment anahtar eğrisi modellerini kıyaslamıştır. Yapay sinir ağları modelinin olay hakkında daha çok bilgi verdiğini (katı madde konsantrasyonu ile akım arasındaki ilişki, önceki koşulların etkisi vb.) ve gözlenen değerlere, sediment anahtar eğrisine göre daha çok yakınsadığını belirtmiştir.

Yitian ve Gu (2003), Yangtze Nehri'nde günlük akım ve katı madde değerlerini yapay sinir ağları yardımıyla modellemişlerdir. Girdi olarak akarsuya ait topoğrafik ve morfolojik özellikleri de çalışmaya dahil etmişlerdir. YSA tekniğinin, kompleks yapıda olan debi ve katı maddenin gerçek zamanlı tahmininde kullanılmasını güçlü bir araç olarak ifade etmişlerdir.

Ciğizoğlu (2004), Philadelphia'daki Schuylkill Nehri'nde bulunan iki istasyondan, 1952-1981 yılları arasında ölçülmüş 29 yıllık günlük ortalama akım ve askıda katı madde verilerinin 26 sını eğitim, 3 ünü ise test aşamasında kullanmıştır. Mamba ve mansap istasyonları arasında çapraz-korelasyonlar kurmuştur. Yapay sinir ağlarının çok katmanlı modeli ile sediment anahtar eğrileri ve zaman serileri kıyaslanmıştır. YSA'nın diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Kişi (2004a), çalışmasında akış ve katı madde modellerini bulanık mantığa dayalı olarak geliştirmiş, performans sonuçlarını inceleyip sediment anahtar eğrileri ile karşılaştırmıştır. Yapay sinir ağları modelinin klasik anahtar eğrisinden daha iyi sonuç verdiğini görmüştür.

Kişi (2004b), akış-katı madde konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi belirlemek için çok katmanlı YSA, radyal tabanlı YSA, genelleştirilmiş regresyon YSA ve çoklu doğrusal regresyon modelleri geliştirmiştir ve sonuçları birbirleriyle karşılaştırmıştır. Genel olarak çok katmanlı YSA modelinin diğerlerine göre daha iyi sonuca ulaştığını gözlemlemiştir.

Kişi (2005), Quebrada Blanca ve Rio Valenciano istasyonlarındaki verileri kullanarak günlük akım ve askıda katı madde arasındaki ilişkiyi sinirsel bulanık yaklaşımı ve yapay sinir ağları yöntemlerini birleştirmesiyle ortaya çıkardığı bulanık-yapay sinir ağı modelini kurmuştur. Aynı verilere sediment anahtar eğrisi ve çoklu lineer regresyon metodu da uygulanmıştır. Gözlenen değerler modellerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Model sonuçları kıyaslandığında sinirsel bulanık yaklaşımının diğer yöntemlere oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bhattacharya vd. (2005), deneysel verilerinde yatak yüküne etki eden parametreleri (V^2/gh , h/d , S) YSA'da kullanmış bunlara ek olarak Engelund-Hansen ve Van Rijn metotlarını da uygulayarak sonuçları kıyaslamışlardır. (Burada h : akım yüksekliği, S : enerji eğimi, d : dane çapı, g : yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.). Çalışma sonuçları YSA'nın diğer iki yöntemden daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Şahin (2006), Gediz Nehri üzerindeki Elektrik İşleri Etüt İdaresi (E.İ.E.) ve Devlet Su İşleri (D.S.İ) verilerini kullanarak HECRAS paket programıyla modelleme yapmıştır. Bu programda kullandığı sediment yükü hesap yöntemleri; Yang, Engelund Hansen, Laursen, Ackers- White , Meyer Peter-Müller, Toffaleri'dir. Gediz Nehri için yaklaşımlar arasında karşılaştırma, istatistiksel değerlendirme ve kullanılan formüllerin %10, %25, %50, %75'lik hata dağılımları belirlenmiştir.

Tayfur ve Güldal (2006), toplam askıda katı madde miktarının tahmini için yapay sinir ağı modeli geliştirerek 240 adet verinin 120 adetini eğitim 120 adetini ise test için kullanmıştır. Kurulan modellerde giriş parametresi olarak yağış değerleri alınmıştır. 7 farklı modelin arasından seçilen en iyi modelde 4 gün önceki yağışın günlük sediment miktarına olan etkisi çapraz korelasyonlarla belirlenmiştir. Tayfur ve Güldal ek olarak 2 boyutlu sediment birim hidrograf modeli (2D-USGT) oluşturmuş bu yöntemi yapay sinir

ağları ile kıyaslamışlardır. Sonuçlar YSA modelinin daha ikna edici olduğu neticesini ortaya koymuştur.

Cıgızoğlu ve Kişi (2006), katı madde tahmininde YSA modeline dayalı olan bazı yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerden elde ettikleri sonuçlarda gerçek değerlere daha çok yaklaştıkları görülmüştür.

Partal ve Cıgızoğlu (2007), sediment tahmini için yapmış oldukları çalışmada yapay sinir ağlarının başarısını arttırmak için dalgacık dönüşümü (Wavelett-ANN) yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem verilerin hem zaman hem de frekans ortamında incelenmesini sağlamaktadır. ABD sınırları içerisinde Philadelphia eyaletinde bulunan Schuykill Nehri'ndeki iki gözlem istasyonu verileri ile çalışılmış olup, çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk kısmında geçmiş askıda katı madde verileri kullanılarak sediment tahmini yapılırken, ikinci kısmında günlük ortalama akım verileri kullanılarak sediment yükü hesaplanmıştır. Çalışmada dalgacık dönüşümü (Wavelett-ANN) modelinin yanı sıra geleneksel yapay sinir ağları ve sediment anahtar eğrileri de kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapılan kıyaslamada dalgacık dönüşümü metodu ile elde edilen sediment değerlerinin pik debilere daha çok yakınsadığı, yanlış tahmin sayısının azaldığı ve yığılımlı sediment değerlerinin gözlenen değerlere daha çok yaklaştığı görülmüştür.

Doğan vd. (2007), yapmış oldukları çalışmanın ana amacı bağımlı değişken (toplam katı madde konsantrasyonu) ile bağımsız değişkenler (yatak eğimi, akım debisi, ve katı madde dane çapı) arasındaki lineer olmayan ilişkiyi açıklayan etkili bir model kurmak olmuştur. Çalışmada 60 adet deney veri setinden yararlanılmış ve YSA modeli oluşturulmuştur. YSA modeli bazı katı madde taşınım denklemleriyle kıyaslanmış ve diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Öcal (2007), yapmış olduğu tez çalışmasında Büyük Menderes Havzası'ndaki Adıgüzel Barajı'nı besleyen Büyük Menderes Nehri ve Banaz Çayı yoluyla taşınan katı madde miktarını yağış ve akış verilerine bağlı olarak YSA yöntemiyle tahmin etmiştir. Çalışma kapsamında akış verilerinin geçmiş günlere bağlı etkisini de dikkate alarak girdi değişkenlerini belirlemiştir.

Alp ve Cıgızoğlu (2007), yılında yapmış olduğu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'nin Pensilvanya eyaleti sınırlarında bulunan Juniata Nehri'nin akım, yağış ve sediment değerlerini, ileri beslemeli geri yayımlı (FFBF) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) yardımıyla iki farklı YSA algoritması kullanarak modellemiştir. Yağış ve akım verilerinin birer gün önceki değerleri ile oluşturulan senaryo en iyi sonucu verirken,

yalnızca yağış verilerinin girdi olarak kullanıldığı senaryo ise sediment tahmini için yeterli görülmemiştir. Son olarak olarak uygulanan bu iki YSA modeli de çoklu regresyon modeli ile kıyaslanmış ve gözlenen değerlere göre daha yakın değerler verdiği görülmüştür.

Kişi vd. (2008), Kızılırmak havzasında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 12 dane istasyona ait aylık akım verileri kullanılmıştır. Bu verilere yönelik bulanık-yapay sinir ağı (fuzzy-neuro) modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca literatürde var olan anahtar eğrilerinin yanı sıra, dinamik anahtar eğrileri ve dinamik regresyon modelleri de geliştirilmiştir. Uygulamalar neticesinde hiçbir tekniğin tek başına bütün istasyonlar için başarılı olamadığı yani her bir istasyon için farklı tekniklerin doğru olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kişi (2008), askıda katı madde tahmininde Quebrada Blanca ve Rio Valenciano istasyonlarına ait akış ve askıda katı madde verilerini 3 ayrı algoritmada kullanmıştır. Çalışmasında katı madde tahminini en iyi şekilde temsil edebilmek için, akım ve katı madde verilerinin kullanımında ne kadar geçmişe gidilmesi gerektiğini bilmenin önemi üzerinde durmuşlardır. Bunun için; çapraz-korelasyon, oto-korelasyon ve kısmi oto-korelasyon yöntemleri %95 güven aralığı ile uygulanmış, bu modeller ile en iyi giriş vektörü kombinasyonuna karar verilmiştir.

Minarecioğlu (2008), Dicle Nehri üzerindeki Diyarbakır ve Cizre istasyonları ve Fırat Nehri üzerindeki Kemahboğazı istasyonuna ait aylık akış ve askıda katı madde verisini kullanmış aylık katı madde miktarının tahmininde bulunmuştur. Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇK-YSA), radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA), genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları (GRYSA), ve adaptif ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) gibi farklı yapay zeka teknikleri kullanılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak karesel hatanın ortalama karekökü (KHOK) ve korelasyon katsayısı (R) istatistikleri kullanılmıştır.

Çobaner vd (2009), adaptif sinirsel bulanık mantık modelleme yöntemini kullanarak askıda katı madde tahmini yapmayı amaçlamışlardır. ABD'de Arcata yakınlarında bulunan Mad Nehri Havzası'na ait günlük yağış, akım ve askıda katı madde konsantrasyonu verileri kullanılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, güncel askıda katı madde tahmini için sinirsel bulanık programlama tekniği kullanılmış, giriş verileri olarak günlük yağış, akım ve geçmiş günlerin akım verileri, askıda katı madde verilerinin çeşitli kombinasyonları kullanılmıştır. İkinci bölümde ilk bölümde kullanılan yöntemin yanı sıra, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRYSA), radyal tabanlı sinir ağı (RTYSA) ve çok katmanlı algılayıcı

(ÇKA) olmak üzere 3 ayrı YSA modeli kullanılmış bunlara ek olarak 2 farklı sediment anahtar eğrisi oluşturulmuştur. Sonuçlar kıyaslandığında, sinirsel bulanık modelinin diğer modellerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Kişi (2009), askıda katı madde tahmini için Quebrada Blanca ve Rio Valenciano istasyonlarına ait günlük akım ve askıda katı madde verilerini kullanarak, bulanık mantık ve diferansiyel gelişim algoritması metotlarının kombinasyonları (evolutionary fuzzy models) olan modelini kullanmıştır. Modelin doğruluğu, adaptif sinirsel bulanık, sinir ağları ve anahtar eğrileri modelleri ile kıyaslanmıştır. Ortalama karesel hatalar ve determinasyon katsayısı modelin doğruluğunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu kombinasyon modeli ile daha iyi tahminler yapıldığı görülmüştür.

Rajae vd. (2009), yapmış oldukları çalışmada askıda katı madde konsantrasyonu için yapay sinir ağları, bulanık-yapay sinir ağı, çoklu doğrusal regresyon ve geleneksel sediment anahtar eğrisi yöntemlerini, iki ayrı gözlem istasyonuna ait günlük akım ve askıda katı madde konsantrasyon verilerini kullanarak modellemişlerdir. Çalışmada yapay sinir ağı ve bulanık-yapay sinir ağı modelinin lineer regresyon ve anahtar eğrileri modelinden daha başarılı olduğu, gözlenen değerlerle elde edilen değerlerin daha çok uyum gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Kişi vd. (2009), Kızılırmak Havzasında bulunan Kuyluş ve Salur İstasyonlarına ait aylık akım ve askıda katı madde verilerini kullanarak, adaptif sinirsel bulanık hesaplama tekniğinin (NF) katı madde tahminindeki doğruluğunu araştırmışlar. Buna ek olarak tahmin edilen sonuçları YSA ve anahtar eğrisi yöntemleriyle kıyaslamışlardır.

Kişi ve Güven (2010), yapmış oldukları çalışmalarında su kaynakları projelerinde askıda katı madde tahmininin çok önemli bir yere sahip olduğunu vurgulayan bu tahmin için genetik programlamanın bir uzantısı olan lineer genetik programlama (LGP) yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem adaptif bulanık-yapay sinir ağı, yapay sinir ağları ve anahtar eğrisi yöntemleriyle kıyaslanmıştır. Ortalama karekök hatası ve determinasyon katsayısı ile modelin doğruluğu test edilmiştir. İki istasyona ait debi ve askıda katı madde konsantrasyon verileri kullanılmış, elde edilen sonuçların doğruluğu ortalama karekök karesel hata ve determinasyon katsayısı gibi parametrelerle test edilmiştir. Lineer genetik programlama tekniği modeli diğer yöntemlerden daha üstün bulunmuştur.

Kişi (2010), diferansiyel evrim algoritmasını ile askıda katı madde konsantrasyonu tahminine çözüm getirmiştir. Yapay sinir ağları, bulanık-yapay sinir ağı ve anahtar eğrisi

yöntemleriyle kıyaslanan bu teknik, daha küçük hata oranlarıyla daha üstün başarı sağlamıştır.

Ülke (2010), çalışmasında Ege Bölgesi'nin başlıca su kaynakları olan Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes nehirlerini askıda katı madde açısından irdelemiştir. Oluşturulan senaryolarla anahtar eğrisi, regresyon ve yapay zeka yöntemleri ile ampirik yaklaşımlar denenmiştir. Çalışmanın ilk kısmında askıda katı madde yükü için modeller kurulmuş, ikinci kısmında ise çeşitli ampirik yaklaşımlar ile akarsu ve havza özelliklerine bağlı tahmin yapılmıştır. Üçüncü kısmı günlük yağış ve akım verileri kullanılarak günlük sediment yüklerinin tahminine yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Çalışmanın son bölümünde ise dört istasyonun verileri bölgesel analiz kapsamında incelenmiş ve duyarlılık analizi yapılmıştır.

Rajae (2011), yılında ABD'deki Yadkin Nehri üzerinde Kuzey Carolina İstasyonu'na ait akım ve askıda katı madde yükü verileri kullanılarak dalgacık dönüşümü yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Dalgacık dönüşümü yapay sinir ağı (WANN) verilerin hem zaman hem de frekans ortamında incelenmesine olanak sağlamıştır. Çalışmada kullanılan bu veriler farklı seviyelerdeki alt-zaman serilerine ayrılarak çalışmaya dahil edilmiştir. Modelin doğruluğunu değerlendirmek için, yapay sinir ağları, çoklu doğrusal regresyon analizi ve geleneksel sediment anahtar eğrileri yöntemleriyle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar dalgacık dönüşüm yapay sinir ağı modelinin, zamana bağlı bu olayı tatmin edici bir şekilde taklit ettiğini, yığılımlı askıda katı madde yükünü tahminini kabul edilebilir seviyelerde olduğunu göstermiştir.

Güven ve Kişi (2011), günlük askıda katı madde tahmininde lineer genetik programlama (LGP) tekniğini kullanmışlardır. Doğruluğunu değerlendirmek için ise yine genetik programlamanın bir kolu olan gen ifadesi programı (GEP) kullanılarak kıyas yapılmıştır. Tongue Nehri üzerinde bulunan iki istasyona ait günlük akım ve askıda katı madde verileri kullanılmış, bahsedilen modeller karesel ortalama hata, determinasyon katsayısı gibi ölçütlerle değerlendirilmiştir. Lineer genetik programlama, gen ifadesi programı ve yapay sinir ağlarından daha iyi performans göstermiştir.

Bayram vd. (2012), yapmış oldukları çalışmada, Doğu Karadeniz Havzası'nda yer alan Harşit Çayı üzerinde, bulanıklılık ölçümlerinden faydalanarak askıda katı madde konsantrasyon tahmininde bulunmuşlardır. Regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanmış, çalışma alanında bulanıklılığın askıda katı madde yerine

kullanılabilir olduğunu ve yapay sinir ağlarının askıda katı madde konsantrasyon tahmini konusunda kabul edilebilir sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Kişi vd. (2012a), yapay arı kolonisi ve yapay sinir ağları algoritmalarını kullanarak akım ve askıda katı madde arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla ABD’de bulunan iki istasyon verileri ile çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca diferansiyel evrim algoritması (NDE), adaptive neuro-fuzzy (NF), neural-network ve sediment anahtar eğrileri kıyas için kullanılmış diğer yöntemlerdir. Çalışmada giriş parametresi olarak logaritmik dönüşümün seçilmiş olması modelin doğruluğunu arttırmıştır.

Kişi vd. (2012b), iki istasyonda günlük askıda katı madde yükünün tahmini için genetik programlama yöntemini kullanmış, destek vektör makineleri (SVM), adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve yapay sinir ağları yöntemleri ile kıyaslamışlardır. Genetik programlama tekniğinin sediment tahmininde diğer yöntemlerden daha üstün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kişi ve Shiri (2012), yapmış oldukları çalışmada üç farklı esnek hesaplama tekniğini askıda katı madde konsantrasyonu tahmini konusunda kullanmışlardır. Yağış, debi ve askıda katı madde verileri ile yapay sinir ağları, uyarlanabilir sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve gen ifadesi programlarından (GEP) faydalanmışlardır. Elde edilen sonuçlar GEP yönteminin söz konusu çalışma alanı için günlük sediment konsantrasyonu tahmininde daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Kişi (2012), yapmış olduğu çalışmasında en küçük kareler destek vektör makineleri yöntemini (LSSVM) debi ve askıda katı madde arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanmıştır. Eel Nehrinde üzerindeki iki istasyondan ölçülmüş verilerle, çalışmanın ilk kısmında destek vektör makineleri yöntemi, yapay sinir ağları ve sediment anahtar eğrileri ile kıyaslanmıştır. Levenberg-Marquardt ve Conjugate Gradient olmak üzere iki farklı algoritma kullanılmıştır. Membaa tarafındaki istasyonda LSSVM ve ANN modelleri SRC modelinden daha iyi sonuç vermiş olsa da, mansap tarafındaki istasyonda SRC daha iyi sonuç vermiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise her iki istasyondaki veriler kullanılarak mansaptaki askıda katı madde tahmini için modeller birbirleriyle kıyaslanmıştır. Sonuç olarak LSSVM modeli ANN modelinden biraz daha iyi performans göstermiştir. Bu iki modelin de SRC modeline göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Fedakar (2012), USGS (United States Geological Survey) tarafından işletilen iki istasyona ait günlük debi ve askıda katı madde konsantrasyonu verilerini kullanmış, bulanık genetik (BG) yaklaşımı ile askı maddesi konsantrasyon tahmininde bulunmuştur.

Gözlenen dört yıllık verilerin ilk iki yılı eğitim, bir yılı test ve kalan bir yılı değerlendirme olarak üçe ayrılmıştır. BG yaklaşımı ANFIS, ÇK-YSA ve anahtar eğrisi modelleri ile karşılaştırılmıştır.

Harrington ve Harrington (2013), İrlanda'nın güneyinde bulunan 2 ayrı havzada kumtaşı, kil taşı ve kireçtaşının hakim olduğu alanda yaptıkları çalışmada kapsamlı katı madde verilerinin olmayışından dolayı katı madde anahtar eğrilerini kullanarak o bölgede değerlendirme çalışması yapmışlardır. 2004-2011 yılları arasında ölçülen logaritması alınmış sediment ve akım verilerine lineer regresyon uygulayarak ya da normal verilere üs fonksiyon uygulayarak oluşturdukları anahtar eğrilerinden faydalanmışlardır. Çalışmada bulanıklılık ve katı madde arasındaki ilişki ortaya konmuştur.

Lafdani vd. (2013), İran'ın batısında yer alan Doiraj Nehri'nde 1994-2004 yılları arasındaki askıda katı madde yükü, debi ve yağış verilerini yapay sinir ağları (YSA) ve destek vektör makineleri (SVM) modellerinde kullanarak katı madde tahmini yapmışlardır. En iyi girdi modeline ise gamma test ve genetik algoritmanın kombinasyonunu kullanarak karar vermişlerdir. Destek vektör makineleri yönteminde lineer, polinomal, sigmoid ve radyal tabanlı fonksiyon olmak üzere 4 farklı çekirdek kullanmışlardır. Radyal tabanlı fonksiyon çekirdeği olan destek vektör makinesi yönteminin, ortalama karesel hata ve korelasyon katsayısı açısından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Memarian vd (2013), yapmış oldukları çalışmada yapay sinir ağlarını genetik algoritma ile birleştirerek katı madde yükünü gözlemlemişlerdir. Giriş parametresi olarak debi, yağış ve rezervuar seviyesi gibi parametreleri kullanarak 5 farklı senaryo geliştirilmiştir. Doğruluklar ortalama karesel hata, korelasyon katsayısı gibi değerlendirme ölçütleriyle ortaya konulmuştur.

Liu vd. (2013), Çin sınırları içerisinde bulunan Yellow Nehri Havzasında 1967-1972 yılları arasında 2193 günü kapsayan verilerle dalgacık dönüşümü-YSA yöntemiyle günlük askıda katı madde konsantrasyonu tahmininde bulunmuşlardır. Hata değerlerine incelendiğinde bu modelin ileri beslemeli geri yayımlı klasik yapay sinir ağları modelinden ve sediment anahtar eğrisinden daha başarılı olduğuna ulaşılmıştır.

Makarynska vd. (2015), askıda katı madde konsantrasyon ve taşınımının tahmininin, deniz ekosistemindeki yaşam döngüsü için önemli bir çalışma olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmayı dalga ve akıntılardan faydalanarak deterministik sayısal modelleme ve yapay sinir ağları olmak üzere iki yöntem bilimi ile geliştirmiş, elde edilen sonuçları karesel hatanın ortalama karekökü ve ortalama göreceli hata değerlerine göre yorumlamıştır.

Kermani vd. (2016), askıda katı madde konsantrasyon tahmini konusunda, üç ayrı hidrometrik istasyona ait 8 yıllık veri serisini kullanarak yapay sinir ağları ve destek vektör regresyon (SVR) modellerinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bulunan sonuçlar çoklu doğrusal regresyon ve sediment anahtar eğrileri ile kıyaslanmıştır. YSA'da üç farklı öğrenme algoritması kullanılmasının yanı sıra SVR'de dört farklı model çekirdek kullanılmıştır. Uygulanan modellerin güvenilirliği, karesel ortalama hata, Pearson Korelasyon Katsayısı ve Nash-Sutcliffe modeli verimlilik katsayısı ile değerlendirilmiştir. YSA ve SVR modelleri geleneksel modellerden sırasıyla %18 ve %15 daha sağlıklı tahminde bulunmuşlardır.

Ebtehaj vd. (2016), kanalizasyon sisteminin teknik dizaynının sediment taşınımının doğru tahmin edilmesine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Destek vektör makineleri ve dalgacık dönüşümünün (SVM-Wavelet) birleşmesiyle oluşan modelini Froude sayısının tahmini için kullanmış, bu modeli sade SVM modeli ve sediment taşınımı eşitlikleriyle kıyaslamışlardır. Elde edilen sonuçlar R^2 , üç göreceli hata ve üç mutlak hata indeksleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

1.4. Akarsularda Katı Madde Hareketi

Akarsularımız üzerine bir yandan halkımızın içme ve kullanma suyu gereksinimiyle birlikte, tarım ve endüstrimizin su gereksinimlerini karşılamak, diğer yandan enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi birçok nedenlerle barajlar yapılmaktadır. Hangi amaçla yapılırsa yapılsın, sedimantasyon bilgisinin azlığından dolayı bu yapıların göllerini besleyen akarsuların taşımış olduğu toprak, kum, silt, kil ve çakıl gibi katı maddeler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak barajların ekonomik ömürlerini kısaltmaktadır (Kişi vd., 2003). Bunun gibi daha pek çok mühendislik problemlerinde akarsudaki katı madde miktarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle akım ve sediment kavramlarının detaylı incelenmesi gerekir.

Sediment erozyonun en belirgin sonuçlarından biridir. Yüzeysel akışlar ile yerlerinden aşındırılarak alınan üst ve alt toprak maddeler eğime bağlı olarak aşağıya doğru sürüklenip akarsulara karışarak sediment oluştururlar (Berkün, 2005). Katı maddeyi akarsuya ulaştıran etkenler şunlardır:

- Akarsu havzasında yağmurlardan ve eriyen kardan meydana gelen yüzeysel akışın oluşturduğu erozyon,

- Akarsuyun kendi yatağında meydana gelen aşınmalar,
- Akarsu şevlerinde meydana gelen kütleli kopmalar ve sökülmeleler,
- Yol ve diğer altyapı inşaatı sırasında oluşan erozyon malzemeleri,
- Yatağı iyice sağlamlaşmamış küçük kanallardaki erozyon sebebiyle oluşan katı maddeler.

Akarsu yatağında meydana gelen bu tür aşınmalar, bu bölge civarında bir takım oyulmaların oluşmasına sebep olur. Diğer taraftan katı madde taşınımı hem miktar hem mesafe olarak akarsuyun sürüklenme kuvvetiyle doğru orantılı olduğundan, suyun sürüklenme kuvvetinin azaldığı yerlerde taşınmakta olan katı maddenin bir bölümü akarsu yatağının tabanına veya kıyısına çöker ve bu bölgelerde ise bir takım yığılmalar meydana gelir. Meydana gelen her iki durumda da (oyulma ve yığılma) akarsu morfolojisi değişmekte ve bu değişim çeşitli baraj yapılarının zarar görmesine ve su kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. İşte bu olumsuz etkileri en aza indirebilmek için taşınmakta olan katı maddenin akarsu havzası boyunca dengeli bir şekilde dağılımını sağlamak gerekir. Bunun sağlanabilmesi için de akarsuyun taşıdığı katı madde miktarının bilinmesi gerekir (Yüksel, 2010).

Akım; su, katı madde ve hava içeren, homojen olmayan bir karışımın tanımıdır. Buradan da anlaşılacağı üzere akımın sadece sudan oluştuğu düşünülmemelidir. Askıda veya tabanda hareket halindeki katı madde suyla sürekli temas halinde olup, suya eşlik etmektedir.

1.4.1. Suyun Karakteristikleri

Akıma ait karakteristikler, özgül kütle, özgül ağırlık, elastisite modülü, yüzeysel gerilme, kinematik viskozite ve buharlaşma basıncıdır

- Özgül Kütle(ρ): Homojen bir maddenin özgül kütlesi, kütle hacme oranı olup

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1.1)$$

bağıntısından bulunur. Özgül kütle içerdiği katı madde miktarına, tuz konsantrasyonuna ya da kirliliğine bağlı olarak artacak şekilde değişiklik gösterebilir. Burada M: Kütle (kg), V: Hacim(cm^3) şeklinde ifade edilmektedir.

- Özgül Ağırlık(γ) :Birim hacim ağırlığına denir. Özgül ağırlık ile özkütle arasındaki ilişki;

$$\gamma = \rho * g \quad (1.2)$$

bağıntısıyla gösterilebilir. Burada γ : Suyun özgül ağırlığı (N / m^3), ρ : Özgül kütle (kg/m^3), g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2) 'dir.

- Elastisite modülü: Suya uygulanan basıncın kaldırılmasıyla suyun eski halini alma durumuna elastisite denir. Elastisite modülü ε ile gösterilmekte olup,

$$\varepsilon = \frac{dP}{(dV/V)} \quad (1.3)$$

bağıntısı ile bulunmaktadır. Burada dP : Basıncın artımı (kg/cm^2), dV : Hacim değişimi (cm^3)'dir.

- Yüzeysel gerilme: Bir sıvının yüzey katmanının esnek bir tabakaya benzer özellikler göstermesinden kaynaklanan etki olarak tanımlanır
- Kinematik Viskozite: Sıvıların kesme kuvvetlerine ya da deformasyonlara karşı gösterecekleri dirence viskozite denmektedir ve μ ile gösterilmektedir.

$$\mu = \nu * \rho \quad (1.4)$$

Bu bağıntıda; μ = Dinamik viskozite (Ns/m^2), ν : Kinematik viskozite (m^2/s), ρ : Özgül kütle (kg/m^3) olarak ifade edilir.

- Suyun buharlaşma basıncı: Suyun dış ortamla temas eden yüzeyinde bulunan ve bu maddeyi oluşturan moleküllerin buharlaşması sonucu oluşan gazın basıncıdır.

1.4.2. Katı Maddenin Karakteristikleri

Bir katı danenin harekete başlaması, akım tarafından taşınması ve yeniden hareketsiz hale geçmesi yalnız akımın değil, aynı zamanda danenin özelliklerine de bağlıdır. Dane çapı, dane özgül ağırlığı, dane biçimi, dane boyutunun dağılımı (granülometri eğrisi),

danenin çökelme hızı katı maddeyi tanımlayan parametrelerdir. Bu özellikler sediment taşınımı çalışmalarında önemli bir yere sahiptir.

1. Dane çapı (d): Katı maddenin önemli bir özelliği olup taşınan katı madde miktarını doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmalar, erozyon tipi ile sediment dane çapı arasında da yakın bir ilişki olduğunu göstermiştir. Genellikle yüzey erozyonunu ince daneli sediment meydana getirmektedir. Katı madde taşınımında en önemli dane sınıfı kum ile çakılın 2-20 mm aralığıdır (Berkün, 2005).

Üç farklı dane çapı tanımlanır.

- Elek çapı: Parçacığın geçebildiği elek çapıdır.
- Nominal çap (Anma çapı): Parçacığın hacmine eşit bir kürenin çapıdır.
- Katı madde çapı: Aynı akışkan içindeki çökelme hızı ve özgül ağırlığı parçacığınkine eşit olan kürenin çapıdır.

Tablo 1.1. Çaplarına göre danelerin sınıflandırılması

Adı	Çapı	Adı	Çapı
Kil	< 2 µm	İri kum	600 µm- 2 mm
İnce silt	2-6 µm	İnce çakıl	2 -6 mm
Orta silt	6-20 µm	Orta çakıl	6- 20 mm
İri silt	20-60 µm	İri çakıl	20 – 60 mm
İnce kum	60-200 µm	Taş	60 – 200 mm
Orta kum	200-600 µm	Kaya	> 200 mm

2. Dane Şekli: Danenin şekli şu üç özellik tarafından karakterize edilir;

Şekil Faktörü; “a, b, c” katsayıları danenin birbirine dik eksenler üzerinde sırasıyla en uzun, orta ve en kısa boyutları olmak üzere, şekil faktörü (ŞF) şu şekilde tanımlanır.

$$\text{ŞF} = c / \sqrt{ab} \quad (1.5)$$

Küresellik; danenin hacmine eşit bir kürenin yüzey alanının, danenin yüzey alanına oranıdır.

Yuvarlaklık; danenin ortalama eğrilik çapının danenin izdüşüm alanı içine çizilen bir danenin yarıçapına oranıdır.

Burada a,b ve c değerleri sırasıyla daneciğin birbirine dik eksenler üzerindeki en uzun, orta ve en kısa boyutlarını gösterir.

3. Dane Özgül Ağırlığı ve Dane Özgül Yoğunluğu: Sediment daneleri yalnız büyüklük bakımından değil, yoğunlukları bakımından da büyük farklılık gösterir. Rezervuara gelecek sedimentin kaplayacağı hacim, sedimentin özgül ağırlığının bilinmesi ile bulunabilir. Akarsularda taşınan maddenin özgül ağırlığı taşınan minerallere göre değişir. Kuars minerallerinin oluşturduğu kum ve çakıl danelerinin genel anlamda katı maddeyi oluşturduğu ve tabiatta bu katı maddenin özgül ağırlığında yapılan deneyler neticesinde ortalama olarak 2650 kg/m^3 olduğu kabul edilmektedir (Beyazıt M., 1971). Sediment danesinin özgül ağırlığı (γ_s) şu şekilde tanımlanır:

$$\gamma_s = g * \rho_s \quad (1.6)$$

burada g yerçekimi ivmesidir.

4. Danenin granülometri eğrisi: Malzeme çapı yatayda, elekten geçen malzemenin ağırlık yüzdesi düşeyde gösterilerek malzemenin granülometri eğrisi çizilir. Katı maddeyi oluşturan malzemenin dane büyüklüğü elek analizi yapılarak belirlenir.

Granülometri eğrisinin oluşturulmasındaki en büyük amaç katı madde taşınımında büyük önemi olan D_{50} olarak bilinen ortalama çapı belirlemektir. Bunun yanı sıra hassas yaklaşımların yapılabilmesi için D_{35} , D_{65} , D_{85} ve D_{90} gibi çaplarında belirlenmesi gerekir. Porozite: Yığılmış sedimentin hacminin belirlenmesinde önemlidir. Porozite;

$$P = \frac{V_T - V_s}{V_s} \quad (1.7)$$

eşitliği ile belirlenir. Bağntısında; P: Porozite, V_T : Sediment örneğinin toplam hacmi, V_s : Örnekteki katı madde hacmi şeklinde ifade edilmektedir.

5. Danenin çökme hızı: bir parçacığın su içinde çökme hızı akarsudaki yığılma problemlerinde ve askı maddesi hareketinin incelenmesinde önemli bir yere sahiptir. Çökme hızına suyla sediment arasındaki yoğunluk farkı, sıcaklığa bağlı olarak akımın viskozitesi, sediment yüzeyinin pürüzlülüğü, sedimentin boyut ve biçim faktörü, askı

maddesi konsantrasyonu ve akımın türbülansı gibi faktörler etki etmektedir (Şentürk, 1969; Bayazıt, 1971; Ülke, 2010).

1.4.3. Akarsulardaki Katı Maddenin Sınıflandırılması

Akarsularda taşınan katı maddeler taşınma şekillerine ve taşınan malzemenin kaynağına göre sınıflandırılırlar.

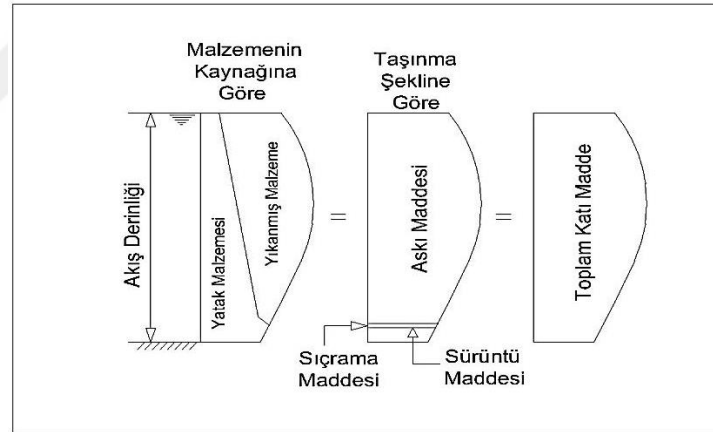
Akarsularda katı madde malzemenin kaynağına göre iki gruba toplanır:

- **Yatak Malzemesi:** Yatak malzemesi yatak yükü olarak da adlandırılır ve hareketli tabanı oluşturan malzemedir. Bu malzeme çeşidi akarsudaki akımın hidrolik koşullarına bağlıdır. Yatak malzemesini oluşturan daneler sürekli olarak yatakla alışveriş halinde olduklarından yataktaki oyulma ve yığılma olayların etkiler. Bir akarsu parçasında yataktan sökülen malzeme miktarı yatağa geri dönenenden az ise oyulma, fazla ise yığılma görülür.
- **Yıkanma Malzemesi:** Birçok akarsuda toplam sediment yükünün %80-95 gibi büyük bir oranı yıkanma malzemesidir. Haznelere çökelen sedimentin büyük bir kısmı yıkanma malzemesinden oluşur. Barajın ömrü boyunca havzadan gelmesi beklenen sediment için ayrılacak ölü hacmin belirlenmesinde yıkanma malzemesi yükünü tahmin etmek gerekir. Yıkanma malzemesini oluşturan ince danelerin miktarı akarsu havzasının büyüklük, zemin yapısı, topografya, yağış şiddeti ve süresi, bitki örtüsü, rüzgar, tabaka akımı gibi özelliklerine bağlıdır. Akarsudaki akımın bu ince daneleri taşıma kapasitesi yıkanma malzemesinin miktarından daha büyük olduğundan, daneler akarsu yatağı ile bir ilişkiye girmeden akarsu boyunca sürekli olarak taşınırlar. Bu nedenle yataktan alınan bir örnekte yıkanma malzemesini oluşturan danelere rastlanmaz (Bayazıt, 2000).

Akarsularda katı madde taşınma şekillerine göre ikiye ayrılır.

- **Sürüntü ve sıçrama hareketi:** Daha çok iri kum ve çakıl malzemesi bunu yapar. Sürüntü maddesinin akarsu tabanı üzerinde yataktan sürekli olarak ayrılmadan bazen kayarak, bazen yuvarlanarak bazen de sıçrayarak hareket ettikleri görülür. Akarsuyun hızının artması ile tabandaki kayma gerilmeleri de artar ve dolayısıyla danelerin bazılarının harekete geçtiği görülür. Bu hareket düşük hızlarda danelerin taban üzerinde kayma ve yuvarlanması şeklinde olur. Buna “sürüntü hareketi” denir.

- Askı hareketi: Askı maddesi daha ince çaplı olmakla birlikte, danenin Froude sayısını 19 yapan çap ayırıcı bir ölçüttür ve bunu sürüntü maddesinden ayıran kesin bir dane çapı yoktur. Çünkü katı madde hareketi sadece dane çapına değil, akım durumuna da bağlıdır. Söz gelişi, hızlı akım olan bir bölgede askı halinde ilerleyen bir parçacık, daha durgun akan bir bölgeye gelince sürüntü hareketine geçebilir. Sürüntü ve askı hareketlerinin mekanizmaları birbirinden farklı olduğundan sürüntü yükünü veren formüllerle askı yükünü veren formüllerin yapıları da farklıdır. Sürüntü malzemesi hareket enerjisini doğrudan doğruya akımın kinetik enerjisinden alırken askı malzemesi akım ortamında asılı olarak hareket edebilmek için gerekli enerjiyi türbülansın alır. Gerek sürüntü, gerekse askı hareketi yapan danelerin ilerleyişleri kesintili olmakla birlikte sürüntü hareketinde kesintilik daha fazladır. Şekil 1.1.'de katı maddenin taşıma şekline ve taşınan malzemenin kaynağına göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 1.1. Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımı (Bayazıt, 1971)

1.4.4. Katı Madde Hareketine Etki Eden Değişkenler

Katı madde taşınımına etki eden değişkenlerin neler olduğu iyi tespit edilmelidir. Akarsularda katı madde taşınımına etki eden çok sayıda değişken vardır. Katı madde debisi (Q_s) hesaplanırken etkisi olduğu bilinen değişkenler:

$$Q_s = f (Q, h, \tau, v, \rho, \varepsilon, \rho_s, d_0, w, g) \quad (1.8)$$

şeklinde bir fonksiyonel bağıntı ile gösterilebilir.

Gösterilen bu bağıntının genellikle sol tarafında bağımlı değişkenler, sağ tarafında ise bağımsız değişkenler bulunmaktadır. Ancak bu değişkenlerden hangisinin bağımlı, hangisinin bağımsız olduğuna akarsu sisteminin şekline göre karar verilir.

Burada:

Q_s : Toplam katı madde debisi (ton/gün),

Q : Akımın debisi (m^3/s),

h : Su derinliği(m),

τ : Kayma gerilmesi (kg/m^2),

ν : Suyun kinematik viskozitesi (m^2/s),

ρ : Suyun özgül kütlesi ($kg.m^{-3}$),

ρ_s : Katı maddenin özgül kütlesi ($kg.m^{-3}$),

d_0 : Katı maddenin ortalama dane çapı (mm),

w : Katı maddenin dane çökme hızı (m/s),

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2),

ε : Katı maddenin karışım katsayısı şeklinde ifade edilmektedir.

Eşitlik 1.8'de verilen fonksiyonel ifadeden de anlaşılacağı gibi bu olaya etki eden değişkenler dört ana grupta toplanabilir. Bunlar; (Yüksel, 2000)

- Akımın özellikleri (Q_w, h, τ)
- Akışkanın özellikleri (ν, ρ, ε)
- Katı madde özellikleri (d_0, w, ρ_s, \dots)
- Yerçekimi ivmesi (g)

1.4.5. Katı Madde Hareketinin Başlaması

Yoğunlukları suyun yoğunluğundan büyük olan katı madde danelerinden oluşan bir yatak üzerinde yer alan akım danelere bazı kuvvetler etki ettirir. Bu hidrodinamik kuvvetlerin bileşkesinin daneyi yerinde tutmaya çalışan kuvvetlerin bileşkesine eşit bir değere ulaşması durumuna kritik durum ya da hareketin başlaması adı verilir.

Akarsularda katı maddenin ilk harekete başlaması çoğu zaman kayma gerilmesi ya da hız yaklaşımına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşımlardan kayma gerilmesi

yaklaşımına göre akarsularda katı maddenin harekete başlamasını sağlayan tabandaki kayma gerilmesidir ve bu gerilme;

$$\tau = \gamma.R.J \quad (1.9)$$

bağıntısı ile bulunabilir 1.9 ile gösterilen bağıntıda;

τ : Kayma gerilmesi (kg/m^2),

γ : Suyun özgül ağırlığı (kg/m^3),

R : Hidrolik yarıçap (m),

J : Hidrolik eğim (m/m) şeklinde ifade edilmektedir.

Su içerisindeki bir parçacığın harekete geçmesini sağlayan kayma gerilmesinin oluşabilmesi için bu parçacığa:

- Suyun sürüklenme kuvveti,
- Parçacığın kendi ağırlığı,
- Suyun kaldırma kuvvetinin etki etmesi gerekir.

Suyun sürüklenme kuvveti ve kaldırma kuvveti parçacık etrafında basınç farkı oluştururlar, bu farklılıklarla birlikte kayma gerilmesi oluşur. Su içerisindeki bir parçacığın harekete başladığı sırada, etki eden devirici ve koruyucu kuvvetler Şekil 1.2’ de görüldüğü gibi birbirine eşit olur. Etki eden bu kuvvetlerin büyüklükleri, o parçacığın büyüklüğüne, biçimine, yatağın pürüzlülüğüne, etrafındaki suyun ortalama hızına ve bu hızdaki dalgalanmalara bağlıdır. Denge durumunda moment alınırsa;

$$F_d b = W_s a \quad (1.10)$$

şeklinde bir bağıntı ile ifade edilebilir. Küre şeklindeki bir dane kabulü ile “ C_D ” ile direnç katsayısı, “ v ” ile dane sürüklenme hızı gösterildiğinde “ F_D ” direnç kuvveti için eşitlik;

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 C_D \frac{\pi D^2}{4} \quad (1.11)$$

denklem (1.11)’de belirtildiği gibi yazılabileceğinden, danenin su içindeki ağırlığı

$$W_s = g(\rho_s - \rho)\pi D^3/6 \quad (1.12)$$

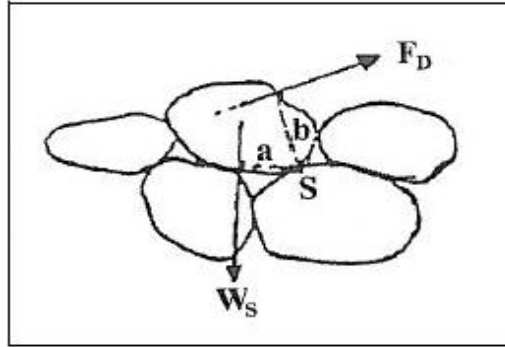
Denklem (1.12)'deki gibi alınıp denge denkleminde yerine konduğunda

$$v^{*2} \rho = \frac{4}{3} \frac{D}{C_D} g(\rho_s - \rho) \frac{a}{b} \quad (1.13)$$

Denklem (1.14) bulunur. Diğer taraftan $\tau_0 = v^{*2} \cdot \rho$ olduğundan denklem (1.13) yeniden düzenlendiğinde hareket sayısı “ ψ ” denklem (1.14)’te belirtildiği gibi yazılabilir:

$$\psi = \frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho)D} = \frac{v^{*2} \rho}{g(\rho_s - \rho)D} = \frac{v^{*2}}{g(\rho_s - \rho) / \rho} = \frac{v^{*2}}{\Delta g D} \quad (1.14)$$

Denklem (1.14)'te dört farklı yazılım şekli verilen “ ψ ” hareket sayısı, hareketin olup olmadığını belirleyen bir parametre olduğu gibi ayrıca katı madde miktarının belirlenmesinde de etken bir boyutsuz büyüklüktür (Özbek ve Özcan 2001).



Şekil 1.2. Su içerisindeki parçacığa etki eden kuvvetler

Bu denklemlerde geçen; F_D : Suyun sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinin bileşkesi (kg), W_s : Suya batmış haldeki parçacığın ağırlığı(kg), a : W , kuvvetine ait kuvvet kolu (m), b : F kuvvetine ait kuvvet kolu (m), C_D : Dane biçimine bağlı direnç katsayısı, ρ : Suyun özgül kütlesi (kg/m^3), Ψ : Parçacığın şekline ve akımın hızına bağlı hareket sayısı.

1.4.6. Katı Madde Taşınımı

Tabanı hareketli bir açık kanaldaki akımın özelliklerine bağlı olarak, akımın eşik değerini aşmasıyla daneler hareket etmeye başlar. Bu hareketteki katı madde tabanla temas halinde bir harekete sahip ise sürüntü maddesi, askı halinde taşınmakta ise askı maddesi olarak adlandırılmaktadır. Bu iki taşınım şekli arasında kesin bir bulunmamaktadır. Çünkü aynı katı madde sürüntü maddesi olabileceği gibi akım şartlarına bağlı olarak askı maddesi olarak da taşınmaya devam edebilir. Taşınım şekillerine göre katı madde taşınımı, sürüntü maddesi ve askı maddesi gibi iki farklı biçimde gerçekleştiği için katı madde miktarını veren formüller, sürüntü maddesini, askı maddesi ve toplam katı madde taşınım formülleri şeklinde gruplandırılırlar.

1.4.7. Sürüntü Maddesi Miktarı Hesabı

Akarsulardaki katı madde ölçümleri genellikle askıda taşınan katı maddenin etütlerine dayanır. Askıda taşınan katı maddeler, toplam katı madde miktarını büyük oranda temsil etmektedir. Fakat bu maddenin yanı sıra sürüntü halindeki katı madde tabanla temas halinde olup, kayarak, yuvarlanarak ve ya sekerek mansaba doğru hareket etmektedir. Bu debi numune alınarak ölçülebileceği gibi, analitik yöntemlerle de hesap edilebilmektedir.

Yatak yükü miktarını tayin etmek maliyetli olmasının yanında önemsizdir. Rutin ölçümlerde kullanılmazlar. Bu sebeple yatak malzemesinden numune alınır. Bu numunelere elek analizi uygulanarak dane büyüklükleri dağılımı tespit edilir ve analitik metotlarla sürüntü maddesi miktarı hesaplanmaktadır. Bunlar Du Boys (1879), Schocklitsch (1934), Schields (1936), Kalinske (1947), Meyer-Peter ve Müller (1949), Einstein (1950), Frijlink (1952), Vollmers ve Pernecker (1965) ve Zanke (1982) şeklinde verilebilir.

1.4.8. Askı Maddesi Miktarı Hesabı

Akarsu içerisinde askıda bulunan katı madde danelerine aşağı yönde çökme hızı etki ederken, yukarı yönde türbülans etki etmektedir. Bu etkiler altında katı madde askıda ve dengede kalmaktadırlar. Tek boyutlu bir akımda denge hali:

$$wC + \varepsilon_s \left(\frac{\partial C}{\partial Z} \right) = 0 \quad (1.15)$$

şeklinde bir eşitlikle ifade edilmektedir (Erkek ve Ağırlioğlu, 2002). Burada; C: Tabandan itibaren herhangi bir z, kotundaki konsantrasyon değeridir (ppm), ε_s : Askı maddesi karışım katsayısıdır. Eşitliğin ilk kısmı çökme ile aşağıya inen, ikinci kısmı ise türbülans etkisiyle yukarı çıkan askı maddesini temsil etmektedir. Konsantrasyonun düşük olduğu zamanlarda; w çökme hızı, C konsantrasyonundan bağımsız alınabilir. Ancak burada ε_s sabit değildir. Burada su hareketinin karışım katsayısı ε ile askı maddesi hareketinin karışım katsayısı ε_s arasında:

$$\varepsilon_s = \beta \varepsilon \quad (1.16)$$

şeklinde bir bağıntı yazılabilir. Burada: β : Bir katsayı olup, küçük parçacıklar için $\beta = 1$, büyük parçacıklar için $\beta > 1$ olarak alınabilir. Burada daha önce verilen eşitlik

$$\int_a^h w dz = c \int_a^c (dC / C) \varepsilon_s \quad (1.17)$$

şeklinde bir ifadeye dönüşür. Burada lineer kayma gerilmesi ve türbülans teorisine göre,

$$\tau = \tau_0 \left[1 - (z/h) \right] = \rho \varepsilon (dV / dZ) \quad (1.18)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu bağıntıdan da;

$$\varepsilon = \left[(\tau_0 / \rho) (1 - (z/h)) \right] \left[1 / (dV / dZ) \right] \quad (1.19)$$

bağıntısı bulunur. Burada; $V_{kr} = (\tau / \rho)^{0.5}$ ve $dV / dZ = V / V_{kr} = \ln 30, 2(z / \Delta)$ olduğu bilindiğine göre ve öte yandan $A = k / x$, x için düzeltme katsayısı $x = k / \delta$ göz önüne alındığında,:

$$\varepsilon / khU_* = z/h[1-(z/h)] \quad (1.20)$$

bağıntısı elde edilir. Burada k : Von Karman katsayısı olup, temiz sular için 0.4, yoğun konsantrasyonlu sular için 0.21 alınabilir.

Yukarıdaki bağıntıda gerekli değerler yerine yazıldıktan sonra verilen genel integral denklemine yerine konular ve askı maddesi konsantrasyonunu veren;

$$C/C_a = [(h-z/z(a/(h-a)))]^\alpha \quad (1.21)$$

bağıntısı elde edilir ki, bu bağıntı askı maddesi konsantrasyonunu hesaplar. Burada C_a : Tabandan a kadar yukarıdaki askı maddesi konsantrasyonu, C : Tabandan itibaren z kotundaki konsantrasyonu, α : Bir katsayı olup;

$$\alpha = w/(kU_*) = w/(k\sqrt{ghj}) \quad (1.22)$$

şeklindedir.

Einstein'ın bazı deneysel çalışmalarında C_a konsantrasyonunu, $a = 2D$ olarak ortalama yoğunlaşma şeklinde kullandığı belirtilmektedir. Bir akarsu en kesitindeki hızın, katı madde konsantrasyonunun ve katı madde debisinin derinliğe göre değişimi Şekil 1.3.'te gösterilmiştir. Akım alanı içinde istenen noktalarda C_k , konsantrasyonları bulunduktan sonra birim genişlikten geçen askı maddesi debisi hesaplanabilir. Bu debi:

$$q_s = \int_a^h (V_{ort} C) dz = C_0 q_w \quad (1.23)$$

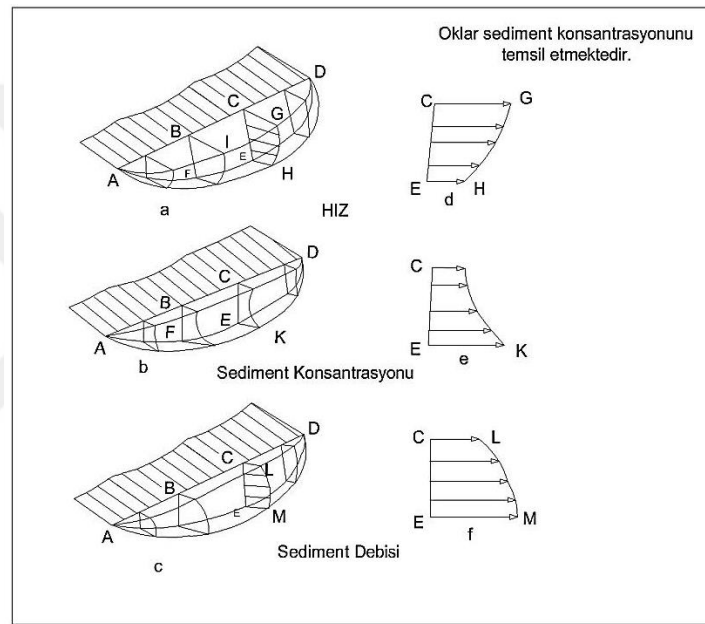
formülü ile hesaplanır. Burada ; q_s : Birim genişlikten geçen askı maddesi debisi ($m^3/s/m$ veya $kg/s/m$), V_{ort} : Tabandan z kadar yukarıdaki ortalama noktada suyun hızı(m/s), C : Tabandan itibaren z kotundaki konsantrasyon (ppm), C_0 : Düşey ekseninde ortalama askı maddesi konsantrasyonudur (ppm), q_w : Birim genişlikten geçen akımın debisi (m^3/s) şeklinde ifade edilmektedir. Tüm kesitten geçen askı maddesi debisinin hesabı ise:

$$Q_s = \int_0^b q_s dx = \int_0^b \int_0^h CV dz dx = C_0' Q \quad (1.24)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada:

Q_s : Toplam kesitten geçen askı maddesi debisi (m^3/s veya kg/s),

C_0' : Toplam kesit için ortalama konsantrasyon değeridir (ppm),



Şekil 1.3. Bir akarsu en kesitindeki hız, katı madde konsantrasyonu ve katı madde debisinin derinliğe göre değişimi

Q : Akım debisi (m^3/s) olarak ifade edilir. Askı maddesi hesabında en fazla kullanılan bazı araştırmacıların yaklaşımları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Van Rinjn, yaklaşımına göre askı yükü sediment miktarı (Rinjn, 1984)

$$q_s = F_d V_{ort} h_{ort} C \quad (1.25)$$

Bağıntısında; F_d : Askı sediment yükü düzeltme faktörü, V_{ort} : Ortalama akım hızı(m/sn), h_{ort} : Ortalama su derinliği(m), C : konsantrasyon olarak ifade edilmektedir.

- Samaga ve diğerlerinin, yaklaşımına göre askı yükü sediment miktarı (Samaga vd., 1986)

$$\phi_s = \frac{q_s}{\gamma_s d_0} \sqrt{\frac{\gamma_w}{\Delta\gamma_s g d_0}} \quad (1.26)$$

Bağıntısında γ_s : Askı sediment yükünün özgül ağırlığı(kg/m³), γ : Akarsuyun özgül ağırlığı (kg/m³), D: Dane çapı(mm), g: Yerçekimi ivmesi ve $\Delta\gamma_s = (\gamma_s - \gamma)$ şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca; boyutsuz askı yükü sediment taşınım parametresi $\phi_s = 28\tau^6$ yardımı ile hesaplanarak 2'nolu bağıntıdan q_s çekilmelidir.

- Şentürk, (Şentürk, 1999) yaklaşımına göre askı yükü sediment miktarı;

$$q_s = 2.2 \times 10^3 \frac{1}{Q_w^{1/2}} d_0^{3/2} Y^{1.49} \quad (1.27)$$

Bağıntıda d_0 : Ortalama dane çapı(mm), Q_w : Akarsu debisi(m³/sn) ve bağıntı yardımı ile belirlenen hesap değeri Y şeklinde ifade edilmektedir.

- Wu ve diğerlerinin (Wu vd., 2000) yaklaşımına göre askı yükü sediment miktarı;

$$Q_{as} = 0.0000262 \left[\left(\frac{\tau_{ort} - 1}{\tau_{kr}} \right) \frac{V_{ort}}{w_z} \right]^{1.74} \quad (1.28)$$

Bağıntısında Q_{as} : Kesitsel askı yükü sediment miktarı(m³/sn), τ_{ort} : Ortalama kayma gerilmesi(kg/m²), τ_{kr} : Kritik kayma gerilmesi(kg/m²), V_{ort} : Ortalama akım hızı (m/sn), w_z : Zhang çökme hızı bağıntısı şeklinde ifade edilmektedir.

- Zanke, yaklaşımına göre askı yükü sediment miktarı; (Zanke, 1978)

$$q_s = 6.36 \times 10^{-5} \frac{h_{ort}}{h_1} \left(\frac{V_{ort} - V_1^2}{w^2} \right) d_{ort}^4 \frac{1}{1 - \varepsilon} vT^* \quad (1.29)$$

Bağıntısında q_s : Askı yükü miktarı($m^3/sn/m$), h_{ort} : ortalama su derinliği(m), h_1 : malzemeyi askı haline geçirecek akım derinliği(m), V_{ort} :Ortalama hız(m/sn), V_1 : Malzemeyi askı haline getirecek hız(m/sn), w : Çökelme hızı(m/sn), d_o :Ortalama dane çapı(mm), ν : Suyun kinematik viskozitesi(m^2/sn), T^* : Ampirik büyüklük, $\varepsilon=0.4$ şeklinde ifade edilmektedir (Şahin, 2006).

1.4.9. Askıda Katı Madde Ölçüm Teknikleri

Herhangi bir akarsu tarafından taşınan askıdaki sediment miktarı akarsu akış kesitleri, akarsu yatağı eğimi, akarsu akış derinliği ve akarsu akış hızı gibi fiziksel akış parametreleri ve sediment özellikleri ile yakından ilişkilidir.

Bir akarsuyun ortalama akım miktarı, taşıdığı sediment miktarı, suyun kalite sınıfı kısa bir zamanda tayin edilememektedir. Erozyon kontrolü için sediment taşınım miktarının tahmini söz konusu olduğunda, bu değerlerin mümkün olduğu kadar uzun bir devre içinde ve yerinde ölçülerek belirlenmesi gereklidir.

Su ile birlikte taşınan toprak (kum, silt, kil ve çakıl) başka bir ifade ile sediment yüklü su rezervuara girdiğinde akımın hızı ve türbülanslığı önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun bir sonucu olarak asılı durumdaki parçalar ile yatak yükünün büyük bir bölümü çöker. Böylece rezervuarın girişinde delta şeklinde sediment birikmeye başlar. Su depolama yapılarının tabanında biriken sedimentler, barajların kullanılabilir kapasitesini giderek azaltmaktadır (Alışık, 1996).

Askıda katı madde ölçümlerinde iki farklı metot kullanılmaktadır.

1.4.9.1. Nokta Entegrasyon Yöntemi

Adından da anlaşılacağı üzere bu metotta düşey ölçüm aksları üzerindeki noktalar üzerinden numuneler alınır. Tek noktalık ölçüm yaklaşımında ya su yüzeyinde ya da su yüksekliğinin %60'ından ölçüm alınır. İki noktalık yaklaşımda ise iki farklı ölçüm şekli vardır. Birincisinde, su yüzeyinde ve akarsu tabanından ölçüm alınır. Bu durumda ortalama konsantrasyon;

$$C_0 = \frac{C_{\text{tab}} + C_{\text{yüz}}}{2} \quad (1.30)$$

ifadesinden bulunur. İkincisinde ise, su derinliğinin %20'si ve %80'inde ölçüm yapılarak; denklem 1.29. ile ortalama konsantrasyon bulunur (Garde ve Raju,1987).

$$C_0 = \frac{3}{8}C_{80} + \frac{5}{8}C_{20} \quad (1.31)$$

Üç noktalık yaklaşımda ise, denklem 1.30 gösterildiği gibi su yüzeyinden, su derinliğinin orta noktasından ve akım tabanından i alınarak ortalama konsantrasyona geçilir.

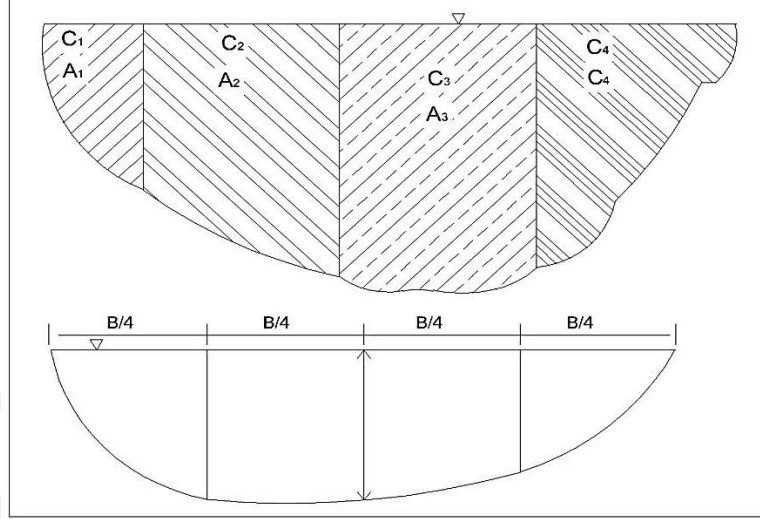
$$C_0 = \frac{C_{\text{ort}} + C_{\text{tab}} + C_{\text{yüz}}}{3} \quad (1.32)$$

Denklemlerde, C_0 ; ortalama konsantrasyonu, C_{ort} : su derinliğinin orta noktasından alınan konsantrasyon C_{tab} ; tabandan alınan konsantrasyonu, $C_{\text{yüz}}$; yüzeyden alınan konsantrasyonu, C_{80} ; su derinliğinin %80'indeki konsantrasyonu, C_{20} ; su derinliğinin %20'sindeki konsantrasyonu göstermektedir.

1.4.9.2. Derinlik Entegresyon Yöntemi

Bir dikey boyunca ortalama askı malzemesinin konsantrasyonunu elde etmek için kullanılır. Su hızına bağlı olarak belirlenecek bir zaman dilimi içinde numune alma aletinin su yüzünden dibe indirilip çıkarılması ile ölçüm gerçekleştirilir. Katı madde konsantrasyonu akarsuyun en kesitinin her noktasında değişiklik göstermektedir. Bu yüzden derinlik entegresyon yöntemi akarsu en kesitini en iyi şekilde temsil edebildiği için en çok tercih edilen yöntem olmuştur. Derinlik entegresyon yönteminde akarsu kesitlere ayrılır. Akarsu genişliğine göre 3,6 ya da 10 parçaya ayrılır ve bu kesitlerdeki su yüksekliği

okunup, alan hesap edilir. Şekil 1.4.'de akarsuyun kesitlere ayrılması görülmektedir (Alışık, 1996; DSİ 2007; Özbek ve Özcan, 2001).



Şekil 1.4. Akarsuyun kesitlere ayrılması

Derinlik entegrasyon yönteminde 2 çeşit ölçüm aleti kullanılır. Nehir yatağına girilerek ölçüm yapılan sığ sularda USDH-48 elden sediment alma aleti kullanılır. Alet 33 cm uzunluğunda ve 1,6 kg ağırlığında olup içine şişe yerleştirilebilen alüminyum bir muhafazadan ibarettir. Pirinçten imal edilen giriş ağızlığı aletin baş kısmına vidalanır. Numune alırken alet tabana aynı hızla indirilmeli ve yukarıya doğru yine sabit hızla çekilmelidir. Numune şişesinin 3/4 ünün dolu olmasına dikkat edilir.

28 kg ağırlığında olan USD-49 aletinin akım nedeni ile yön değiştirmesi minimum düzeyde olmakla birlikte alet dolmayacak biçimde maksimum 5 metrelik derinliklere kadar kullanılmalıdır. Daha büyük derinlikler için noktasal integrasyon aletlerinin kullanılması daha uygun olmaktadır. Bu alet tipinde de numune şişesinin 3/4' ünün dolu olmasına dikkat edilmektedir. Okumalardan ortalama bir konsantrasyon elde edilmiş olur. Burada önemli olan aletin ağzının akım doğrultusuna dik durmasıdır (Alışık, 1995; DSİ, 2007, Ülke 2010)

USDH-48 ve USD-49 aletleri ile alınan süspansediment örnekleri analizler için laboratuvara gönderilir. Laboratuvara her istasyon için 6 ya da 10 şişe olarak getirilen sediment örneklerinden konsantrasyon belirlenmesi için filtrasyon metodu uygulanır. Bu yöntemde, su ile karışık olan sediment örnekleri filtre kağıdı kullanılarak süzülmemektedir. Filtre kağıdının üzerinde kalan yaş sediment, kurutma fırınında 105° C'de 2 saat

bekletildikten sonra tartılarak, o istasyonun net sediment (kum+kil+silt) miktarı bulunur. Daha sonra denklem 1.33.ile sediment konsantrasyonu bir milyondaki parçacıklar (ppm) cinsinden bulunur.

$$C_{\text{ppm}} = \frac{\text{Netsedimentağırlığı} \times 10^6}{\text{Sediment Örnek (su+sediment) ağırlığı}} \quad (1.33)$$

Sediment gözlem istasyonlarından toplanan örneklerin 1.34 no'lu eşitlikte kullanılarak, istasyon yerinin olduğu akarsudan o gün geçen süspanse sediment miktarı (ton/gün) belirlenmektedir.

$$Q_s = Q \times C \times 0,0864 \quad (1.34)$$

Burada; Q_s : Akarsudan geçen günlük sediment miktarı, (ton/gün), Q : Sediment örneği alındığı anda ölçülen akım, (m^3/sn), C :Laboratuvarda hesaplanan sediment konsantrasyonu, (ppm) ifade etmektedir (EİE, 2005).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Çalışmanın bu kısmında Çoruh Nehri üzerinde bulunan 3 istasyonun her biri için askıda katı madde yükü, sediment anahtar eğrisi, farklı regresyon ve yapay zeka yöntemleri ile modellenmiştir. Her bir istasyon için çoklu regresyon analizi, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri, yapay arı kolonileri, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması, çok katmanlı yapay sinir ağları, yapay arı kolonisi algoritması ile yapay sinir ağları eğitimi ve öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması ile yapay sinir ağları eğitimi olmak üzere sediment anahtar eğrisi ile birlikte toplamda 8 ayrı yöntem uygulanmıştır.

2.1.1. Sediment Anahtar Eğrisi (SAE)

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

$$Q_s = aQ^b \quad (2.1)$$

fonksiyonel ilişkisi ile ifade edilir. Burada Q nehir akış debisini, Q_s katı madde miktarını, a ve b ise nehir akışı karakteristiğine bağlı katsayıları göstermektedir. Denklem 2.1'de eşitliğinde her tarafın logaritması alınırsa denklem 2.2 eşitliği elde edilir.

$$\log Q_s = \log a + b \cdot \log Q \quad (2.2)$$

Burada a ve b katsayıları, $\log(Q_s)$ ve $\log(Q)$ arasında lineer regresyon kurularak elde edilir.

Akarsulardaki katı maddeyi akım ile ilişkilendiren bu modeli EİE, Türkiye'de tüm akarsularda genellikle aynı havza içinde askıda katı madde ölçüm verisi olmayan istasyonlarda taşınan katı maddeyi bulmak amacıyla kullanmıştır. Bu yöntem, çoğunlukla

en büyük yüklerin olduğundan daha az ve en küçük yüklerin ise olduğundan çok daha fazla tahmin edilmesine yol açmaktadır (Ülke ve diğ., 2009).

2.1.2. Çoklu Regresyon Analizi (ÇRA)

Birçok alanda olduğu gibi mühendislik problemlerinde de bir bağımlı değişkeni tek bir bağımsız değişken ile açıklamak mümkün değildir. Çok fazla sayıda değişken bir araya gelerek bir diğer değişkeni etkileyebilmektedir. Bu tür değişkenler aynı zamanda kendi aralarında da birbirlerini etkileyebilmektedir. Bu sebeple birden fazla değişkenin kullanılması gereken durumlarda çoklu regresyon analizi uygulanmaktadır.

Doğrusal regresyon, basit olması nedeniyle çok kullanılmaktadır fakat korelasyon katsayılarının çok küçük olması durumunda bu tür regresyonun kullanılması hatalı olur ve bunun yanı sıra doğrusal olmayan regresyon modellerinin de kullanılması gerekmektedir.

Doğrusal olmayan regresyon, istatistik bilimde gözlemi yapılan verilerin bir veya birden fazla bağımsız değişkenin model parametrelerinin doğrusal olmayan bileşiği olan ve bir veya daha çok sayıda bağımsız değişken içeren bir fonksiyonla modelleştirilmesini içeren bir regresyon (bağlanım) analizi türüdür. Veriler arka-arkaya yapılan yaklaşımlarla kurulan modele uydurularak çözümlene yapılı (URL-1).

Askıda katı madde taşınımı doğrusal olmayan bir olay olduğundan, çalışmada doğrusal regresyondan farklı 3 tip çoklu doğrusal olmayan regresyon modeli de kullanılmıştır. Çalışmada doğrusal, üs (kuvvet) fonksiyonu, üstel fonksiyon ve kuadratik fonksiyon denklemleri kullanılmıştır. Her bir istasyon için eğitim setinde en iyi sonucu veren modellerden faydalanılarak bulunan regresyon katsayıları, test setine de uygulanmıştır. Regresyon modellerinin kurulmasında kullanılan çok değişkenli fonksiyonlar aşağıda verilmiştir.

Doğrusal fonksiyon;

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \dots + b_mx_m \quad (2.3)$$

Üs (kuvvet) fonksiyon;

$$y = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)} * \dots * x_m^{b_m} \quad (2.4)$$

Üstel fonksiyon;

$$y = b_0 + e^{(b_1+b_2*x_1+b_3*x_2+\dots+b_m*x_{m-1})} \quad (2.5)$$

Kuadratik (ikinci derece) fonksiyon;

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_1 + b_8x_2x_2 + b_9x_3x_3 \quad (2.6)$$

Denklemleri ile ifade edilmiştir. Denklemlerde; $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ değerleri bağımsız değişkenleri, $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_m$ değerleri regresyon katsayılarını, y ise bu bağımsız değişkenler yerine konularak elde edilen bağımlı değişkenleri göstermektedir.

2.1.3. Çok Değişkenli Uyarlamalı Regresyon Eğrileri (ÇDURE)

Friedman tarafından 1991 yılında geliştirilen çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) parametrik olmayan regresyon analizinin bir formudur. Uygulamalı alanların çoğunda, değişkenler arasında doğrusallık bulunmayan olayları temsil edebilmek için parametrik olmayan regresyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu modelin asıl avantajı tahmin değişkeni ve bağımlı değişken arasındaki karmaşık ve lineer olmayan ilişkiyi açıklayabilmesidir (Kişi ve Parmar, 2016).

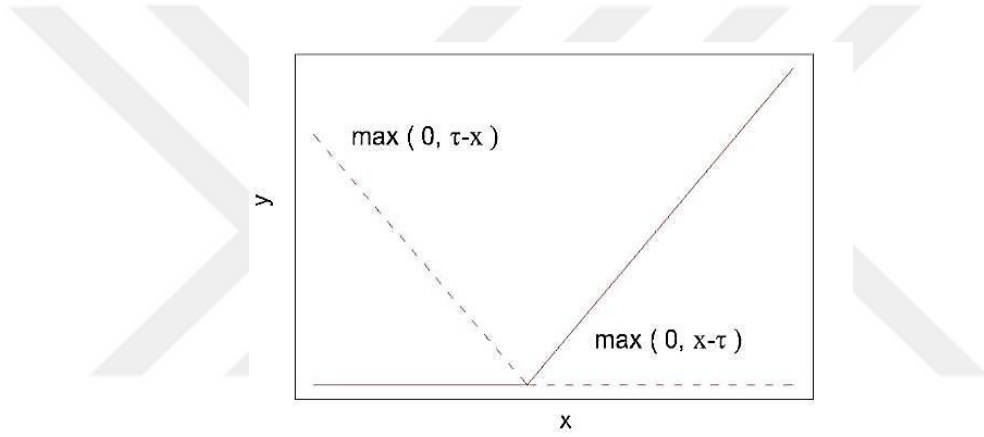
Bu yöntem kullanılırken bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında herhangi bir ilişki varsayımı yapılmamaktadır. Model eldeki veriye dayalı olarak taban fonksiyonlarından ve bu tabanlarla ilişkilendirilen katsayılardan oluşturulur. Bu yöntem bağımsız değişken değerlerini bölgelere ayırarak, her bölgeyi bir regresyon eşitliği ile açıklamaktadır. Ayrıca amaç değişkeni hem açıklayıcı değişkenlerle hem de aralarındaki etkileşimlerle meydana gelen taban fonksiyonlarının katkılarıyla tahmin edilmektedir.

ÇDURE algoritması ileri ve geri doğru olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kullanılan ileriye doğru adım algoritması istenilenden daha karmaşık olduğundan

ikinci aşamada geriye doğru adım algoritması ile modeldeki temel fonksiyonlar sırasıyla elenerek optimum modele ulaşılmaktadır. ÇDURE modeli;

$$c^-(x, \tau) = [-(x - \tau)]_+, \quad c^+(x, \tau) = [(x - \tau)]_+, \quad [q]_+ = \max\{0, q\} \quad (2.7)$$

formundaki doğrusal temel fonksiyonları kullanır. Bu temel fonksiyonlar X_j açıklayıcı değişkenlerinin gözlenen değerlerini en uygun τ düğüm noktalarıyla aralıklara bölen parçalı doğrusal regresyon eğrileridir ve bunlar birbirinin yansıması olan çiftler olarak adlandırılır. Model oluşturulurken amaç her açıklayıcı X_j değişkeni için her $x_{i,j}$ gözlem noktalarındaki düğüm noktalarında bu çifti bulmaktır.



Şekil 2.1. ÇDURE modelindeki temel fonksiyonlar (Toprak, 2011)

Bu nedenle, Şekil 2.1.'de gösterilen temel fonksiyonların kümesi,

$$\wp = \left\{ (X_j - \tau)_+, (\tau - X_j)_+ \mid \tau \in \{x_{1,j}, x_{2,j}, \dots, x_{N,j}\}, j \in \{1, 2, \dots, p\} \right\} \quad (2.8)$$

şeklindedir. N gözlem sayısını göstermektedir. Burada τ temel fonksiyonların düğümünü gösterirken, $[q]_+$ eşitliklerin yalnızca pozitif değerlerinin göz önünde bulundurulduğunu vurgulamaktadır. İleri doğru adım algoritmasında elde edilen ÇDURE modeli;

$$Y = \theta_0 + \sum_{m=1}^M \theta_m \psi_m(X) + \varepsilon \quad (2.9)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada M değeri veriye uygun olan maksimum temel fonksiyon sayısıdır. Eldeki veri kümesi (x_i, y_i) ($i=1, 2, \dots, N$)'ne göre ÇDURE modelinin m. temel fonksiyonu;

$$\Psi_m(x) = \prod_{j=1}^{K_m} \left[s_{K_j^m} \cdot (x_{K_j^m} - \tau_{K_j^m}) \right]_+ \quad (2.10)$$

olarak ifade edilebilir. Burada K_m m. temel fonksiyonda çarpılan doğrusal fonksiyon sayısını, $s + 1$ veya -1 'i; $x_{K_j^m}$ m. temel fonksiyondaki j. değişkeni göstermektedir. Bu temel fonksiyonlar ya tek değişkenli ya da çok değişkenli etkileşim terimlerinden oluşmaktadır. İleri doğru adım algoritmasının her aşamasında kullanılacak en uygun düğüm noktalarını ve temel fonksiyonları belirlemek amacı ile aşağıda tanımlanan genelleştirilmiş çapraz doğrulama (GCV) ölçüsü kullanılmaktadır:

$$GCV = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{f}_\alpha(x_i))^2}{(1 - M(\alpha) / N)^2} \quad (2.11)$$

Burada $M(\alpha) = u + dK$; N:örneklem genişliği; u:bağımsız temel fonksiyonların sayısı; K:seçilen düğüm sayısı; d:temel fonksiyonların maliyetidir. GCV'nin payı hata kareler toplamını, paydası ise modelin karmaşıklığını hesaplamaktadır. ÇDURE algoritmasının ilk adımında oluşturulan en büyük modelin yorumlanması ve kullanımı kolay olmadığından dolayı ikinci adımda en büyük model budanarak, yani önemli bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin etkileşimleri belirlenerek, GCV ölçüsü en küçük olan model elde edilir (Yerlikaya F. vd., 2008).

2.1.4. Yapay Arı Kolonisi (YAK)

Yapay arı kolonisi algoritması Prof. Derviş Karaboğa tarafından arıların topluluk olarak yiyecek arama davranışlarını temel alarak geliştirilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma askeri alanda, inşaat sektöründe, tıp alanında, yapay sinir

ağlarının tasarımında ve daha birçok mühendislik sorunlarının çözümünde kullanılmaktadır.

Bal arısı sürülerinin kendine özgü zeki davranışlarını örnek alan yapay arı kolonisi algoritması, optimizasyon problemlerinin çözümünde, doğada sürü halinde hareket eden arıların besin bulmada sergiledikleri davranışları temel almaktadır. Sosyal bir düzen içinde yaşayan kovadaki bal arılarının her birinin görevi bellidir. Bu denge ve işleyiş araştırmacıların dikkatinden kaçmamış ve onları bu davranışı modellemeye teşvik etmişlerdir (URL-2).

İnsan zekası, ilgili problemler için en çok birkaç dane en iyi çözüm üretirken, yapay arı kolonisi algoritmasının yüzlerce en iyi çözümü bulabilmesi problemlerde etkin olarak kullanılmasını sağlamaktadır.

2.1.4.1. Doğadaki Arıların Yem Bulma Davranışı

Gerçek bir kolonide yapılacak işlere göre arılar arasında bir iş bölümü vardır. Herhangi bir merkezi otorite tarafından bu iş dağılımını gerçekleştirdikleri için kendi kendilerine organize olabilmektedirler. İş bölümü yapabilme ve kendi kendilerine organize olabilme sürü zekasının iki önemli bileşenidir. Arıların yiyecek arama modelinde temel üç bileşen vardır: yiyecek kaynakları, görevi belirli işçi arılar ve görevi belirsiz işçi arılar. Bu minimal model iki modda çalışmaktadır. Biri yiyecek kaynağına yönelme, diğeri ise kaynağı bırakmadır. Bileşenleri şu şekilde açıklanabilir.

Yiyecek Kaynakları: Arıların nektar, polen ve bal elde etmek için gittikleri kaynaklardır. Bir yiyecek kaynağının değeri, çeşidi, yuvaya olan yakınlığı, nektar konsantrasyonu veya nektarın çıkarılma kolaylığı gibi birçok faktöre bağlı olmasına rağmen basit olması açısından nektar zenginliği tek bir kriter olarak alınabilir.

Görevi Belirli İşçi Arılar: İşçi arılar daha önceden belirlenmiş kaynaklara ait nektarın kovana getirilmesinden sorumludurlar. İşçi arılar aynı zamanda kaynaktaki nektarın yeri ve kalitesi hakkındaki bilgileri de kovanda bekleyen diğer arılarla paylaşmaktadır.

Görevi Belirsiz İşçi Arılar: nektarını toplayabilecek kaynak arayışı içerisinde olan görevi belirsiz arıların iki çeşidi bulunmaktadır. Bunlar rastgele kaynak arayışında olan kaşif arılar ve kovanda bekleyen ve görevli arıları izleyerek bu arılar tarafından paylaşılan bilgiyi kullanarak yeni bir kaynağına yönelen gözcü arılardır. Kaşif arılar tüm koloninin ortalama %5-10'u arasındadır.

Bir kovan göz önüne alındığında kovayı parçalara ayırmak mümkündür. Bu parçalardan en önemlisi dans alanıdır. Yiyecek kaynağının yeri ve kalitesi hakkındaki bilgi paylaşımı dans alanında olmaktadır. Bir arı dans ederken diğer arılarda ona antenleri ile dokunurlar ve bulduğu kaynağın kokusu ve tadı ile ilgili bilgileri alarak, ziyaret ettikleri kaynağa daha çok arı çekebilmek için bu dansı gerçekleştirirler. Dans alanında yapılan danslar; nektarın tatlılığına, nektarın çıkarılma kolaylığına, kovandan olan uzaklığa, çiçek nektarının kıvamına, besinin genel durumuna, hava koşullarına ve günün hangi saati olduğuna göre değişim göstermektedirler.

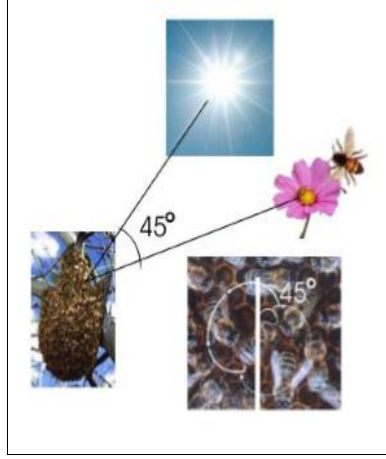
Yiyecek getiricilerin diğer yiyecek getiricileri kaynağa yönlendirmek için onlara yön bilgisi vermeleri gerekmektedir. Yön bilgisi alındıktan sonra hedefe ulaşmak için güneşten faydalanılır. Arılar kendi yörüngeleri ile güneş arasındaki açıyı hesaplarlar. Güneşin önü kapanmış olsa dahi polarize gün ışığından güneşin konumunu tayin edebilmektedirler. Kaynağın kovana olan mesafesine göre çeşitli danslar mevcuttur.

Dairesel dans: daire dansı ile belirtilen yiyeceğin kovana olan uzaklığı maksimum 50-100 metre civarı olduğundan bu dans yön ve uzaklık bilgisi vermemektedir.

Titreme dansı: Arıların petek üzerinde düzensiz tarzda ve yavaş tempoda bacıklarını titreterek ileri, geri, sağa ve sola hareket ettirerek oluşturdukları danstır. Bu dansın amacı kovan kapasitesi ve yiyecek getirme aktivitesi arasındaki dengeyi sağlamaktadır.

Kuyruk dansı: 100 metreden 10 kilometreye kadar olan geniş bir alan içerisinde bulunan kaynaklarla ilgili bilgi aktarımında kullanılmaktadır. Bu dans 8 rakamına benzeyen bir dans çeşididir. Dansı izleyen arıların bir titreşim oluşturulması ile bu dansı yapan arı, dansına son verir.

Yön bilgisi aşağıdaki şekildeki gibi 8 rakamı şeklindeki dansın açı bilgisinden elde edilir. Şekil 2.2’de verilen örnekte arılar, güneşle yiyecek arasındaki açının 45 derece olduğunu anlamaktadırlar (Akay, 2009).



Şekil 2.2. Arılarda dans

Kovanda nektar arayan bir arı aşağıdaki yolların birini izlemektedir.

1. En son keşfettiği besin kaynağını terk ederek yeni bir besin kaynağı arar,
2. En son keşfettiği bir besin kaynağına tekrar gider,
3. En son keşfettiği besin kaynağına dönmeden önce kovandaki diğer arıları bilgilendirmek için sallanma dansı yapar.

2.1.4.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Adımları

YAK algoritmasında, arılar tarafından bulunan her bir besin kaynağının yeri, tasarım değişkenlerinin değerini ve bu besin kaynağındaki nektarın miktarı ise amaç fonksiyonunun değerini temsil etmektedir. Her bir arı en çok nektarı olan çiçeği bulmak için kovandan ayrıldığında rastgele bir yöne ve uzaklığa gider. Bu ilk noktaların koordinatları aşağıdaki gibi tüm arama alanı üzerinde rastgele başlatılır:

$$x_j^0 = \min x_j + \lambda(\max x_j - \min x_j), \quad \min x_j \leq x_j \leq \max x_j \quad (2.12)$$

Yukarıdaki eşitlikte, λ değeri 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıdır. Sağ alt indis her tasarım değişkeninin değişken numarasını, sol üst indis değişkenin alabileceği maksimum, minimum değeri ve sol alt indis ise çözümün hangi besin kaynağında gerçekleştiğini göstermektedir. Denklem 2.12’de verilen ve değerleri tasarım değişkenin önceden bilinen tasarım sınırlarıdır. Eğer tasarım değişkenleri sürekli ise Denklem 2.13’te verildiği gibi

gösterilir. Eğer tasarım değişkenleri sürekli değil ise veriler bir listeden seçilecek ise bu durumda eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$I_j^0 = \min I_j + \lambda(\max I_j - \min I_j), \min I_j \leq I_j \leq \max I_j \quad (2.13)$$

Denklem 2.13'te I tasarım değişkenlerinin listedeki yerini (indisini) göstermektedir. Her bir arı için ilk koordinatlar seçildikten sonra, bu arıların bu koordinatlardaki besin kaynaklarından buldukları nektarın miktarı tespit edilecektir. Bu hesap işlemi optimizasyonda amaç fonksiyonun değerinin hesaplaması anlamına gelir. Amaç fonksiyonu hesaplandıktan sonra en iyi nektarı bulan arılar aynı bölgeye giderken, bu arılara istihdam edilen arılar denir. İyi nektar bulamayan arılar ise iyi nektar bulanları takip edeceklerdir ve bu arılara da izleyici arılar denilecektir.

İstihdam edilen arılar dans ederek işsiz arıları (seyirci arılar) kendi buldukları besin kaynağına gelmeleri için ikna etmeye çalışırlar. Dans eden arıları, nektarların kalitesine göre izleyici arıların takip edeceği düşünülür ise az veya hiç nektar olmayan besin kaynağını daha az işsiz arı seçerken, bol nektar kaynağını ziyaret edecek işsiz arıların sayısının da buna bağlı olarak fazla olacağı kabul edilir. Bu işsiz arıların nektar miktarı ile orantılı bir olasılığa göre besin kaynağını seçmesi anlamına gelir. i ' inci besin kaynağını arıların seçme olasılığı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$p_i = \frac{(f_i(x))^{-1}}{\sum_{m=1}^n (f_m(x))^{-1}} \quad (2.14)$$

Bu formül ile işsiz arıların kaç danesinin i ' inci besin kaynağına gideceği bulunur. Bu adımdan sonra i ' inci besin kaynağına bir adet bu kaynakta istihdam edilen arı ve olasılık ile hesaplanan sayıda arı bu bölgeye gönderilir. Bu bölgedeki her bir arının yeni yeri aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$I_j^{\text{yeni}} = I_j^{\text{isth}} + f(I_j^{\text{isth}} - I_k^{\text{isth}}) \quad (2.15)$$

Yukarıdaki eşitlikte, ϕ değeri -1 ile 1 arasında rastgele bir reel sayıdır. Sağ alt indis (j) tasarım değişkeninin adını gösterirken sol alt indisler (i) besin kaynağının numarasını temsil eder, (k) ise 1 ile SN arasında i ye eşit olmayan bir tam sayıyı temsil eder. Bu formül diğer gıda kaynağı arılarının arama faaliyetlerini kontrol etmek için kullanılır. YAK yakınsama davranışlarında önemli bir rol oynar. Bulunduğu yerde besin seviyesi önceki en iyi besin kaynağına göre daha iyi ise, bulunduğu konum iyi besin kaynağı özelliği kazanır yani $I_{j,k}^{\text{yeni}}$, $I_{j,k}^{\text{isth}}$ 'ye eşit olur. Aksi takdirde, eski konumu en iyi besin kaynağı olarak korunur (Sevim vd., 2014). Bir yapay arı kolonisi algoritmasının akış şeması Şekil 2.3 'te verilmiştir.

2.1.5. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması (ÖÖTO)

Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması, sezgisel olarak bilinen genetik algoritma, karınca kolonisi algoritması, yapay arı kolonileri gibi yeni bir yöntemdir. ÖÖTO bir sınıftaki öğrenciler ve öğretmen arasındaki etkileşime dayanan sosyal tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır (Rao ve Patel, 2012). 2011 yılında Rao tarafından mekanik problemlerin uygulanması için tasarlanan yöntem sonraki yıllarda farklı mühendislik alanlarında da kullanılmış ve diğer lineer olmayan optimizasyon teknikleri ile kıyaslanmıştır. Aynı zamanda yöntem veri kümelemesi konusunda ve düzlemsel çelik çerçeve tasarımında kullanım alanı bulmuştur (Satapathy ve Naik, 2011; Togan, 2012). Bir sınıftaki öğretmen ve öğrenci etkileşimine dayanan bu yöntemde, öğrencilerin öğrenme kabiliyeti öğretmenin kapasitesi ile yakından ilişkilidir. Algoritmanın her safhasında başarılı öğrenciler seçilerek en iyi öğrencilerin tespiti yapılır. ÖÖTO algoritması sınıftaki öğrencilerin sayısı, sınıfların sayısı ve iterasyon sayısı olmak üzere üç temel parametreye sahiptir. Algoritma, öğretmen ve öğrenci safhası olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır.

2.1.5.1. Öğretmen Safhası

Öğretmen safhasında öğrenciler (X_i) öğretmenlerinden bilgiyi taklit etmek suretiyle öğrenmektedirler. Öğretmen, öğrencilere bilgiyi vermekte ve sınıfının ortalama bilgi düzeyini artırmaya çalışmaktadır. Öğrenciler en fazla sınıftaki en deneyimli ve en bilgili insan olan öğretmen ($X_{\text{ögr}}$) kadar öğrenebilmektedir. Algoritma geçerli ortalamayı (X_{ort})

dikkate alarak, herhangi bir seviyedeki kişinin seviyesini (X_i), öğretmen seviyesine çıkartmayı amaçlar.

$$X_{\text{yeni}} = X_i + r * (X_{\text{ögr}} - (T_f * X_{\text{ort}})) \quad (2.16)$$

Denklemden T_f , 1 ile 2 arasında alınan öğretim faktörüdür.

2.1.5.2. Öğrenci Safhası

Öğretmen safhasından sonra, tüm en iyi fonksiyon sonuçları öğrenci safhasında kullanılmak üzere kaydedilir. Öğrenci safhasında, öğrenciler bilgiyi birbirleri ile tartışarak ve etkileşime girerek öğrenirler. Eğer bir öğrenci daha bilgili ise (X_{ii}) diğeri (X_i) kendisini denklem 2.17 ile günceller. Yeni değer;

$$X_{\text{yeni}} = X_i + r * (X_{ii} - X_i) \quad (2.17)$$

şeklini alır. Eğer X_{ii} daha bilgili değil ise yeni değer;

$$X_{\text{yeni}} = X_i + r * (X_i - X_{ii}) \quad (2.18)$$

denklemleri ile hesaplanır.

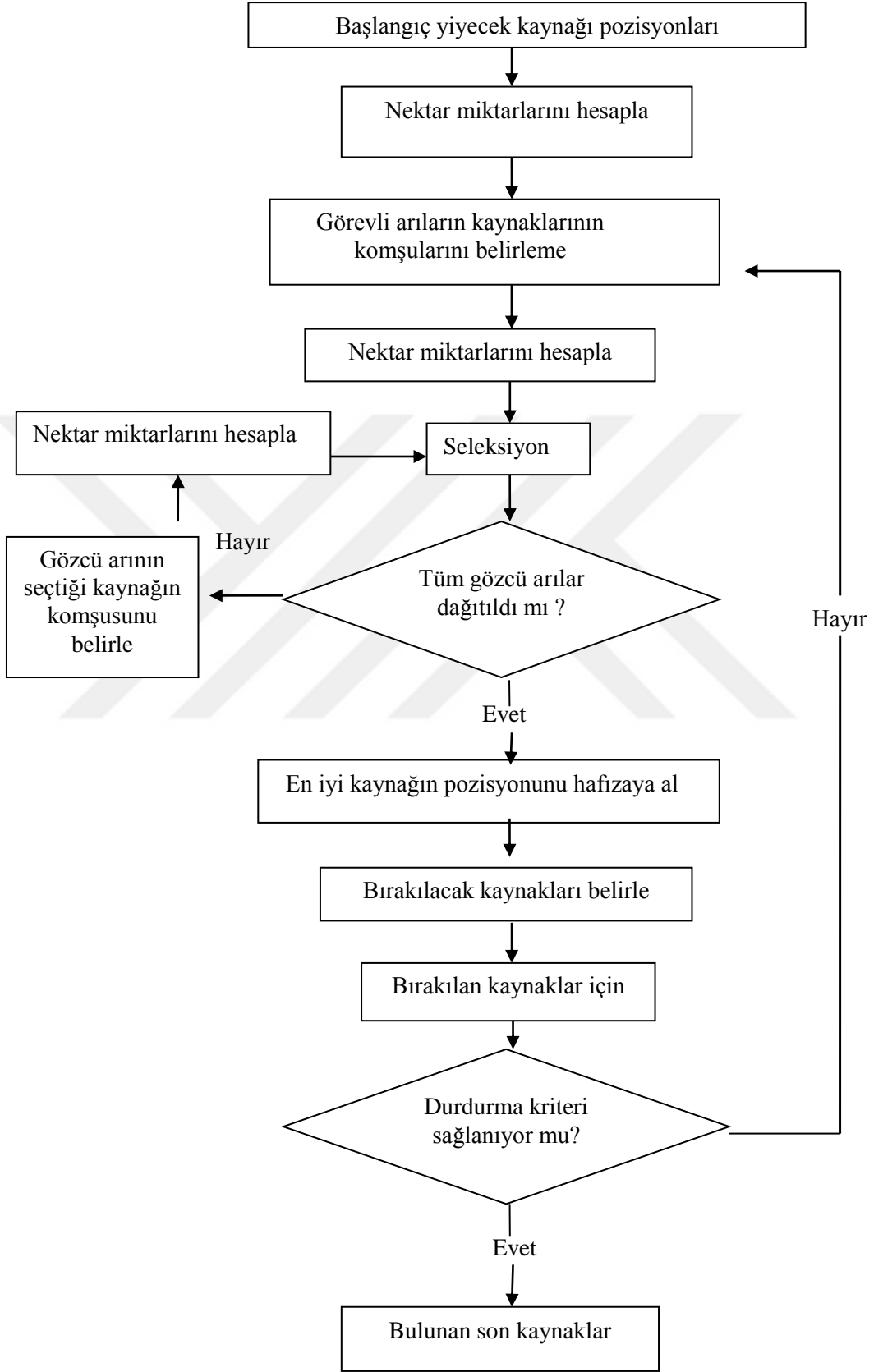
ÖÖTO algoritmasının adımları kısaca aşağıdaki gibidir:

1. Optimizasyon probleminin ve parametrelerinin belirlenmesi
2. Popülasyon sayısına ve tasarım değişkenlerine göre rastgele nüfus oluşturulması (P_n ve D)

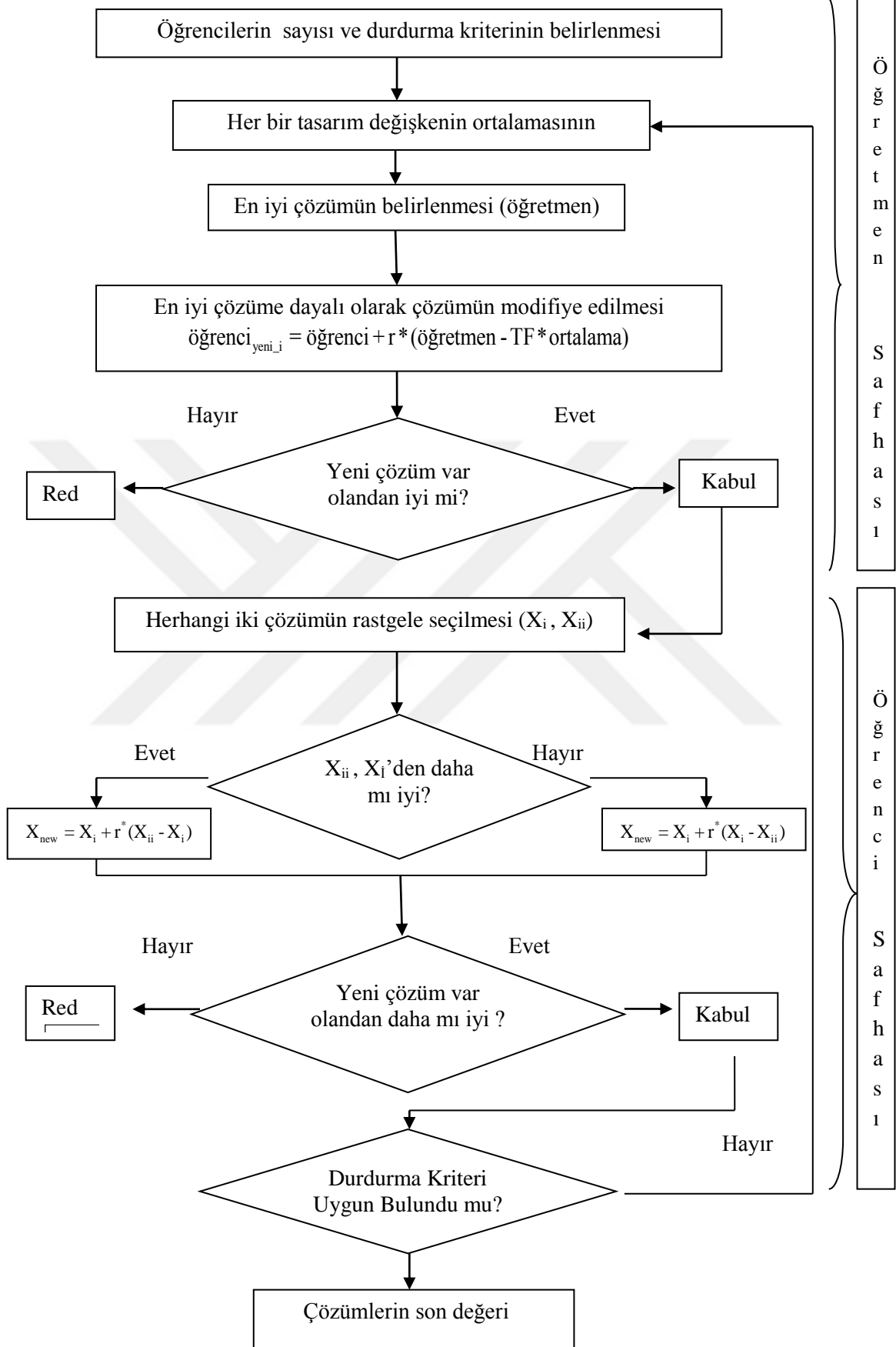
$$\text{sınıf} = \text{pop} = \begin{pmatrix} X_1^1 & X_2^1 & \cdots & X_{nd}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_1^{np} & X_2^{np} & \cdots & X_{nd}^{np} \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

3. Öğretmen safhası
4. Öğrenci safhası
5. Sonlandırma kriteri sağlanana kadar adımların tekrarlanması.

Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması şeması Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. YAK algoritmasının akış diyagramı



Şekil 2.4. ÖÖTO algoritması akış şeması (Rao vd. 2011)

2.1.6. Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Yöntemleri ile Askıda Katı Madde Yüğü Tahmini (YAK, ÖÖTO)

Çalışmada yapay arı kolonisi (YAK) ve öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (ÖÖTO) algoritmaları yöntemlerinde de regresyon analizinde olduğu gibi doğrusal, üs, üstel ve kuadratik olmak üzere 4 farklı fonksiyon kullanılmıştır. Bağımsız değişkenleri optimize etmek için YAK ve ÖÖTO algoritmaları kullanılmıştır.

İstasyonlar için kullanılan bu yöntemlerde 3girdi parametresi ile 4 farklı fonksiyon denklemi kullanılmıştır. Oluşturulan 4 farklı fonksiyon her iki algoritma için kullanılmış, sonucunda OMH ve KHOK hata değerleri elde edilmiştir. Gözlenen değere en yakın olan bir diğer ifadeyle en az hata değerlerini veren fonksiyon için grafik ve tablolar oluşturulmuştur.

YAK ve ÖÖTO algoritmalarında en iyi parametre değerlerini belirlemek önemlidir. Aksi takdirde parametrelerdeki herhangi bir değişim, algoritmanın sonucuna etki etmektedir (Uzlu vd., 2014). YAK ve ÖÖTO algoritmalarında parametrelerin ağırlıkları (-5) ile (5) arasında belirlenmiştir. Parametreler tüm istasyonların tüm denklemlerinde aynı değerler için belirlenmiş olup detaylar Tablo 2.1’de verilmiştir. YAK modelinde sırasıyla popülasyon hacmi ve limit değeri 50-150, 100-300 ve 200-600 seçilmiş, kullanılan 4 ayrı fonksiyonun her birine uygulanarak her bir istasyon için 12 adet, toplamda sadece YAK modeli için 48 adet bilgisayar ile analizler gerçekleştirilmiştir. ÖÖTO modelinde de popülasyon hacmi 50, 100 ve 200 değerleri seçilerek 36 bilgisayarda analizler yapılmıştır. Her bir bilgisayarda (analizde) 100 ayrı koşturma, 5000 iterasyon ile tekrarlanmıştır. Elde edilen performans ölçüm kriterleri kıyaslanarak en iyi sonuç veren kombinasyonun katsayılarından faydalanılmıştır.

Tablo 2.1. YAK ve ÖÖTO Kontrol parametre değerleri

YAK Parametreleri				ÖÖTO Parametreleri	
NP	SN (NP/2)	Limit Aralığı	MCN	NMI	SP
50	25	150	5000	5000	50
100	50	300			100
200	100	600			200

2.1.7. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beynindeki sinir hücrelerinden esinlenerek geliştirilen yapay sinir hücrelerinin değişik bağlantı geometrileri ile birbirlerine bağlanarak meydana gelen karmaşık sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bilgi işlem süreçleri olarak nitelendirilebilen yapay sinir ağları, verilen girdilere karşı çıktılar üreten bir kara kutuya benzetilebilir (Kohonen, 1988).

Yapay sinir ağları insan beyninden esinlenerek ve öğrenme sürecinin matematiksel modelleme ile ifade edilmesini sağlamak amacıyla ortaya çıkmıştır. İlk olarak beyni oluşturan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması sonraları bu sistemlerinin gelişmesine ve birçok alanda kullanılmaya başlanmasına ön ayak olmuştur.

Yapay sinir ağları her ne kadar insan beyninin taklit etmeye çalışsa dahi böyle bir organizmanın yanında ilkel kalmaktadır. İnsan beyninde yaklaşık olarak 10^{11} sinir hücresinin varlığından bahsedilmekte fakat bu sayının çok azı bilgisayar ortamında modellenmektedir. YSA'lar yapısallıkları ve hassas eşleştirilmeleri sayesinde karar hızı açısından insan beyni ile yarışmasa da uygulama alanları gün geçtikçe artmaktadır.

İnsanı taklit etmeye yönelik olduğundan 1950'li yıllardan beri süren yapay zeka çalışmaları mühendislik, nöroloji ve psikoloji gibi alanlara da yayılmıştır. Sınıflandırma, modelleme ve tahmin konularında kullanılan ysalar karmaşık modellere gerek duymadan yalnızca problemin ait olduğu ağın eğitilmesiyle çözüme varmaktadır.

YSA'lar, uygulanan ağ modeline göre değişik karakteristik özellikler göstermelerine karşın temel birkaç ortak özelliğe sahiptirler.

- YSA'lar birçok hücreden meydana gelirler ve bu hücreler eş zamanlı olarak çalışarak karmaşık işlevleri yerine getirirler. Süreç içerisinde bu hücrelerden herhangi biri işlevini yitirse dahi sistem güvenli bir şekilde çalışmasına devam edebilir.
- Eğitim esnasında kullanılan nümerik bilgilerden, problemin genel özellikleri elde etmesi ve böylelikle eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de, anlamlı yanıtlar üretebilmektedir.
- YSA'lar makina öğrenmesi gerçekleştirebilirler. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında mantıklı kararlar verebilirler.
- Bilgiler ağın tamamında saklanır. Geleneksel programlamada olduğu gibi bilgiler veri tabanları yada dosyalarda belli bir düzende tutulmaz, ağın tamamına

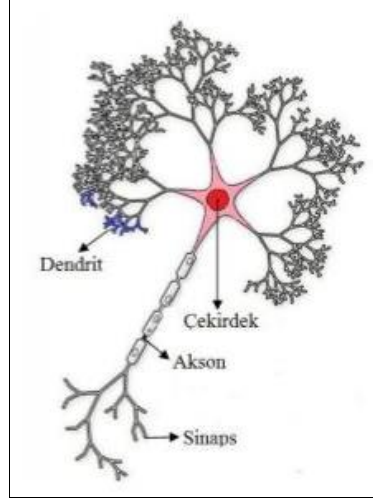
yayılarak değerler ile ölçülen ağ bağlantılarında saklanmaktadır. Hücrelerden bazılarının işlevini yitirmesi, anlamlı bilginin kaybolmasına neden olmaz.

- Örnekleri kullanarak öğrenirler. YSA'nın öğrenebilmesi için örneklerin belirlenmesi, bu örneklerin ağa gösterilerek istenen çıktılara göre ağın eğitilmesi gerekmektedir.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. YSA'ların en başarılı oldukları alanlar, algılamaya yönelik uygulama alanlarıdır. Bu alanlarda başarıları kanıtlanmıştır.
- Kendi kendine öğrenebilme ve organize etme yetenekleri vardır. YSA'lar online olarak öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler.
- Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Geleneksel sistemlerin aksine YSA'lar eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse dahi, çıktı üretebilirler. Bu durum bir performans kaybı yaratmaz, performans kaybı eksik bilginin önemine bağlıdır. Burada bilgilerin önem dereceleri eğitim sırasında öğrenilir.
- YSA'ların eksik bilgilerle çalışabilmeleri ve bazı hücreleri bozulsa dahi çalışabilmeleri, onları hatalara karşı toleranslı yapar.
- Dereceli bozulma gösterirler. Bir ağ, zaman içerisinde yavaş ve göreceli bir bozulmaya uğrar. Ağlar problemin ortaya çıktığı anda hemen bozulmazlar.

2.1.7.1. Biyolojik Sinir Hücresinin Yapısı

Yapay sinir ağları biyolojik sinir ağlarının modellenmesi olduğu için öncelikli olarak biyolojik sinir hücrenin yapısına bakmak gereklidir. Biyolojik bir sinir hücresi; Şekil 2.5'te görüldüğü gibi bir gövde, bir akson, çok sayıda sinir ucu (dendrit) ve akson ile diğer sinir hücresinin ucu arasında kalan ince uzantılar (sinaps) olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır.

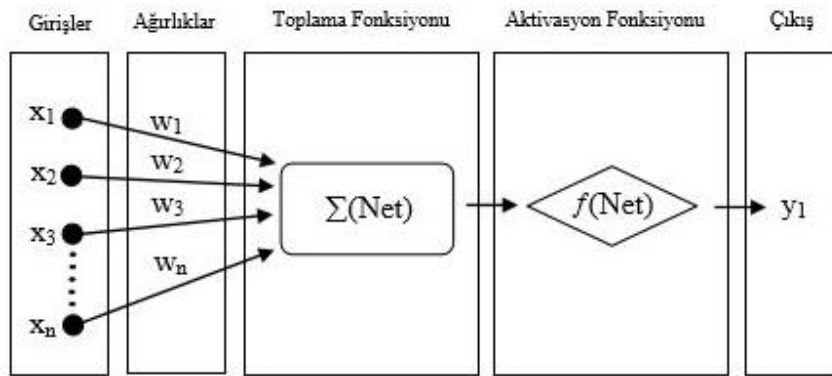
Dendritler, gelen sinyalleri çekirdeğe iletir. Çekirdek dendritten gelen sinyalleri bir araya toplar ve aksone iletir. Toplanan bu sinyaller, akson tarafından işlenerek sinapslara gönderilir. Sinapslar da yeni üretilen sinyalleri diğer sinir hücrelerine iletir.



Şekil 2.5. Biyolojik sinir hücresi ve yapısı

2.1.7.2. Yapay Sinir Hücresi

YSA' nın temel işlem elemanı olan yapay sinir hücreleri, gerçek sinir hücrelerinin simüle edilmesiyle gerçekleştirilirler. Yapay sinir hücreleri kendi aralarında bağ kurarak yapay sinir ağlarını oluştururlar. Bir yapay nöronun temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama (birleştirme) fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar bulunmaktadır. Şekil 2.6'da bir yapay sinir hücresinin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.6. Yapay sinir hücresinin yapısı (Fedakar, 2012)

Girdiler yapay sinir hücresine bir diğer hücreden gelebileceği gibi bir direkt olarak dış dünyadan da gelebilirler. Girdi değerlerinin her biri bağlantı ağırlığı ile çarpılmaktadır.

Bu ağırlıklar w_i ile gösterilmektedir. Bu ağırlıklar girdilerin çıktı üzerindeki etkilerini belirlemektedir. Birleştirme fonksiyonu, sinir hücresine ağırlıklarla çarpılarak gelen bu girdileri hücrenin net girdisi şeklinde hesaplanmaktadır.

$$\text{Net} = \sum_{i=1}^N X_i * W_i \quad (2.20)$$

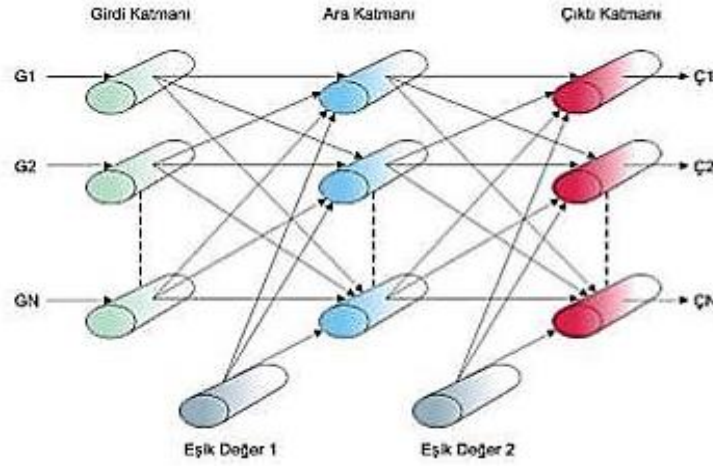
Hücreye gelen net girdi aktivasyon fonksiyonu ile işlenir ve hücrenin bu girdiye karşı ürettiği çıktı belirlenir. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. Yapay sinir ağlarının bir özelliği olan “doğrusal olmama” aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmama özelliğinden gelmektedir. Aktivasyon fonksiyonu seçilirken türevinin kolay alınabilir olmasına özen gösterilmelidir. Geri beslemeli ağlarda aktivasyon fonksiyonun türevi de kullanıldığı için hesaplamaların yavaşlamaması için türevi kolay hesaplanır bir fonksiyon seçilmelidir. Aktivasyon fonksiyonları doğrusal, adım (step), sigmoid, tanjant hiperbolik, eşik değer ve sinüs olmak üzere birçok şekilde seçilebilir.

Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değerler, hücrenin çıktı değerleri olmaktadır. Bu değerler ister yapay sinir ağının çıktısı olarak dış dünyaya verilir, isterse tekrar ağın içinde kullanılabilir.

2.1.8. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağlarının Yapısı (ÇK-YSA)

Yapay sinir ağları yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılardır. Yapay sinir ağları üç ana katmanda incelenir; (Şekil 2.7)

- Giriş Katmanı,
- Ara (Gizli) Katmanlar
- Çıkış Katmanı.



Şekil 2.7. Çok katmanlı yapay sinir ağlarının yapısı (Anılan, 2014)

Girdi katmanı yapay sinir ağlarına dış dünyadan gelen girdilerin olduğu katmandır. Bu katmanda bilgi işleme olmaz. Gelen her bilgi geldiği gibi bir sonraki katmana gider. Ara katmanlar girdi katmanının gelen bilgileri işleyerek bir sonraki katmana gönderir. Çok katmanlı bir ağda birden fazla ara katman bulunabilir. Çıkış katmanı ara katmandan gelen bilgileri işleyerek girdi katmanından verilen girdilere karşılık ağın ürettiği çıktıları belirleyerek dış dünyaya gönderir. Çok katmanlı ağ öğretmenli öğrenme stratejisini kullanır. Ağa, hem örnekler hem de örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar verilmektedir. Sistem, kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretmektedir.

Çok katmanlı ağın öğrenme kuralı en küçük kareler yöntemine dayalı Delta Öğrenme Kuralı'nın geliştirilmiş halidir. Bu yüzden Genelleştirilmiş Delta Kuralı (GDK) olarak da isimlendirilmektedir. Ağın öğrenebilmesi için eğitim seti adı verilen ve örneklerden oluşan bir sete ihtiyaç vardır. Bu set içinde her örnek için ağın hem girdiler hem de o girdiler için ağın üretmesi gereken çıktılar belirlenmiştir. Genelleştirilmiş Delta Kuralı iki aşamadan oluşur.

- İleri doğru hesaplama: ağın çıktısının hesaplandığı safhadır.
- Geri doğru hesaplama: ağırlıkların değiştirildiği safhadır (Öztemel, 2006).

2.1.8.1. Çok Katmanlı Ağların Çalışma Adımları

ÇKA ağlarının çalışması şu adımları içermektedir:

- Örneklerin toplanması; ağın çözmesi istenilen olay için daha önce gerçekleştirilmiş örneklerin bulunması adımıdır. Ağın eğitilmesi için örnekler toplandığı gibi (eğitim takımı) ağın denenmesi için de örneklerin (deneme takımı) toplanması gerekmektedir. Eğitim takımındaki örnekler tek tek gösterilerek ağın olayı öğrenmesi sağlanır. Ağ olayı öğrendikten sonra, deneme takımındaki örnekler gösterilerek ağın becerisi ölçülür. Hiç görmediği örnekler karşısındaki başarısı ağın iyi öğrenip öğrenmediğini ortaya koymaktadır.
- Ağın topolojik yapısının belirlenmesi; öğrenilmesi istenen olay için oluşturulacak olan ağın topolojik yapısının oluşturulduğu adımdır. Kaç dane girdi ünitesi, kaç dane ara katman, her ara katmanda kaç dane işlem elemanı ve kaç dane çıktı elemanı olması gerektiği bu adımda belirlenmektedir.
- Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi; ağın öğrenme katsayısı, momentum katsayısı ve işlem fonksiyonlarının belirlendiği adımdır.
- Ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması; işlem elemanlarını birbirlerine bağlayan ağırlık değerlerinin ve eşik değer ağırlıklarının başlangıç değerlerinin atanmasının yapıldığı adımdır. Başlangıçta genellikle rastgele değerler atanır. Daha sonra ağ uygun değerleri öğrenme sırasında kendisi belirler.
- Öğrenme takımından örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi; ağın öğrenmeye başlaması ve öğrenme kuralına uygun olarak ağırlıkları değiştirmesi için ağa örneklerin (Girdi/Çıktı değerleri) belirli bir düzende gösterildiği adımdır.
- Öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması; sunulan girdiler için çıktıların hesaplandığı adımdır.
- Gerçekleşen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması; ağın ürettiği hata değerlerinin hesaplandığı adımdır.
- Ağırlıkların değiştirilmesi; geri hesaplama yöntemi uygulanarak üretilen hatanın azalması için ağırlıkların değiştirilmesi yapılır. Yukarıdaki adımlar ağın öğrenmesi tamamlanıncaya kadar, yani gerçekleşen çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilir düzeye ininceye kadar devam eder. Ağın öğrenmesi için bir durdurma kriteri olması gerekmektedir. Bu ise genellikle

üretilen hatanın belirli bir düzeyin altına düşmesi olarak alınmaktadır (Kankal, 2010).

2.1.8.2. Geri Yayınım Algoritması

Geri yayınım algoritması basitliği ve uygulamadaki görüş açısı gibi başarılarından dolayı mühendislik problemlerinin çoğunda kullanılan eğitim için en popüler algoritmalardan biridir. Bu algoritma hataları geriye doğru, çıkıştan girişe olan yönde azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayınım ismini almıştır. Geri yayınlı öğrenme kuralı ağ çıkışında bulunan mevcut hata düzeyine göre her bir tabakadaki ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır.

Geri yayınım algoritması, bu çalışmada katı madde yükü tahmini konusunda, debi ve askıda katı madde yüküne ait geçmiş veriler ile kullanılmıştır. Gizli katman da dahil olmak üzere üç katmanlı ağ seçilmiştir. Çalışmada girdi ve çıktı parametreleri seçildikten sonra ara katman eleman sayısı 5, 10, 15 ve 20 olmak üzere 4 farklı şekilde seçilmiştir. Kullanılan parametreler Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Ağın mimarisi oluşturulurken girdi katmanında herhangi bir işlemci fonksiyonu kullanılmamış, ara katman ve çıkış katmanında ise sırasıyla tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) ve linear transfer fonksiyonu (purelin) en iyi sonucu vermiştir.

YSA modelinde en iyi sonuca ulaşabilmek için birçok işlem yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları ara katman sayılarını arttırmak (5-20), öğrenme ve momentum katsayılarına farklı değerler vermektir. Çalışmada 0.1, 0.5 ve 1 olmak üzere üç farklı öğrenme katsayısı ve üç farklı momentum katsayısı kullanılmıştır. Dolayısıyla 4 farklı ara katman sayısı, 3 farklı öğrenme katsayısı ve 3 farklı momentum katsayısı ile her istasyon için 36 olmak üzere toplamda 108 farklı kombinasyon ile koşturmalar yapılmıştır. En iyi sonuç veren kombinasyon için eğitim, doğrulama ve test verileri göz önünde bulundurularak, her bir istasyon için tablolar halinde sunulmuştur. Ağ eğitiminde maksimum iterasyon sayısı 10.000 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.2. Farklı YSA modelleri için kullanılan değişkenler

Ara Katmanda Bulunan Eleman Sayısı	Öğrenme Katsayısı	Momentum Katsayısı
3, 5, 10, 15 ve 20	0,1	0,1
		0,5
		1
	0,5	0,1
		0,5
		1
	1,00	0,1
		0,5
		1

2.1.9. Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması ile YSA eğitimi (YSA-YAK ve YSA-ÖÖTO)

Çalışmanın bu kısmında katı madde yükü tahmini konusunda sıklıkla kullanılan yapay sinir ağlarının eğitiminde, son zamanlarda geliştirilen yapay arı kolonisi ve öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmalarının performansı test edilmiş ve sonuçları diğer yöntemlerle kıyaslanmıştır. YAK ve ÖÖTO algoritması geri yayılım algoritmasından kaynaklanan dezavantajları aşmak ve ağırlık ve eşik değerler de dahil olmak üzere yapay sinir ağlarının eğitim sürecinde daha kabul edilir parametreler elde ederek daha küçük hata değerlerine ulaşmak için kullanılmıştır. Parametreler yakınsama kriterine ulaşınca kadar sürekli olarak güncellenmiştir.

YAK algoritması üç adet kontrol parametresi içermektedir. Bunlar işçi ya da izleyici arı sayısına eşit olan besin kaynağı sayısı (SN), limit değer ve maksimum döngü sayısı (MCN)'dir. ÖÖTO algoritmasındaki kontrol parametreleri ise maksimum iterasyon sayısı (NMI) ve popülasyon hacmidir. Her iki algoritmada da eğitim süreci girdi vektörüne defalarca uygulanarak, belirli durdurma kriterine ulaşınca kadar her iterasyonda ağ güncellenmiştir. Algoritmadaki parametreler YSA'nın tüm değerleri için aynı olarak belirlenip Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4'ten de görüldüğü gibi her ara katman sayısı için limit ve iterasyon sayısı değerleri değiştirilerek 4 farklı analiz yapılmıştır. Her istasyon için 16, toplamda ise 48 bilgisayar kullanılarak koşturmalar tamamlanmıştır. Her bir bilgisayarda (analizde) 100 ayrı koşturma, 500 ve 2000 iterasyon ile tekrarlanmıştır. Parametrelerin belirlenmesinde

önceki çalışmalarda kullanılan değerler dikkate alınmıştır. Elde edilen performans ölçüm kriterleri kıyaslanarak en iyi sonuç veren kombinasyonun hata değerleri bulgular bölümündeki sonuç tablolarında gösterilmiştir.

Tablo 2.3. YAK-YSA ve ÖÖTO-YSA ve kontrol parametreleri

YAK-YSA Parametreleri						ÖÖTO-YSA			
NP		SN (NP/2)		MCN	Limit Aralığı	NMI	SP		
50	100	25	50	2000	[-1,1]	2000	50	100	200

Tablo 2.4. YAK-YSA modellerinde kullanılan değişkenler

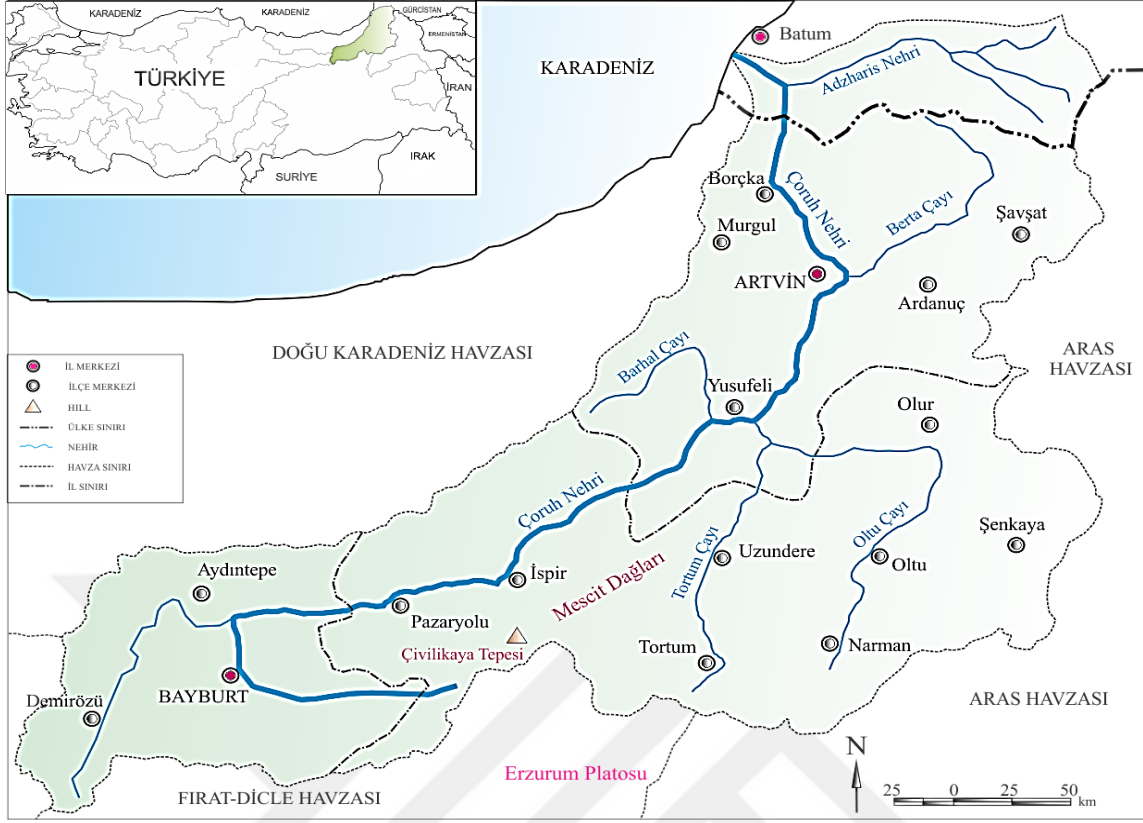
Ara Katman Eleman Sayısı	Popülasyon Hacmi	Limit	İterasyon Sayısı
5, 10, 15 ve 20	50	100	500
		1000	2000
	100	500	2000
		1000	2000

2.2. Çalışma Alanı ve Veriler

2.2.1. Çoruh Havzası ve Tanıtımı

Çoruh havzası, Türkiye'nin kuzeydoğusunda 39° 55' - 41° 32' Kuzey enlemleri ile 39° 40' - 42° 39' Doğu boylamları arasında Karadeniz'in güneyinde ve komşu ülke Gürcistan sınırına bitişik bölgede yer almakta olup yaklaşık 2 milyon hektar alanı kapsamaktadır. Alanın yaklaşık %22'si (444.000 ha) ormanla kaplıdır. Şekil 2.8'de Çoruh Havzası'nın yer bulduru haritasına yer verilmiştir. Havzada 515 adet orman köyü ve 317 adet orman köyü kapsamında olmayan köy vardır.

Çoruh Nehri Havzası Türkiye'nin en az gelişmiş bölgelerinden biri olup kırsal alandaki gelirleri çok düşüktür. Ekilebilir arazi eksikliği geçmiş yıllarda diğer bölgelere olan dış göçü artırma ile sonuçlanmıştır. Bu yüzden hükümet tarafından Çoruh Nehri Havzası'nın diğer bölgelerle arasındaki bölgeler arası eşitsizliği kapatılmak amacıyla geniş çaplı bir geliştirme programı hazırlanmıştır (Berkün vd., 2010, Berkün ve Aras, 2012, Berkün vd., 2015).



Şekil 2.8. Çoruh Havzası'nın yer bulduru haritası

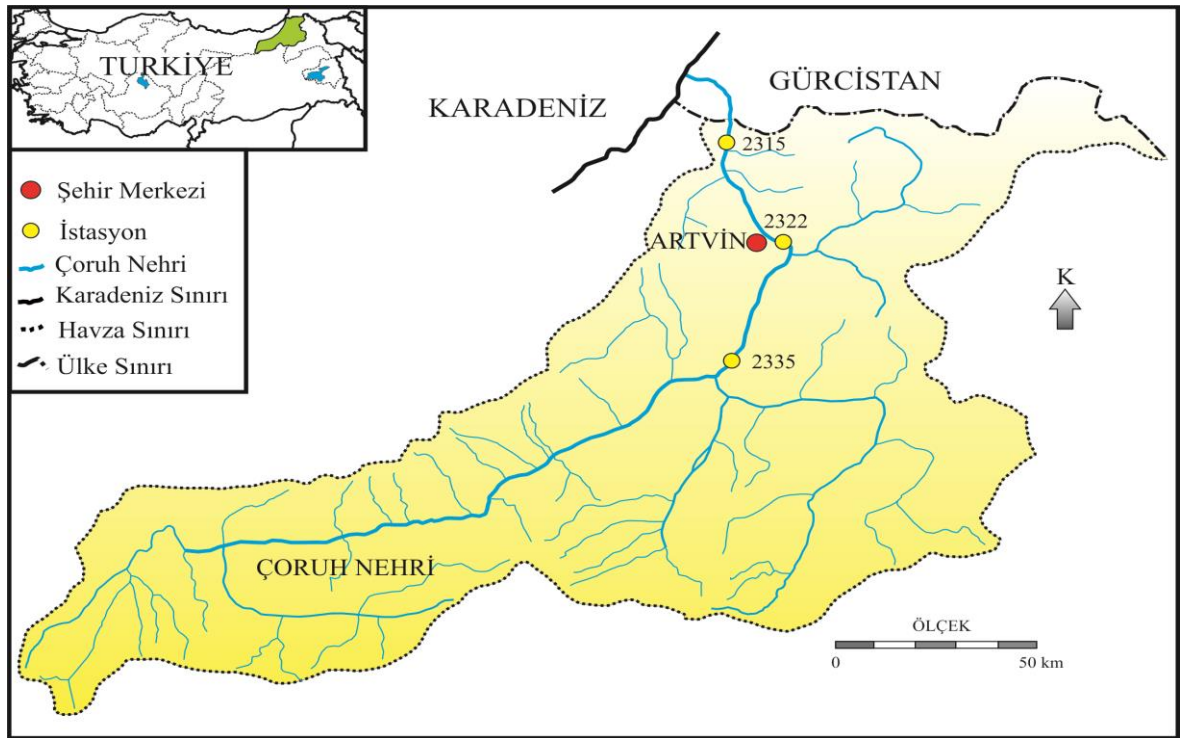
Doğru Karadeniz Bölgesi'nin en uzun nehri olan Çoruh Nehri, büyük ölçüde gelişmemiş olmasına rağmen işletilebilir su gücüne sahip olması nedeniyle Türkiye için yüksek ekonomik potansiyele sahiptir. Ana kolu üzerinde 4'ü (Yusufeli, Bayram, Bağlık ve Arkun) yapım aşamasında, 5'i (Muratlı, Artvin, Borçka, Deriner ve Güllübağ) işletme aşamasında olan toplamda 9 büyük baraj bulunmaktadır (Bayram ve Kenanoğlu, 2016).

Havzadaki şiddetli erozyon sebebiyle, tamamlanmış inşaatı devam eden ve planlanan baraj rezervuarlarının kısa sürede dolma ve ekonomik ömürlerinin azalma riski vardır. Buna ek olarak çığ ve sel gibi doğal felaketlerin en çok yaşandığı bölgelerden bir danesidir.

2.2.2. Çoruh Nehri

Çoruh Nehri ülkemizin en hızlı akan nehri olup, kaynağını Mescid Dağı'nın (3.255m) batı yüzünden alır. Önce batı doğrultusunda akıp Bayburt ve İspir'den geçtikten sonra bir yay çizerek Yusufeli'nin Yokuşlu Köyü önünde Artvin il sınırlarına girer. Yusufeli, Artvin

ve Borçka'nın içerisinde geçtikten sonra Borçka'nın Muratlı Kasabası'ndan geçerek burada il ve ülke sınırlarını terk eder ve Batum'da Karadeniz'e dökülür. Toplam uzunluğu 427 km olan Çoruh Nehri'nin 400km'si ve toplamda 21962 km² alanı kapsayan havzanın 19872 km²'lik bir alanı Türkiye sınırları içerisinde olup kalan kısmı Gürcistan'da bulunmaktadır. Yılda 5,8 milyon m³ rusubat taşıyan nehirin debisi mayıs ayında (569/529 m³/sn.) zirveye çıkar. Yıl boyunca en düşük debisi ise 53.09 m³/sn.'dir. Eğim %5'tir (URL-3).



Şekil 2.9. Çoruh Havzası, Çoruh Nehri ile 2315-Karşıkköy, 2322-Altınsu ve 2335-İnanlı akım gözlem istasyonları

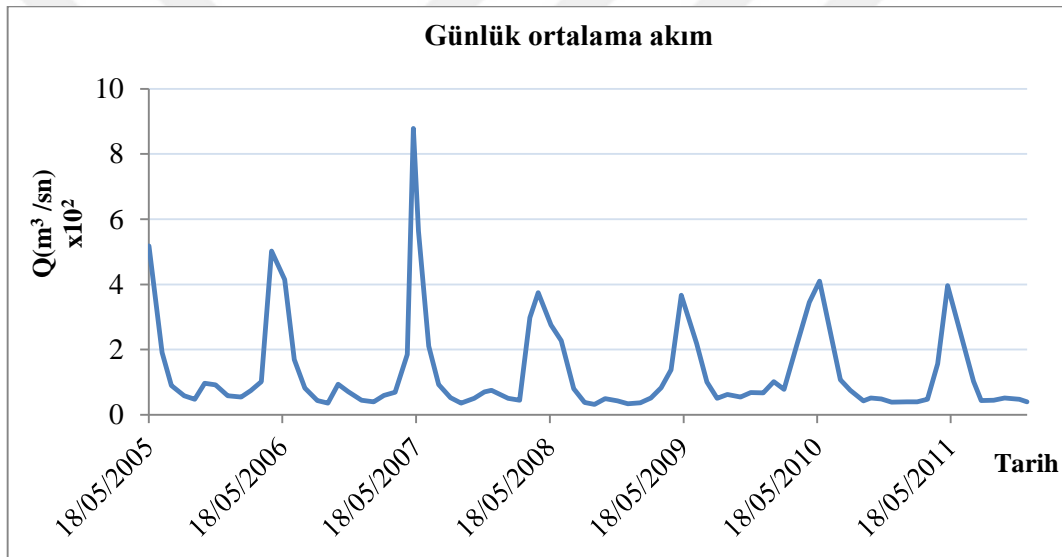
2.2.2.1. Çoruh Nehri 2335- İnanlı İstasyonu

2335 no.lu İnanlı İstasyonu Çoruh Nehri üzerinde, Artvin-Yusufeli karayolunun yaklaşık 48.km.'sinde olup 41° 42' 58" D - 40° 53' 20" K koordinatları arasındadır. İstasyonun yükseltisi 435 m dir. Akım yağış alanı 15687,1 km², sediment yağış alanı 13939,1 km²' dir. İstasyonda 2005- 2011 yılları arasında askıda katı madde ölçümü yapılmıştır. İstasyonda ortalama sediment dağılımı %32 kil ve silt % 68 kum şeklindedir. Bu istasyonda ölçülen ortalama yıllık sediment miktarı 4614857 ton ve km² başına yılda

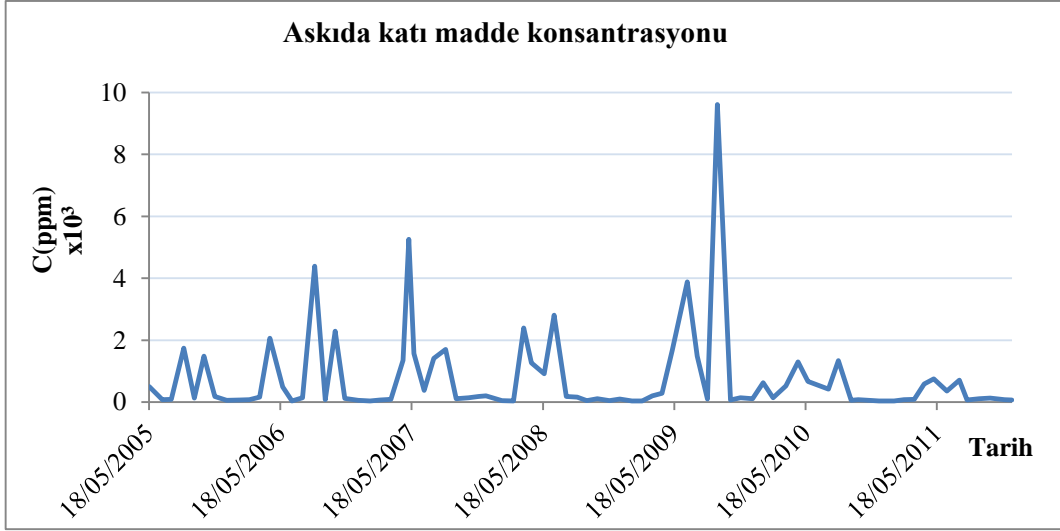
taşınan sediment miktarı da 331 ton'dur (EİE, 2005). Tablo 2.5'te istasyona ait verilerin temel istatistikleri verilmiştir. Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12'de sırasıyla 2335- İnanlı İstasyonunda gözlenmiş günlük ortalama akım, askıda katı madde konsantrasyonu ve askıda katı madde yükü grafikleri yer almaktadır.

Tablo 2.5 İnanlı İstasyonu'na ait tüm verilerin temel istatistikleri

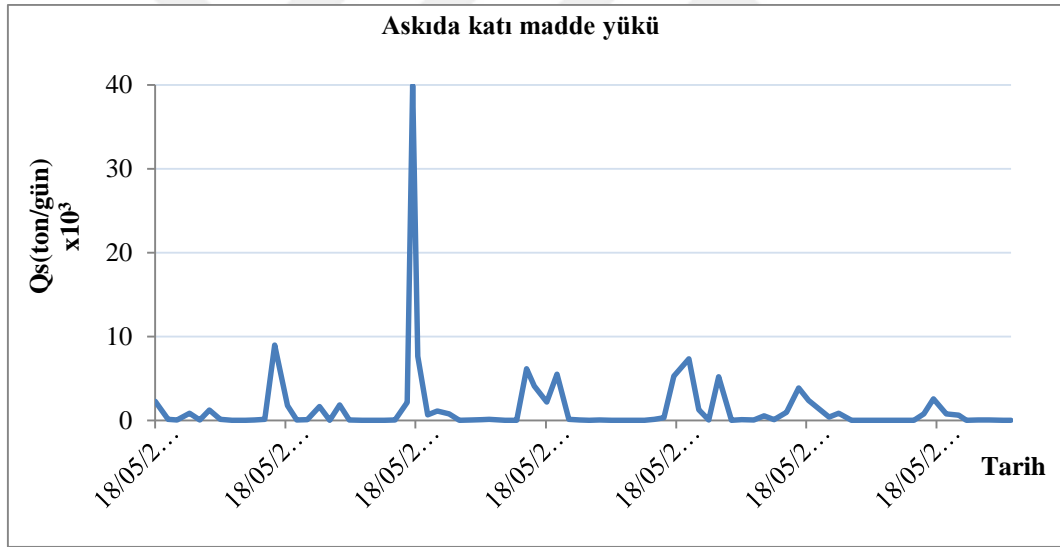
Veri Tipi	\bar{X}_{ort}	S_x	C_{sx}	$C_v (S_x/\bar{X}_{ort})$	\bar{X}_{mak}	\bar{X}_{mi}	$\bar{X}_{mak}/\bar{X}_{ort}$
$Q(m^3/s)$	136,617	152,9365	2,447468	1,119454	878,608	32,026	6,43117
$Q_s(ton/gün)$	15.807,5	47966,76	6,847952	3,03443	399.588,6	124,4	25,278



Şekil 2.10. İnanlı İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 2.11. İnanlı İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi

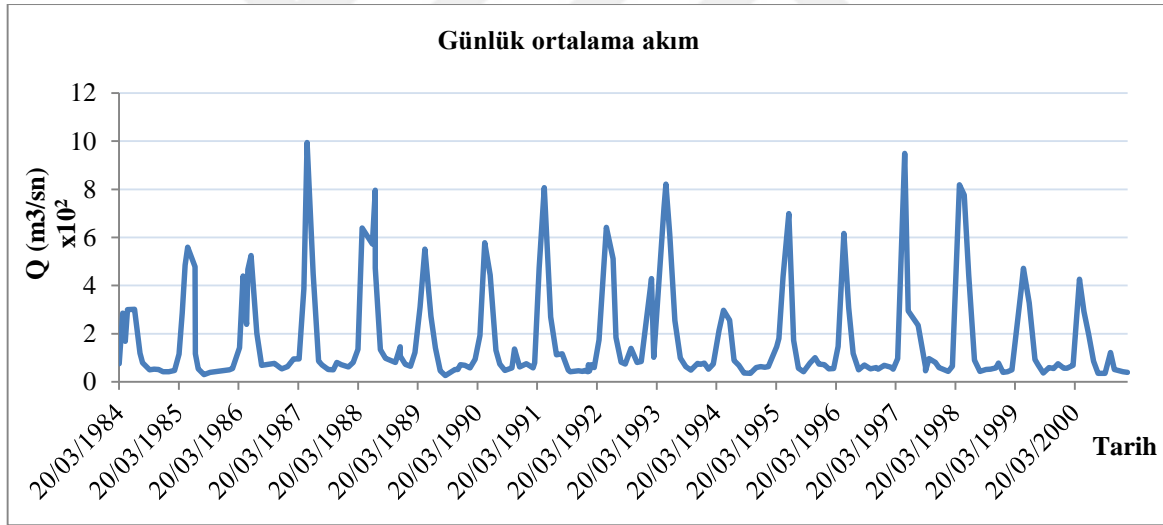


Şekil 2.12. İnanlı İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi

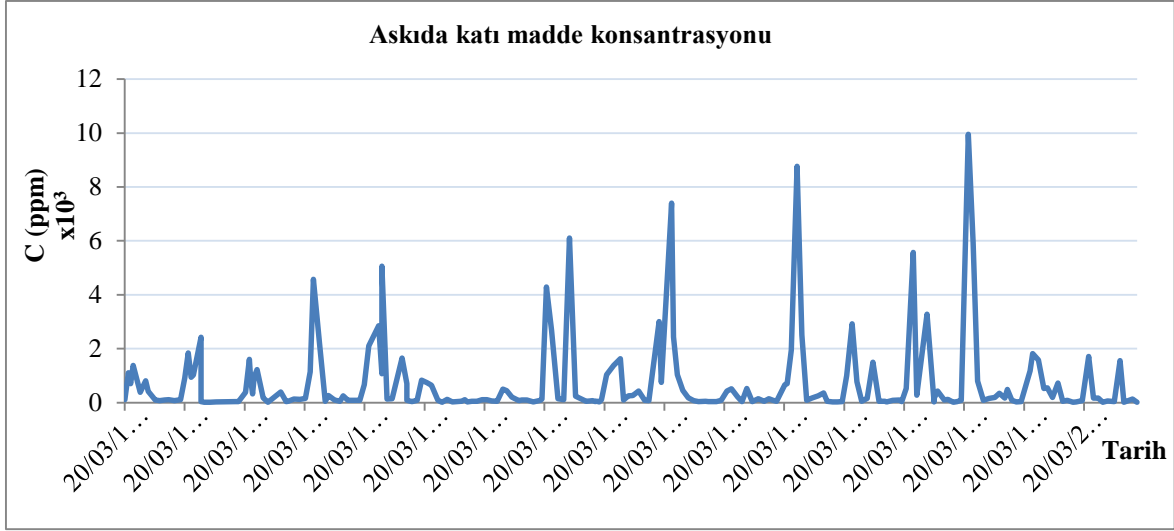
2335- İnanlı İstasyonu veri istatistikleri incelendiğinde katı madde verilerindeki çarpıklık değerinin fazla olduğunu ve değişim katsayısının (C_v) büyüdükçe başarı oranının düşme eğilimi gösterdiği sonucuna varılabilir.

2.2.2.2. Çoruh Nehri 2322- Altınsu İstasyonu

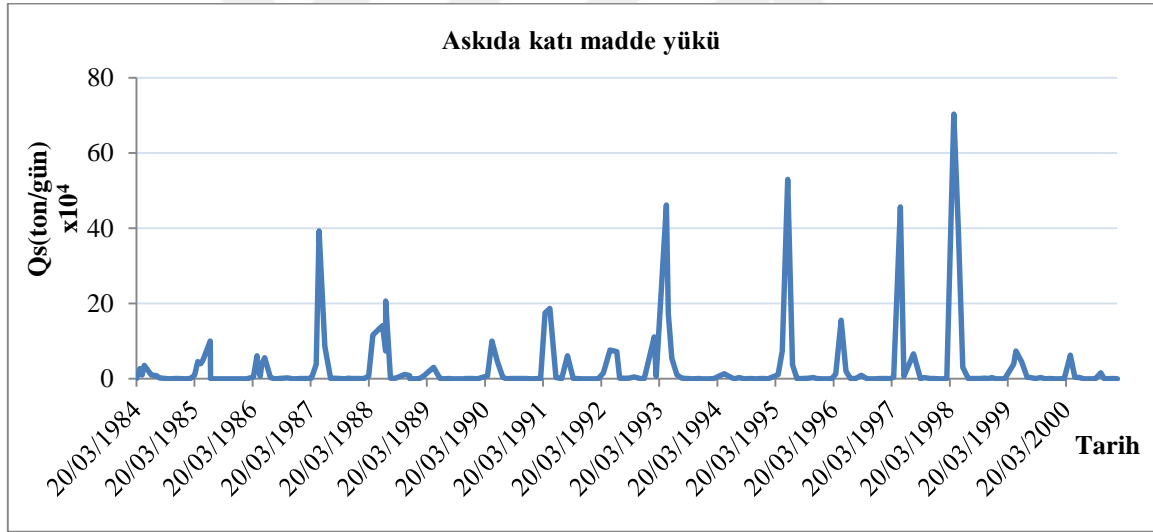
2322 no.lu Altınsu istasyonu Çoruh Nehri üzerinde, Artvin-Yusufeli Karayolunun 5. km.'sinde Altınsu yakınında yol kenarında olup $41^{\circ} 53' 36''$ D ile $41^{\circ} 09' 47''$ K koordinatları arasındadır. İstasyonun yükseltisi 201 m ve net yağış alanı $16578,4 \text{ km}^2$ dir. İstasyonda 1984- 2001 yılları arasında askıda katı madde ölçümü yapılmıştır. 1971- 2000 yılları arasında akım ölçümleri yapılmış olup ortalama değeri $158,0 \text{ m}^3/\text{sn}$ ' dir. İstasyonda ortalama sediment dağılımı %59,1 kum %40,9 kil ve silt şeklindedir. Bu istasyonda ölçülen ortalama yıllık sediment miktarı 6486781 ton ve km^2 başına yılda taşınan sediment miktarı da 391 tondur (EİE, 2005). Şekil 2.13, 2.14 ve 2.15'te sırasıyla 2322- Altınsu İstasyonu'nda gözlenmiş günlük ortalama akım, askıda katı madde konsantrasyonu ve askıda katı madde yükü grafikleri yer almaktadır. Tablo 2.6'da ise istasyona ait verilerin temel istatistikleri verilmiştir.



Şekil 2.13. Altınsu İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 2.14. Altınsu İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi



Şekil 2.15. Altınsu İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi

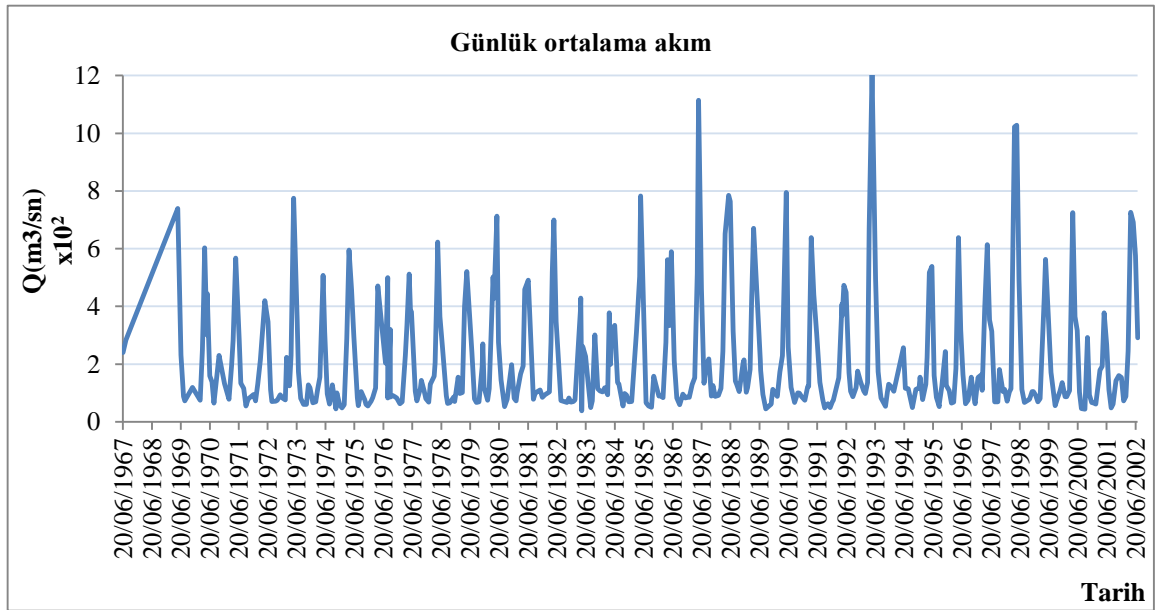
Tablo 2.6. Altınsu İstasyonu'na ait tüm verilerin temel istatistikleri

Veri Tipi	X_{ort}	S_x	C_{sx}	$C_v(S_x/X_{ort})$	X_{mak}	X_{min}	X_{mak}/X_{ort}
Q(m ³ /s)	178,647	203,713	1,925758	1,14031	993,730	25,588	5,5625
Q _s (ton/gün)	29793,03	89376,37	4,868209	2,999909	7037	48,6	23,622

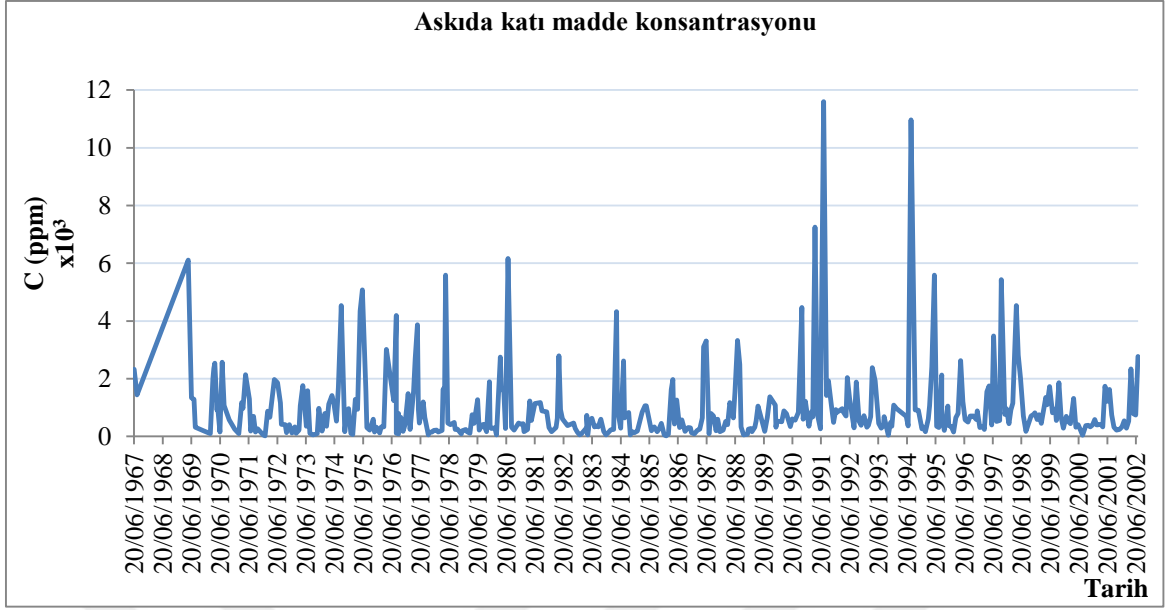
2322- Altınsu İstasyon parametreleri incelendiğinde özellikle katı madde verilerinin çarpık bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca katı madde verilerinde, maksimum değerlerin ortalama değere oranının ($x_{max}/x_{min}= 23,622$) büyük olması katı madde taşınımının karmaşıklığını göstermektedir.

2.2.2.3. Çoruh Nehri 2315- Karşıköy İstasyonu

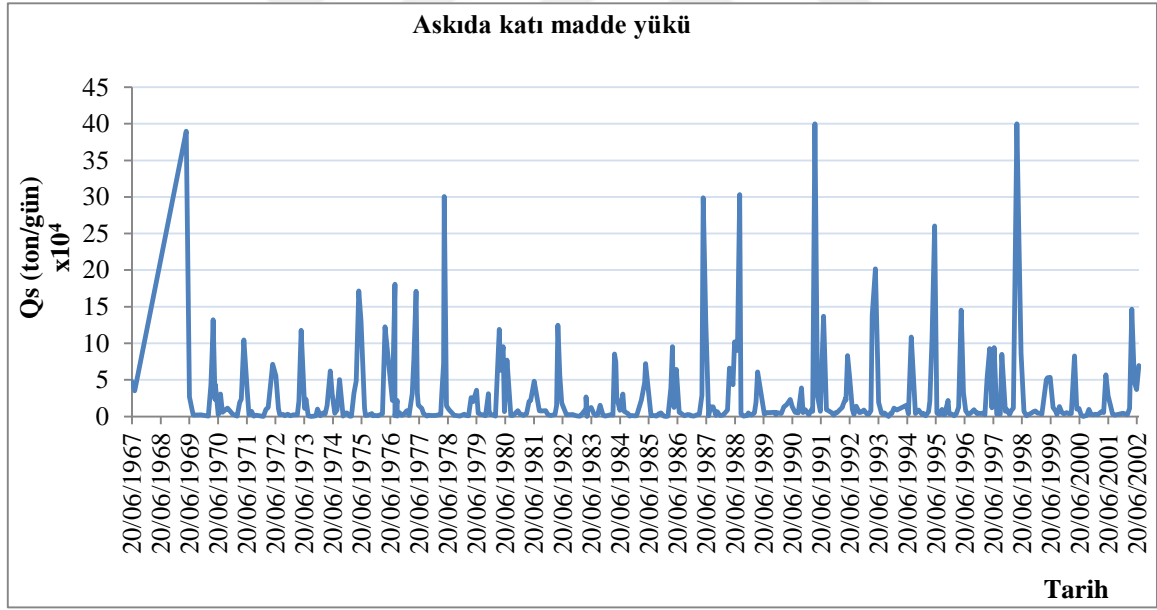
2315 no.lu Karşıköy İstasyonu Artvin'e bağlı Borçka ilçesinden Maradit Bucağına giden yolun 13.kilometresinde Karşıköy yönünde olup $41^{\circ} 42' 38''$ D ile $41^{\circ} 27'07''$ K koordinatları arasında bulunmaktadır. İstasyonun yükseltisi 57 metre ve net yağış alanı 17906,4 km² dir. İstasyonda 1967- 2002 yılları arasında askıda katı madde ölçümü yapılmıştır. 1964- 2001 yılları arasında akım ölçümleri yapılmış olup ortalama değeri 207 m³/sn'dir. Ortalama sediment dane dağılımı %45,1 kum %54,9 kil ve silt şeklindedir. İstasyonda ölçülen yıllık ortalama sediment miktarı 6851598 ton olup kilometrekare başına bir yılda taşınan sediment 383 tondur. (EİE, 2005). Şekil 2.16, 2.17 ve 2.18'de sırasıyla 2315- Karşıköy İstasyonu'nda gözlenmiş günlük ortalama akım, askıda katı madde konsantrasyonu ve askıda katı madde yükü grafikleri yer almaktadır. Tablo 2.7'de ise istasyona ait verilerin temel istatistikleri verilmiştir.



Şekil 2.16. Karşıköy İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 2.17. Karşıköy İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi



Şekil 2.18. Karşıköy İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişim

Tablo 2.7. Karşıköy İstasyonu'na ait tüm verilerin temel istatistikler

Veri Tipi	X_{ort}	S_x	C_x	$C_v(S_x/X_{ort})$	X_{mak}	X_{min}	X_{mak}/X_{ort}
$Q(m^3/s)$	209,796	195,7356	1,967161	0,932981	1210,703	37,600	5,770
$Q_s(ton/gün)$	26380,55	55577,82	4,069052	2,106772	400075,3	148,6762	15,165

Tablo 2.7 Karşıköy istasyonuna ait tüm verilerin ortalama (x_{ort}), standart sapma (S_x), çarpıklık (C_{sx}), değişkenlik katsayısı (C_v) gibi temel istatistikleri ile verilerin hangi aralıkta değiştiğine dair en büyük (max.) ve en küçük (min.) gözlem değerleri yer almaktadır. Tablonun son satırı incelendiğinde katı madde verilerinin maksimum değerlerinin ortalama değerlerine oranları verilmiştir. Son satırdaki x_{mak}/x_{ort} değerinin büyüklüğü katı madde taşınım olayın karmaşıklığının bir göstergesidir. Ayrıca istasyon değerlerine bakıldığında özellikle katı madde verilerinde çarpık bir dağılım olduğu görülmektedir.

2.3. Veri Anormalliklerinin Giderilmesi

Analiz aşamasına geçmeden önce tüm istasyonlar için uygulanan diğer bir işlem, veri anormalliklerinin tespitidir. Diğer değerlerle karşılaştırıldığında veri setine uygun olmadığı tespit edilen değerler aykırı değer olarak adlandırılmaktadır. Aykırı değerlerin olması veri setinin normal dağılımdan sapmasına ve yapılacak olan analizlerin etkilenmesine yol açabilmektedir. Veri setinin ortalamasının çok uzağına düşen aykırı veriler bir ya da birden fazla olabilirler. Bu değerler, verilerin standart sapmasını arttırmanın yanında dağılımın şeklini de değiştirerek istatistik karar süreci sonucunda hatalı kararlar verilmesine neden olabilmektedirler. Dolayısıyla bu değerlerin tespit edilmesi ve uzaklaştırılması analizlerden önce yapılması gereken önemli adımlardan biridir.

Eksik, yanlış girilmiş veya ekstrem değerlerden kaynaklanan veri anormalliklerinin hesaplanması için ilk önce veri sütununun ortalaması ve standart sapması hesaplanır. Daha sonra;

- $değer < ortalama - sınır\ değer\ katsayısı * standart\ sapma$
- $değer > ortalama + sınır\ değer\ katsayısı * standart\ sapma$

şartlarını sağlamayan değerler uzaklaştırılır. Buradaki sınır değer katsayısı 2-4 arasında seçilebilmektedir (Öcal, 2007).

Çalışmada her üç istasyondaki debi ve askıda katı madde yükü verileri için ekstrem değerler hesaplanmış, sonrasında yapılacak tahmin yöntemlerinde hatalı karar verilmesini önlemek için uzaklaştırılmıştır.

2.4. Giriş Değişkenlerinin Belirlenmesi

Yapay zeka teknikleri ile yapılan analizlerde en önemli etkenlerden birisi girdi değişkenlerinin belirlenmesidir. Özellikle doğal olaylar gibi karmaşık ilişkiler modellenirken girdi değişkenlerinin, sonuçları önemli derecede etkilediği görülmüştür. Hidrolojik olaylarda genellikle yağış, akım, katı madde vb. gibi zaman serileri kullanılmaktadır. Fakat bilinmesi gereken bir diğer unsur bu gibi değişkenlerin kendi içlerinde de bağımlılıklarının olmasıdır. Örnek olarak birkaç gün ya da bir gün önceki akış ya da yağış değerlerinin bugün ölçülen değerler üzerinde önemli ölçüde etkisi vardır. Serilerin bu içsel bağımlılıklarının derecesini ortaya koymak için korelasyon hesabı yapılmalıdır.

Çalışmanın bu aşamasında 2315 no.lu Karşıköy İstasyonu, 2322 no.lu Altınsu İstasyonu ve 2335 no.lu İnanlı İstasyonu'na ait günlük ortalama akımlar (m^3/sn) ve askıda katı madde yükleri (ton/gün) için korelasyonlar hesaplanmıştır.

Tablo 2.8, 2.9 ve 2.10'de her üç istasyona ait girdi verilerinin aralarındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları görülmektedir. Bu tablolar modelleme yapılmadan önce hangi girdi parametrelerinin kullanılacağı ve bunların çıktıyı ne derece etkiledikleri konusunda önemli bilgiler vermektedir. Eldeki veriler bir önceki ölçülmüş verilere kaydırılarak t-1, ve t-2 zamanlı veri kümeleri oluşturulmuştur. Tablolar incelendiğinde çıktı değeri olan askıda katı maddenin Q_{S_t} t, t-1, t-2 anındaki debi ve t-1 ve t-2 anındaki askıda katı madde ile arasındaki ilişkiler görülmektedir. Debi ve askıda katı madde parametreleri arasındaki ilişkinin t-2 zamandan sonra anlamlı derecede düşmesi ve model çıktısına kaydadeğer bir başarı katmaması nedeniyle giriş verilerine dahil edilmemişlerdir. Dolayısıyla bu anlamlılık dikkate alınarak t ve t-1 zamanlı akım ve t-1 zamanlı askıda katı madde yükü verileri tüm istasyonlar için giriş değişkeni olarak seçilmiştir.

Tablo 2.8. İnanlı İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları

R (Korelasyon Katsayısı)				
Q_t/Q_{S_t}	Q_{t-1}/Q_{S_t}	Q_{t-2}/Q_{S_t}	$Q_{S_{t-1}}/Q_{S_t}$	$Q_{S_{t-2}}/Q_{S_t}$
0,666	0,364	0,065	0,330	0,00213

Tablo 2.9. Altınsu İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları

R (Korelasyon Katsayısı)				
Q_t/Q_{S_t}	Q_{t-1}/Q_{S_t}	Q_{t-2}/Q_{S_t}	$Q_{S_{t-1}}/Q_{S_t}$	$Q_{S_{t-2}}/Q_{S_t}$
0,789	0,357	0,01	0,273	0,061

Tablo 2.10. Karşıköy İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları

R (Korelasyon Katsayısı)				
Q_t/Q_{S_t}	Q_{t-1}/Q_{S_t}	Q_{t-2}/Q_{S_t}	$Q_{S_{t-1}}/Q_{S_t}$	$Q_{S_{t-2}}/Q_{S_t}$
0,693	0,266	0,017	0,181	0,014

Tablo 2.11. İnanlı İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları

Model No	Girdi değişkenleri	Q_{S_t} ile değişkenin arasındaki korelasyon katsayıları
1	Q_t	0,666
2	Q_{t-1}	0,364
3	$Q_{S_{t-1}}$	0,330
4	Q_t, Q_{t-1}	0,666
5	$Q_t, Q_{S_{t-1}}$	0,670
6	$Q_{t-1}, Q_{S_{t-1}}$	0,381
7	$Q_{t-1}, Q_t, Q_{S_{t-1}}$	0,673

Çalışmada Karşıköy, Altınsu ve İnanlı istasyonları olmak üzere her istasyon için askıda katı madde yükünün tahmininde anahtar eğrisi dahil 8 farklı yöntem uygulanmıştır. Uygulanan yöntemlerde hangi modelin kullanılacağı R değeri ile tablolarda belirlenmiştir. Bir bağımlı değişken ile onu açıklayan birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin derecesini ölçmeye yarayan, doğrusal regresyona dayalı olarak hesaplanan, çoklu korelasyon katsayısı olarak ifade edilen R değeri tablolarda görülmektedir. Tablo 2.11, 2.12 ve 2.13'te girdi değişkenleri olarak Q_{t-1} , Q_t , S_{t-1} 'in ayrı ayrı kombinasyonları gösterilmiş ve model olarak numaralandırılmıştır. Bu kombinasyonların, çıktı değeri olan t

zamanlı askıda katı madde yükü üzerinde ne kadar etkili oldukları ve çıktı değişkenin yüzde kaçını açıklayabildikleri R değerine bakılarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2.12. Altınsu İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları

Model No	Girdi değişkenleri	S_t ile değişkenin arasındaki korelasyon katsayıları
1	Q_t	0,789
2	Q_{t-1}	0,357
3	$Q_{S_{t-1}}$	0,273
4	Q_t, Q_{t-1}	0,795
5	$Q_t, Q_{S_{t-1}}$	0,789
6	$Q_{t-1}, Q_{S_{t-1}}$	0,357
7	$Q_{t-1}, Q_t, Q_{S_{t-1}}$	0,798

Tablo 2.13. Karşıköy İstasyonu'na ait verilerin korelasyon katsayıları

Model no	Girdi değişkenleri	S_t ile değişkenin arasındaki korelasyon katsayıları
1	Q_t	0,693
2	Q_{t-1}	0,266
3	$Q_{S_{t-1}}$	0,181
4	Q_t, Q_{t-1}	0,696
5	$Q_t, Q_{S_{t-1}}$	0,696
6	$Q_{t-1}, Q_{S_{t-1}}$	0,266
7	$Q_{t-1}, Q_t, Q_{S_{t-1}}$	0,696

Her üç istasyon için hazırlanmış olan tablolar incelendiğinde Q_{t-1} , Q_t , S_{t-1} ile gösterilmiş olan 7 numaralı model ile en iyi R değerine ulaşıldığı için regresyon analizi, yapay zeka yöntemleri ve diğer optimizasyon algoritmalarında bu model kullanılmıştır.

2.4. Veri Gruplarının Analizi

Yapılan çalışmada Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından işletilen Çoruh Nehri üzerindeki Karşıköy, Altınsu ve İnanlı İstasyonların ait aylık akış ve askıda katı madde verileri kullanılmıştır. Ölçümler her ayın herhangi bir gününde yapılmış fakat bazı aylarda teknik nedenler dolayısıyla ölçüm yapılamamıştır. Çalışmada kullanılan tahmin yöntemleri için veri kümeleri farklı şekillerde ayrılmıştır.

Sediment anahtar eğrisi modelinde aşırı değerler uzaklaştırıldıktan sonraki tüm verilerin tamamı modelde girdi verisi olarak kullanılmıştır. Çoklu regresyon analizi (ÇRA), çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE), yapay arı kolonisi (YAK) ve öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması (ÖÖTO) ile yapılan analizlerinin tamamında istasyona ait düzenlenmiş veriler, eğitim kümesi ve test kümesi olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Her üç istasyonda bu yöntemler için verilerin %80'i eğitim kümesinde (katsayıların elde edilmesi için) %20'si test kümesinde kullanılmıştır.

YAK ve ÖÖTO yöntemlerinde bağımsız değişkenlerin bilinmeyen katsayılarını optimize etmek için YAK ve ÖÖTO algoritmaları uygulanmıştır. Bağımsız değişkenlerin değerlerinin oldukça farklı aralıklarda olmasından dolayı, katsayıların optimizasyonu zor olmaktadır. Bunun sebebi, bazı değerlerin çok büyük, bazılarının çok küçük olmasıdır. Bundan dolayı, veriler (0.1 ile 0.9) arasında normalize edilmiştir. Bu yöntemlerden elde edilen tahmin modeli denklemlerinde, diğer yöntemlerle kıyaslama yapılabilmesi ve ham değerlere ulaşılabilmesi için denklem sonucu normalize olarak elde edilen sonuçlar tekrar anormalize edilmiştir.

$$\text{Normalleştirilmiş Değer} = \left[\frac{\text{Ham değer} - \text{Minimum Değer}}{\text{Maksimum değer} - \text{Minimum değer}} \right] \times (0,9 - 0,1) + 0,1 \quad (2.21)$$

Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇK-YSA), yapay arı kolonisi ve öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmaları ile YSA eğitimi (YAK-YSA ve ÖÖTO-YSA) yöntemlerinde düzenlenmiş veriler eğitim, doğrulama ve test kümesi olmak üzere 3'e ayrılmıştır. İstasyonlara ait düzenlenmiş verilerin %60'ı eğitim, %20'si doğrulama ve %20'si test kümesinde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Veri kümeleri aşağıdaki gibidir.

- Öğrenme Kümesi: Bu veri kümesi ağ ağırlıklarının ayarlanması için öğrenmenin yapıldığı veri kümesidir.

- Onaylama Kümesi: Ağ ağırlıklarından farklı olarak ağ değişkenlerinin ve ağ topolojisinin ayarlanması için kullanılan veri kümesidir. Ağın performansının bozulmaya başladığı andaki momentin tespitindeki gizli birim sayısını tanımlamaya yarar. Ayrıca, program genelleme kayıplarının hesabı için onaylama kümesini kullanır ve en az hatalı ağı hafızasına ağ ağırlıkları ile beraber kaydeder.
- Test Kümesi: Girdi kümesinin bir parçası olup sadece yapay sinir ağının yeni veriler üzerinde nasıl çalıştığının tespitinde kullanılır. Test verileri, öğrenme ve onaylama aşamasında hazırlanmış ve hafızaya kaydedilmiş ağ ağırlıkları ile, gelecek ağ uygulamaları boyunca meydana gelecek hataların ne olduğunu tespit etmek için kullanılır. Bu veri kümesi öğrenme boyunca kullanılamaz ve böylece YSA için kullanıcı tarafından girilmiş yeni verilerden ibaret olduğu düşünülebilir (Öcal, 2007).

2.6. Çalışmada Kullanılan Değerlendirme Ölçütleri

Model sonuçlarından elde edilen çıktı değerleri çeşitli kriterlere göre değerlendirilmiştir. Modeller arasında daha iyi bir kıyas yapılabilmesi ve sonuçların daha doğru değerlendirilmesi açısından birden fazla değerlendirme ölçütü kullanılmıştır. Çıktı değerlerinin gerçek verilerle korelasyonu ve tahmin sonuçlarının doğruluğu, Karesel Hatanın Ortalama Karekökü (KHOK), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve determinasyon katsayısı (R^2) ile değerlendirilmiştir. Bu ölçütlere ait bağıntılar şu şekildedir;

Karesel Hatanın Ortalama Karekökü (KHOK)

$$KHOK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{S_{gözlene}} - Q_{S_{tahmin}})^2} \quad (2.22)$$

Ortalama Mutlak Hata (OMH)

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_{S_{gözlene}} - Q_{S_{tahmin}}| \quad (2.23)$$

Determinasyon Katsayısı (R^2)

$$R^2 = \frac{(Q_{S_{\text{gözlenen}}} - \bar{Q}_{S_{\text{gözlenen}}})(Q_{S_{\text{tahmin}}} - \bar{Q}_{S_{\text{tahmin}}})}{\left[\sum_1^N (Q_{S_{\text{gözlenen}}} - \bar{Q}_{S_{\text{gözlenen}}})^2 \right]^{1/2} \left[\sum_1^N (Q_{S_{\text{tahmin}}} - \bar{Q}_{S_{\text{tahmin}}})^2 \right]^{1/2}} \quad (2.24)$$

Denklemlerde;

$Q_{S_{\text{gözlenen}}}$: askıda katı maddenin gözlenmiş değerini;

$Q_{S_{\text{tahmin}}}$:askıda katı maddenin modellenmiş değerini;

N : veri sayısını;

$\bar{Q}_{S_{\text{gözlenen}}}$:gözlenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalamasını;

$\bar{Q}_{S_{\text{tahmin}}}$:modellenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Tezin bu kısmında Bölüm 2’de anlatılan sediment anahtar eğrisi, çoklu regresyon analizi, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri, yapay arı kolonisi, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmaları, çok katmanlı yapay sinir ağları, yapay arı kolonisi ve öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması ile yapay sinir ağları eğitimi modelleri her üç istasyon için ayrı ayrı uygulanmış, elde edilen bulgular tablolar ve grafiklerle sunulmuştur. Kullanılan tüm modellerde giriş parametresi olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Kurumu’ndan temin edilen günlük ortalama akım ve askıda katı madde verileri kullanılmıştır.

3.1. Çoruh Nehri 2335- İnanlı İstasyonu’na Ait Elde Edilen Askıda Katı Madde Yükü Tahmin Modelleri

2335 no.lu İnanlı İstasyonu’na ait 2005-2011 yılları arasında ölçülmüş 80 adet veriden, ölçüm hataları, eksik ya da yanlış ölçüm veya ekstrem değerler olması nedeniyle veri anormallikleri uzaklaştırılmıştır. Model tahminlerinde 75 adet debi ve askıda katı madde yükü verisi kullanılmıştır.

Akarsularda askıda katı madde yükünü akımla ilişkilendiren anahtar eğrisi modelinde denklem;

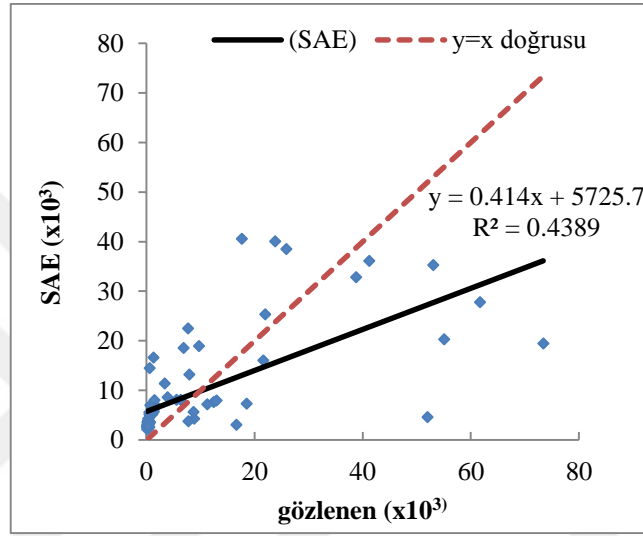
$$Q_s=0,121Q^{2,1553} \quad (3.1)$$

olarak elde edilmiştir. Model sonucunda ulaşılan hata değerleri Tablo 3.1’de düzenlenmiştir.

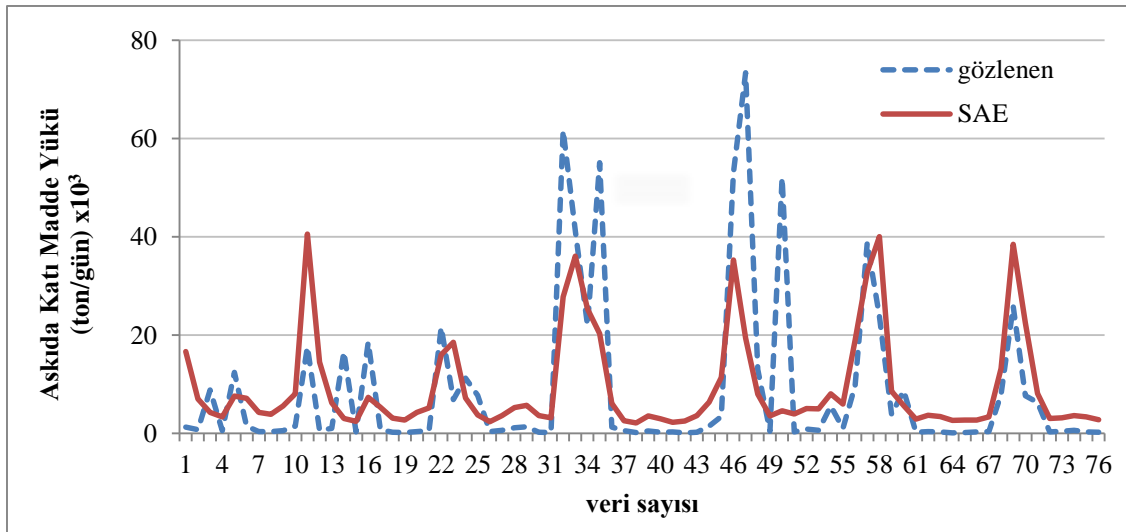
Tablo 3.1. İnanlı İstasyonu’na ait SAE sonuçları

Model Girdileri	R ²	KHOK(ton/gün)	OMH(ton/gün)
Qt	0,4389	18391,98	9784,5589

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de yer alan saçılım grafiğindeki düşük determinasyon katsayısından ve askıda katı madde yükü zaman serisi grafiğinden anlaşıldığı üzere modelin büyük yükleri tahminlemede başarısız kaldığı görülmüştür. Ayrıca $y=b_0x+b_1$ şeklindeki bir determinasyon denkleminde b_0 katsayısının iyi bir modelde 1’e yaklaşması beklendiğinden sediment anahtar eğrisi modelinin tahmin için başarısız olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.1. İnanlı İstasyonu’nda SAE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



Şekil 3.2. İnanlı İstasyonu’na ait SAE modelinin zaman serisi

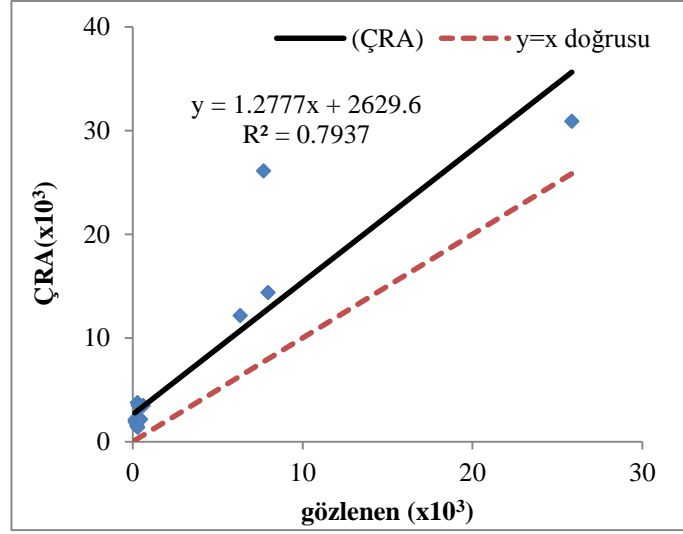
Çoklu regresyon analizi modelinde İnanlı İstasyonu'na ait verilerin %80'i eğitim kümesi %20'si ise test kümesi olarak kullanılmıştır. Denklem 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6'daki sırasıyla doğrusal, üs, üstel ve kuadratik olmak üzere 4 farklı fonksiyon uygulanmıştır. Tüm fonksiyonlardan elde edilen denklem katsayıları ve fonksiyon grafikleri "EKLER" bölümünde Ek 1 ve Ek 14'de verilmiştir. Eğitim kümesinde en küçük karesel hatanın ortalama karekökü (KHOK) değerini ve en büyük determinasyon katsayısını (R^2) veren 2.6 kuadratik fonksiyonun denklem katsayıları kullanılıp, 3.2 denklemi elde edilmiştir. Bu denklem test setine de uygulanmış, ulaşılan sonuçlar Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 Q_{S_t} = & (-1905,78) + (-100,73) * Q_{(t-1)} + (202,79) * Q_t + (0,0142) * Q_{S_{t-1}} + (0,178) * Q_{(t-1)} * Q_t + \\
 & (4,718) * 10^{-4} * Q_{(t-1)} * Q_{S_{t-1}} + (0,0011) * Q_t * Q_{S_{t-1}} + (0,0853) * Q_{(t-1)} * Q_{(t-1)} + \\
 & (-0,3151) * Q_t * Q_t + (-2,7578) * 10^{-6} * Q_{S_t} * Q_{S_{t-1}}
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

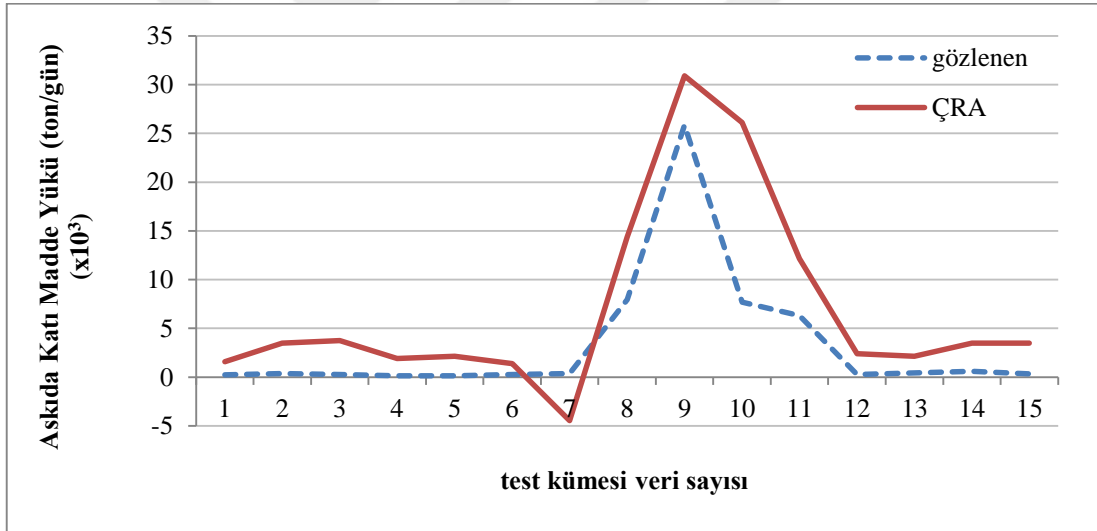
Tablo 3.2 İnanlı İstasyonu'na ait ÇRA sonuçları

Model Girdileri	R^2		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,5168	0,7937	12069,93	5894,3606	7170,056	4216,894

Çoklu regresyon analizi modelinde eğitim setinde Denklem 2.6 ile gösterilen kuadratik fonksiyonun Tablo 3.2'de görülen en yüksek determinasyon katsayısı ($R^2=0,5168$) ve en düşük KHOK değerini vermesi üzerine test setine de aynı fonksiyon uygulanmıştır. Şekil 3.3'de yer alan saçılım grafiğindeki düşük determinasyon katsayısına ve Şekil 3.4'de askıda katı madde yükü zaman serisi grafiğine bakıldığında büyük yükleri tahminlemede ÇRA modelinin SAE modeline kıyasla daha başarılı olduğu, 25841,9 ton/gün olarak gözlenmiş pik değeri 30885,59 olarak tahmin ettiği görülmektedir.

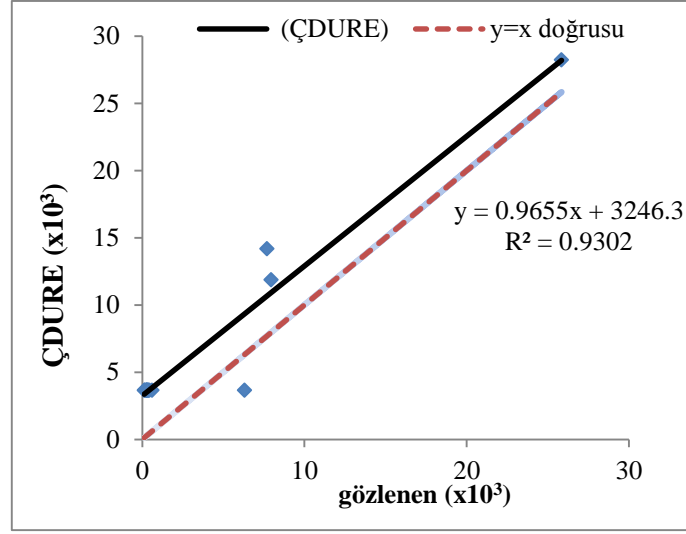


Şekil 3.3. İnanlı İstasyonu'nda ÇRA tahmin modelinden elde edilen Qs değerlerine ait saçılım diyagramı

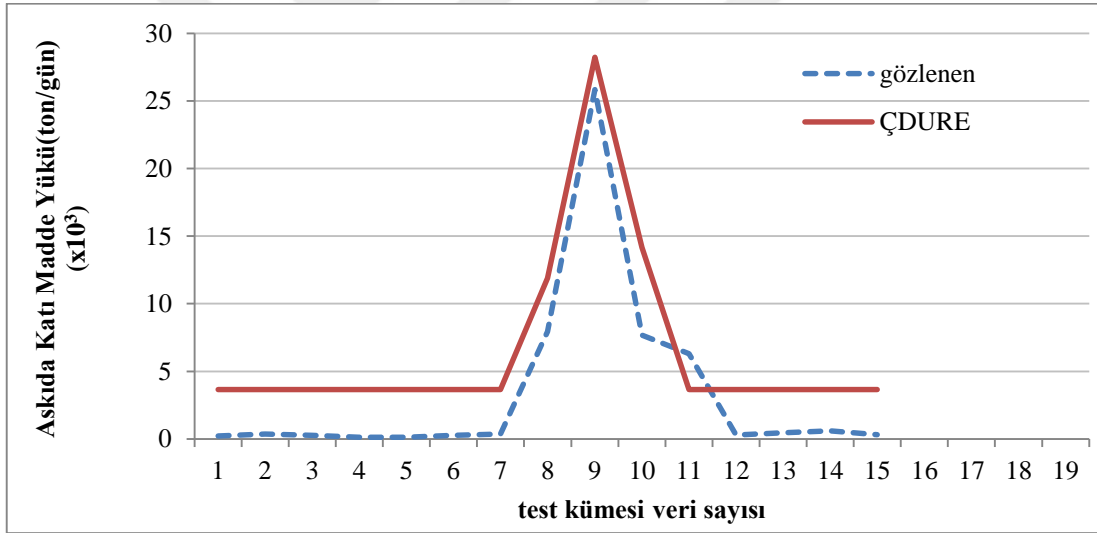


Şekil 3.4. İnanlı İstasyonu'na ait ÇRA modelinin zaman serisi

Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri modelinde de çoklu regresyon modelinde olduğu gibi istasyonlara ait verilerin %80'i eğitim kümesinde %20'si test kümesinde kullanılmıştır. Test kümesine ait grafikler Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir. En iyi sonuca 3.8 denklemi kullanılarak ulaşılmıştır. Modelin elde ettiği veriyeye dayalı olarak oluşturduğu BF_n ile gösterilen taban fonksiyonları;



Şekil 3.5. İnanlı İstasyonu'nda ÇDURE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



Şekil 3.6. İnanlı İstasyonu'na ait ÇDURE modelinin zaman serisi

$$BF1 = \max(0, Q_t - 32.026) \quad (3.3)$$

$$BF5 = \max(0, Q_{s_t} - 12981.7) * BF1 \quad (3.4)$$

$$BF7 = \max(0, -8814.1) * BF1 \quad (3.5)$$

$$BF9 = \max(0, -21626.4) * BF1 \quad (3.6)$$

$$BF14 = \max(0, -137.444) \quad (3.7)$$

şeklindedir.

$$Q_{S_t} = 3649.85 - (0.0750591) * BF5 + (0.0544931) * BF7 + (0.0211327) * BF9 + (95.1682) * BF14 \quad (3.8)$$

Tablo 3.3 incelendiğinde ÇDURE modeli, diğer modellere kıyasla daha yüksek determinasyon katsayısı ve daha düşük KHOK ve OMH değerleri verdiği görülmektedir. Şekil 3.5'te model denkleminde ($y=b_0x+b_1$) b_0 katsayısının 1'e yaklaşması ve model eğrisinin $y=x$ doğrusuna paralelliğinin fazla olması çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri yönteminin bu istasyon için başarılı tahminde bulunduğunu göstermektedir. Şekil 3.6'da 25841,9 ton/gün olan gözlenmiş pik değerini 28235,6 ton/gün olarak tahmin etmiştir.

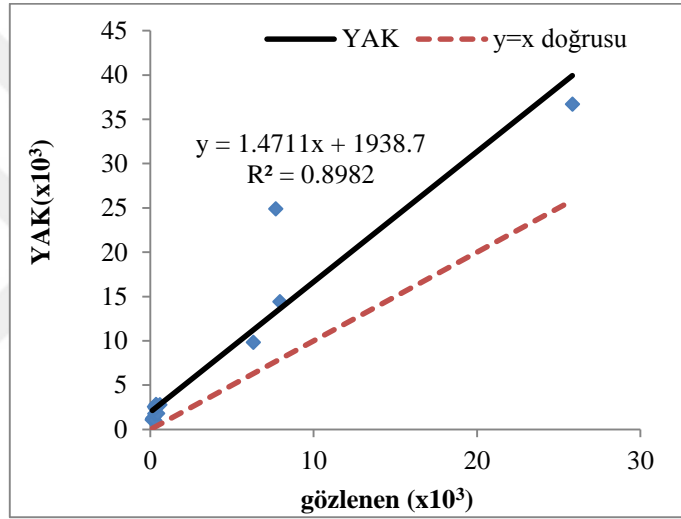
Tablo 3.3. İnanlı İstasyonu'na ait ÇDURE sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,5509	0,9302	7216,4807	3591,915	2848,2752	3482,943

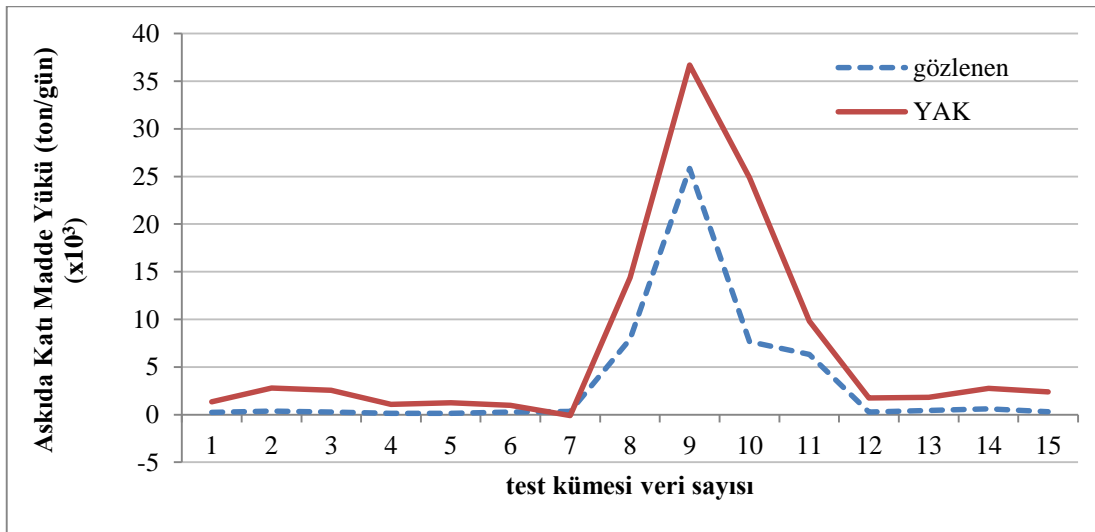
Regresyon analizinde kullanılan doğrusal, üs, üstel ve kuadratik fonksiyonlar YAK modelinde de kullanılmıştır. Tüm fonksiyonlardan elde edilen denklem katsayıları ve grafikler “EKLER” bölümünde Ek 4 ve Ek 17'de verilmiştir. Diğer regresyon modellerinde olduğu gibi veri seti aynı oranlarla eğitim ve test olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Her bir fonksiyon için popülasyon hacimleri ve limit değerleri 50-150, 100-300 ve 200-600 olacak şekilde uygulanmış, toplamda 12 ayrı analiz yapılmıştır. Eğitim kısmında en iyi sonucu veren 3.9 kuadratik denklemi test aşamasına da uygulanmıştır. Denkleminde bulunan Q_{t-1}, Q_t ve $Q_{S_{t-1}}$ değerleri girdi verilerin normalize edilmiş değerleridir. Bu değerler yerlerine yazılarak bulunan sonuca karşılık gelen anormalize değerler hesaplanmıştır.

$$Q_{S_t} = 0,0229 + (-0,1473) * Q_{t-1} + (0,8448) * Q_{S_{t-1}} + (0,08699) * Q_t + (0,5402) * Q_t * Q_{t-1} + (-0,3916) * Q_t * Q_{S_{t-1}} + (0,4232) * Q_{t-1} * Q_{S_{t-1}} + (0,0112) * Q_{t-1} * Q_{t-1} + (-0,6375) * Q_t * Q_t + (-0,0018) * Q_{S_{t-1}} * Q_{S_{t-1}} \quad (3.9)$$

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'den görüldüğü üzere İnanlı İstasyonu'nda YAK algoritması katı madde tahmini yükü konusunda SAE ve ÇRA modellerinden daha başarılı olsa da ÇDURE modeline kıyasla daha yüksek hata değerleri ve daha düşük determinasyon katsayısına sahiptir. 25841,9 ton/gün olan gözlenmiş askıda katı madde yükü pik değerini 36685,06 ton/gün olarak modellemiştir. Tablo 3.4 İnanlı İstasyonu'na ait YAK sonuçları görülmektedir.



Şekil 3.7. İnanlı İstasyonu'nda YAK tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



Şekil 3.8. İnanlı İstasyonu'na ait YAK modelinin zaman serisi

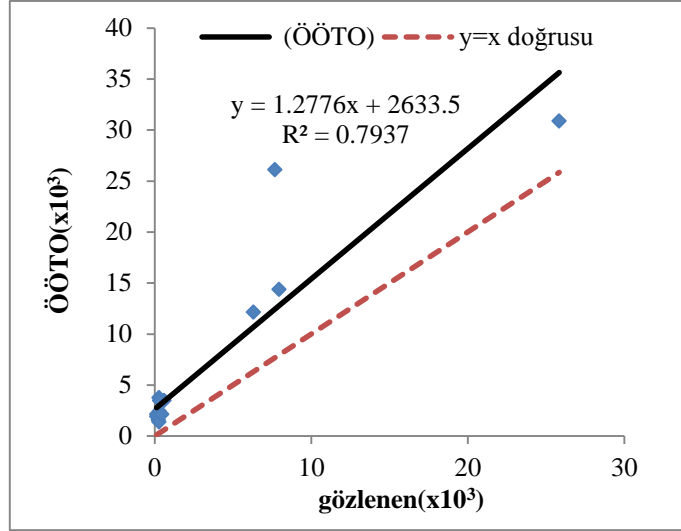
Tablo 3.4. İnanlı İstasyonu'na ait YAK sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,5026	0,8982	12246,5621	5745,8965	7256,945	3606,797

ÇRA ve YAK algoritmalarında olduğu gibi doğrusal, üs, üstel ve kuadratik fonksiyonlar ÖÖTO modelinde de kullanılmıştır. Tüm fonksiyonlardan elde edilen denklem katsayıları ve grafikleri “EKLER” bölümünde Ek 7 ve Ek 20’de verilmiştir. Veri seti de diğer iki yöntemde olduğu şekliyle düzenlenmiştir. Her bir fonksiyon için popülasyon hacimleri 50,100 ve 200 olacak şekilde 3 ayrı analiz yapılmış, 4 fonksiyon için toplamda 12 analiz uygulanmıştır. Eğitim kısmında en iyi sonucu veren 3.10 kuadratik denklemi test aşamasına da uygulanmıştır. Denklemde bulunan Q_{t-1}, Q_t ve $Q_{S_{t-1}}$ değerleri girdi verilerin normalize edilmiş değerleridir. Bu değerler yerlerine yazılarak bulunan sonuca karşılık gelen anormalize değerler hesaplanmıştır.

$$Q_{S_t} = 0,0587 + 0,5771 * Q_{t-1} + 1,0449 * Q_{S_{t-1}} + 0,0392 * Q_t + 0,4442 * Q_t * Q_{t-1} + 0,2257 * Q_t * Q_{S_{t-1}} + 0,5238 * Q_{t-1} * Q_{S_{t-1}} + 0,2132 * Q_{t-1} * Q_{t-1} + 0,7874 * Q_t * Q_t + 0,2526 * Q_{S_{t-1}} * Q_{S_{t-1}} \quad (3.10)$$

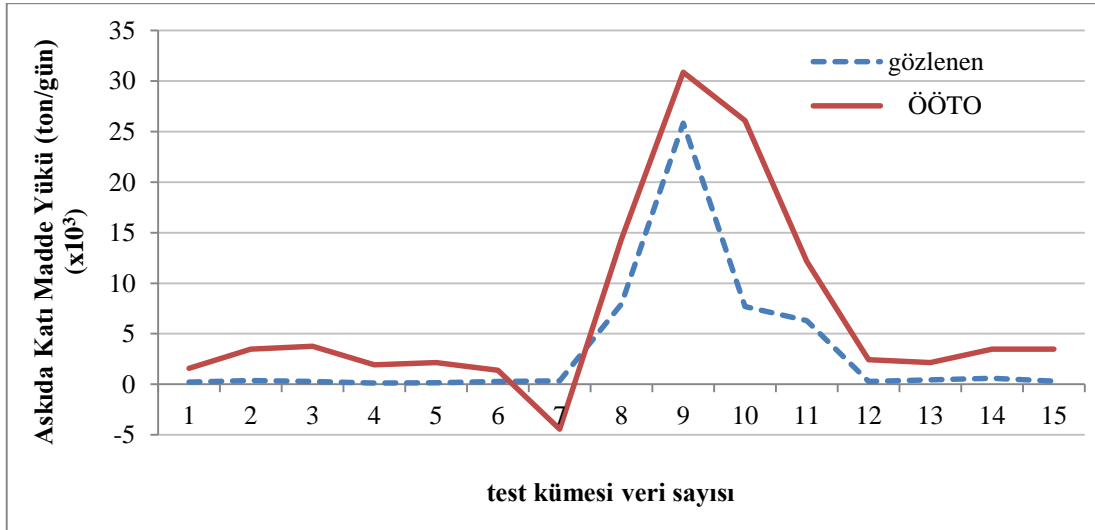
Şekil 3.9’da görülen ÖÖTO modeline ait determinasyon katsayısı ÇRA modelindeki ile aynı olmasına rağmen, Tablo 3.5’te görülen KHOK ve OMH değerleri ÇRA ve YAK modellerinde görülen bu değerlerden az da olsa daha yüksek bulunmuştur. Şekil 3.10’da 25841,9 ton/gün olan gözlenmiş pik değerini 30886,4934 ton/gün olarak tahmin etmiştir.



Şekil 3.9. İnanlı İstasyonu'nda ÖÖTO tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

Tablo 3.5. İnanlı İstasyonu'na ait ÖÖTO sonuçları

Model Girdileri	R^2		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,5509	0,7937	12069,9	5896,148	7169,2	4219,844



Şekil 3.10. İnanlı İstasyonu'na ait ÖÖTO modelinin zaman serisi

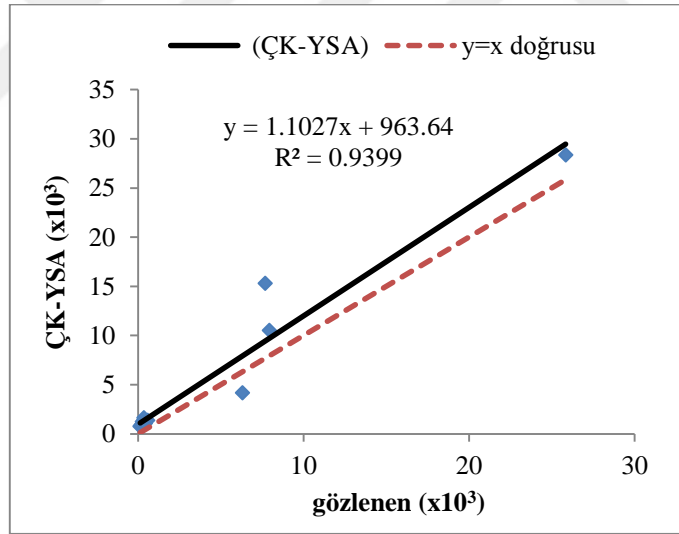
İnanlı İstasyonu için oluşturulan ÇK-YSA modeli ara katman sayısının 15, öğrenme katsayısının 1 ve momentum katsayısının 1 olduğu durumda en iyi sonucu vermiştir. Tüm

analizler sonucu elde edilen doğrulama ve test kümesine ait hata değerleri “EKLER” kısmında Ek 11’de verilmiştir

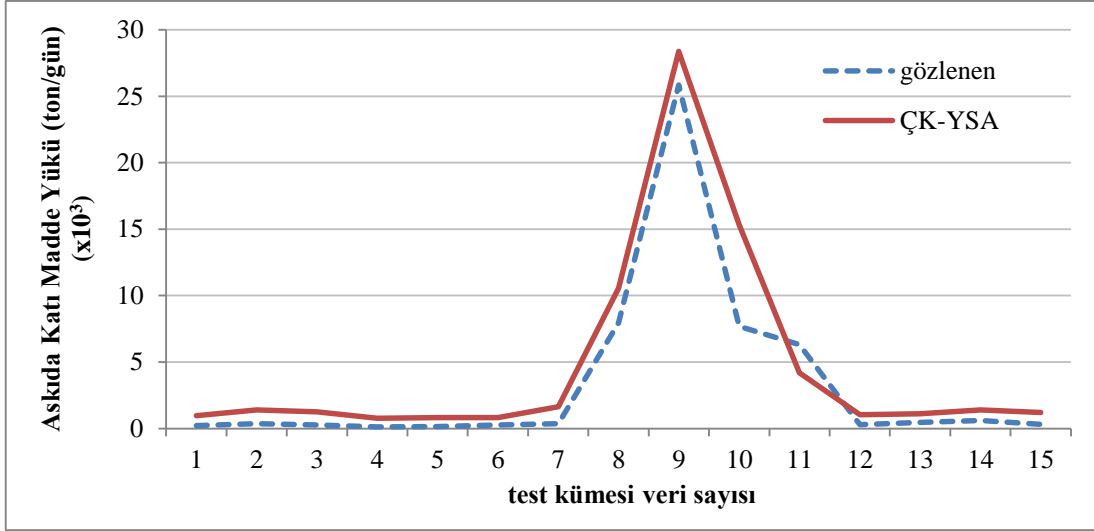
Tablo 3.6’den da görüldüğü gibi ÇK-YSA modelinde determinasyon katsayısının yüksek olması ve Şekil 3.11’deki model eğrisinin $y=x$ doğrusu ile paralelliğinin fazla olması modelin katı madde yükü tahmininde başarılı olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Model Şekil 3.12’de görülen 25841,9 ton/gün olan gözlenmiş pik değerini 28386 ton/gün olarak tahmin etmiştir.

Tablo 3.6. İnanlı İstasyonu’na ait ÇK-YSA sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Q _t , Q _(t-1) , Q _{S_t}	0,4985	0,9399	10174,75	2364,1	5675,098	1595



Şekil 3.11. İnanlı İstasyonu’nda ÇK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



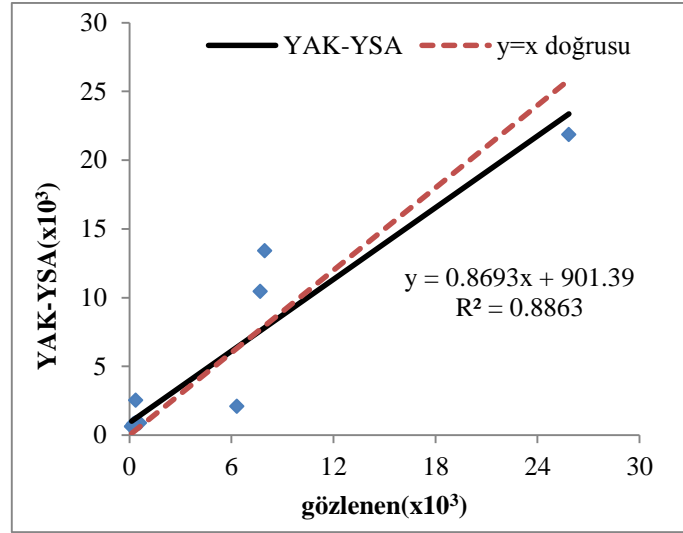
Şekil 3.12. İnanlı İstasyonu'na ait ÇK-YSA modelinin zaman serisi

YAK-YSA modelinde ara katman eleman sayısı, popülasyon hacmi ve limit değerleri farklılaştırılarak oluşturulan 16 farklı analiz yapılmıştır. 15 ara katman eleman sayılı, 50 popülasyon hacimli ve 100 limit değerli analizde en iyi sonuca ulaşılmıştır.

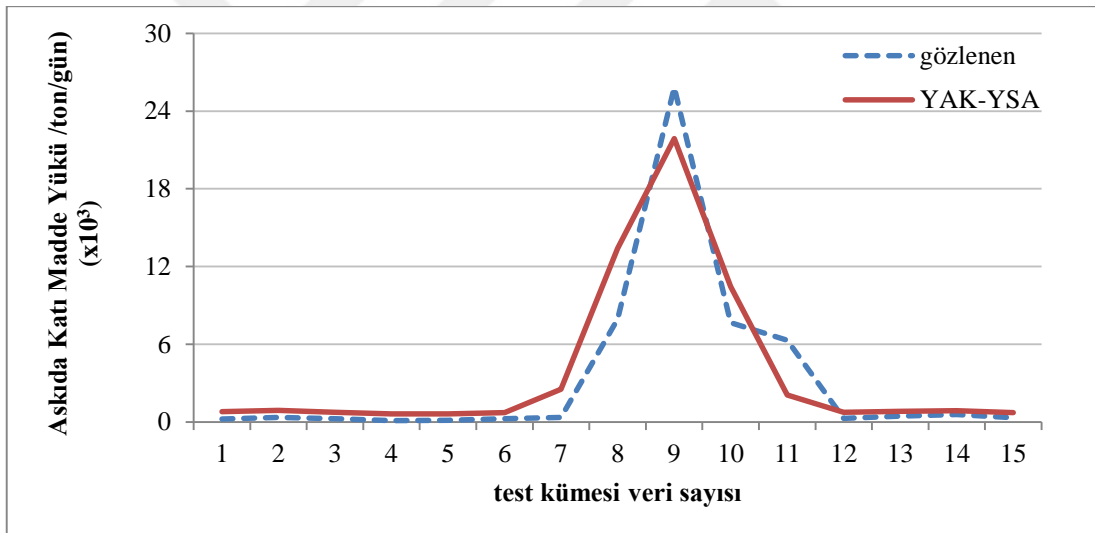
Tablo 3.7'de ve Şekil 3.13'den anlaşılacağı gibi YAK-YSA modelinden elde edilen determinasyon katsayısı ÇK-YSA modeline göre daha düşük olmasına rağmen elde edilen KHOK ve OMH değerleri daha düşüktür. Şekil 3.14'te görüldüğü üzere 25841,9 ton/gün olan gözlenmiş pik değerini 28386 ton/gün olarak tahmin etmiştir.

Tablo 3.7. 2335- İnanlı İstasyonu'na ait YAK-YSA sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,4874	0,8863	10404,79	2279,32	5408,9330	1546,8760



Şekil 3.13. İnanlı İstasyonu'nda YAK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



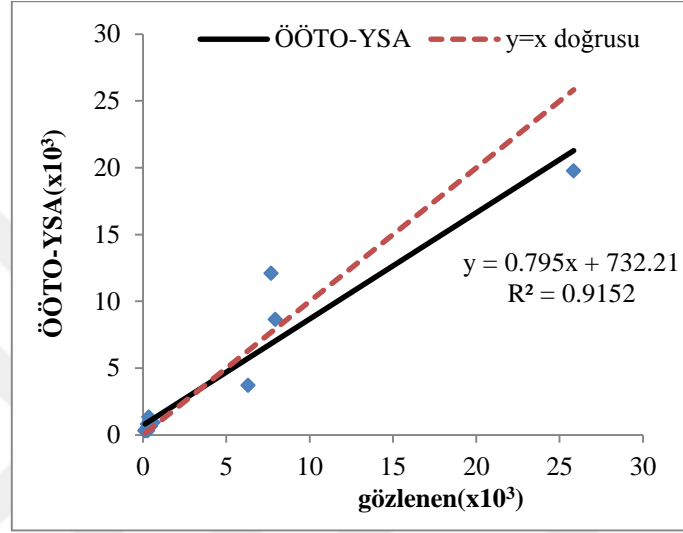
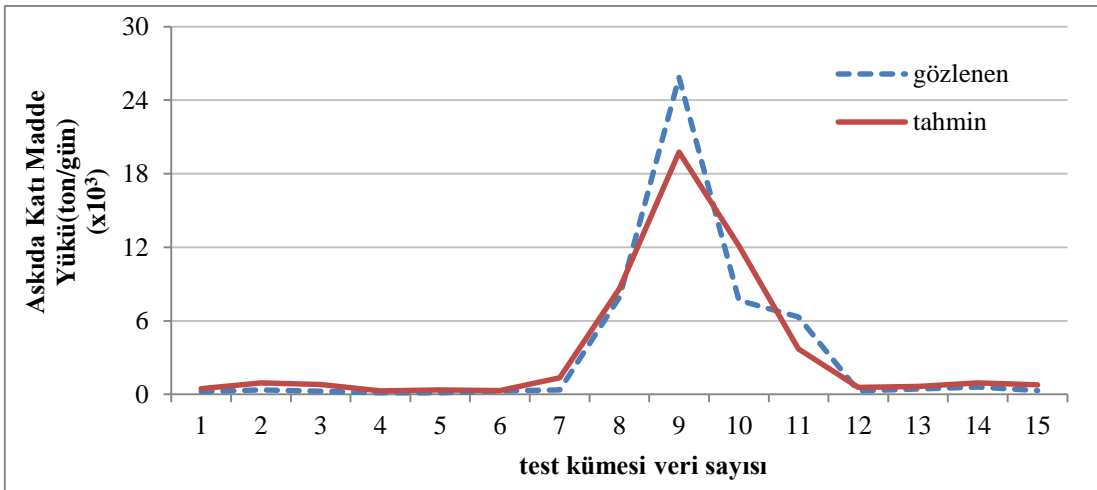
Şekil 3.14. İnanlı İstasyonu'na ait YAK-YSA modelinin zaman serisi

ÖÖTO-YSA modeli 5 ara katman eleman sayılı, 50 popülasyon hacimli ve 100 limit değerli analizde en düşük hata değerlerini vermiştir.

Tablo 3.8 ve Şekil 3.15 incelendiğinde ÖÖTO-YSA modelinde determinasyon katsayısının yüksek olması ve istasyona ait en düşük hata değerlerinin bulunması bu modelin başarılı olduğunu göstermektedir. Şekil 3.16'da modelin 25841,9 ton/gün olan gözlenmiş pik değeri 19758,46 ton/gün olarak tahmin ettiği görülmektedir.

Tablo 3.8. İnanlı İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA sonuçları

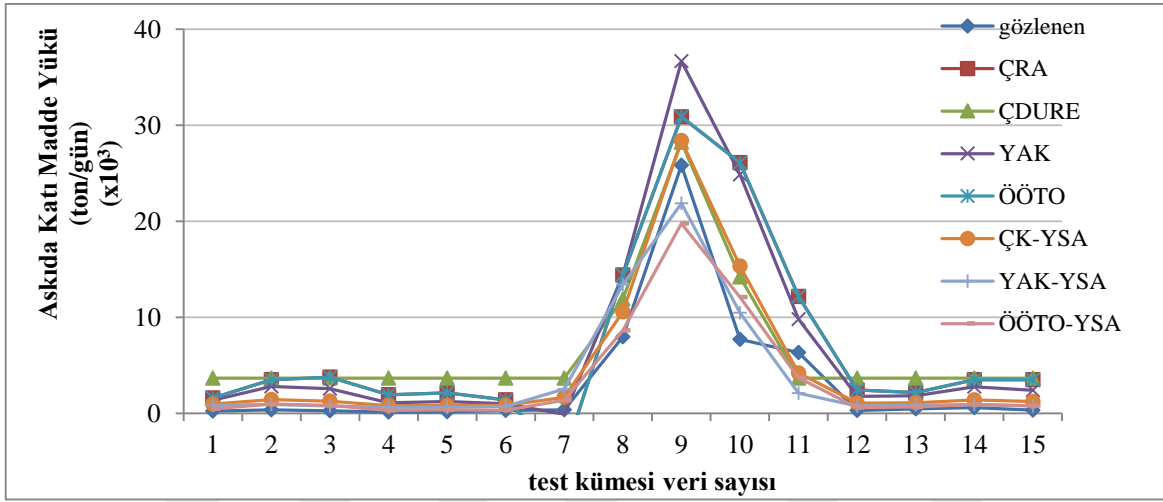
Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,5024	0,9152	11049,28	2097,895	5576,5356	1191,5504

Şekil 3.15. İnanlı İstasyonu'nda ÖÖTO-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

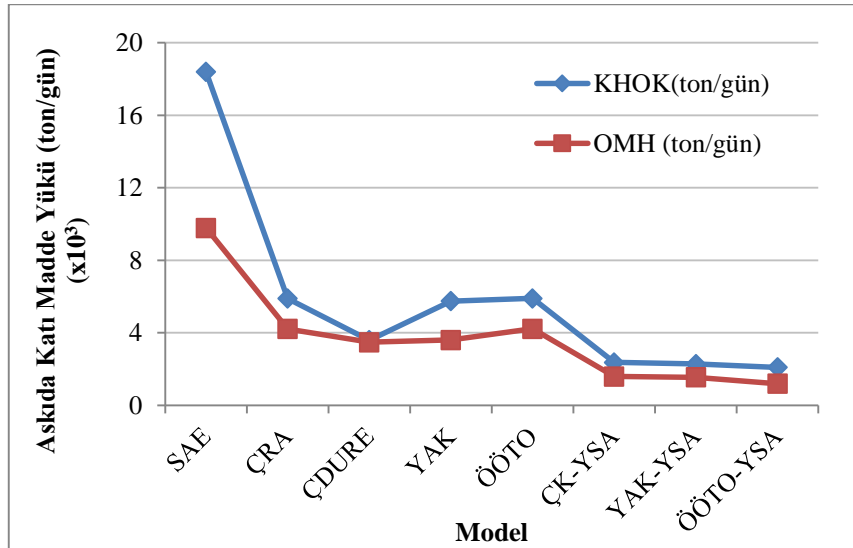
Şekil 3.16. İnanlı İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA modelinin zaman serisi

3.1.2. Değerlendirme

Bu bölümde tüm modellerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.17’de verilmiştir. Şekil 3.18’de KHOK ve OMH değerlerinin modellere göre dağılımı görülmektedir. Tablo 3.9’da ise tüm modellerin determinasyon katsayısına, KHOK ve OMH değerlerine ve tahmin denklemlerine yer verilmiştir.



Şekil 3.17. İnanlı İstasyonu’na ait tüm modeller



Şekil 3.18. İnanlı İstasyonu’na ait KHOK ve OMH değerleri

Tablo 3.9. İnanlı İstasyonuna ait tüm modellerin sonuçları

Modeller	R ²	KHOK(ton/gün)	OMH (ton/gün)	Denklem
SAE	0,4831	18391,98	9784,558966	y=0,414x+5725,7
ÇRA	0,7937	5894,3606	4216,894	y=1,2777x+2629,6
ÇDURE	0,9302	3591,915	3482,943	y=0,9655x+3246,3
YAK	0,8982	5745,8965	3606,797	y=1,4711x+1938,7
ÖÖTO	0,7937	5896,148	4219,844	y=1,2776x+2633,5
ÇK-YSA	0,9399	2364,1	1595	y=1,1027x+963,64
ÖÖTO_YSA	0,9152	2097,895	1191,5504	y=0,795x+732,21
YAK_YSA	0,8863	2279,32	1546,876	y=0,8693x+901,39

Modeller performans değerlendirme kriterlerine göre ve askıda katı madde davranışını yansıtmaya açısından incelendiğinde YSA ile kurulan modellerin regresyon modellerinden daha başarılı olduğu görülmüştür. Tüm bu şekil ve tablolara dayanarak askıda katı madde hareketi konusunda en tutarlı dağılıma sahip olması ve en düşük hata değerlerinin elde edilmesi sebepleriyle, ÖÖTO-YSA modeli tahminlemede en başarılı model olmuştur. 2097,895 ton/gün KHOK ve 1191,5504 ton/ OMH değerleri elde edilmiştir. En kötü model ise hata oranlarının en yüksek olduğu SAE modeli olarak gözlemlenmiştir.

3.2. Çoruh Nehri 2322- Altınsu İstasyonu'na Ait Elde Edilen Askıda Katı Madde Yüğü Tahmin Modelleri

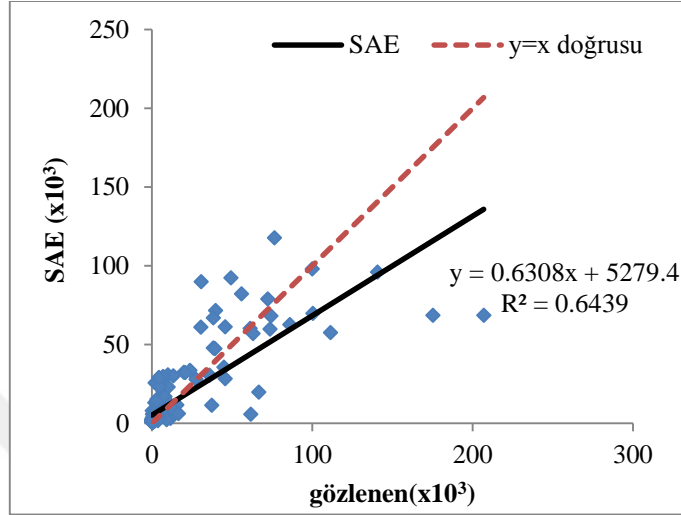
2322 no.lu Altınsu İstasyonu'na ait 1971-2000 yılları arasında ölçülmüş 207 adet veriden, ölçüm hataları, eksik ya da yanlış ölçüm veya ekstrem değerler olması nedeniyle veri anormallikleri uzaklaştırılmıştır. Model tahminlerinde 194 adet debi ve askıda katı madde yüğü verisi kullanılmıştır. Anahtar eğrisi modelinde denklem;

$$Q_s = 0,0304Q^{2,3503} \quad (3.11)$$

olarak elde edilmiştir.

Şekil 3.19'da saçılım grafiğinden, Tablo 3.10'da düşük determinasyon katsayısından ve Şekil 3.20'de askıda katı madde yüğü zaman serisi grafiğinden anlaşıldığı üzere modelin büyük yükleri tahminlemede başarısız kaldığı görülmüştür. Model

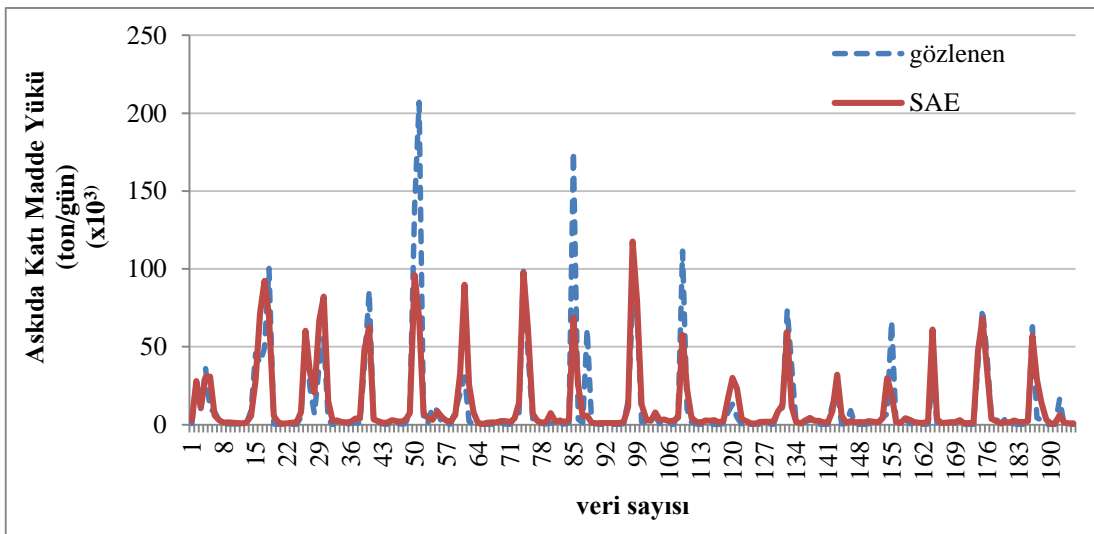
determinasyon denkleminde b_0 katsayısının 1'e yakın olmaması sediment anahtar eğrisi modelinin tahmin için başarısız olduğu sonucunu göstermektedir.



Şekil 3.19. Altınsu İstasyonu'nda SAE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

Tablo 3.10. Altınsu İstasyonu'na ait SAE sonuçları

Model Girdileri	R^2	KHOK(ton/gün)	OMH(ton/gün)
Q_t	0,6439	17523,2052	7209,639



Şekil 3.20 Altınsu İstasyonu'na ait SAE modelinin zaman serisi

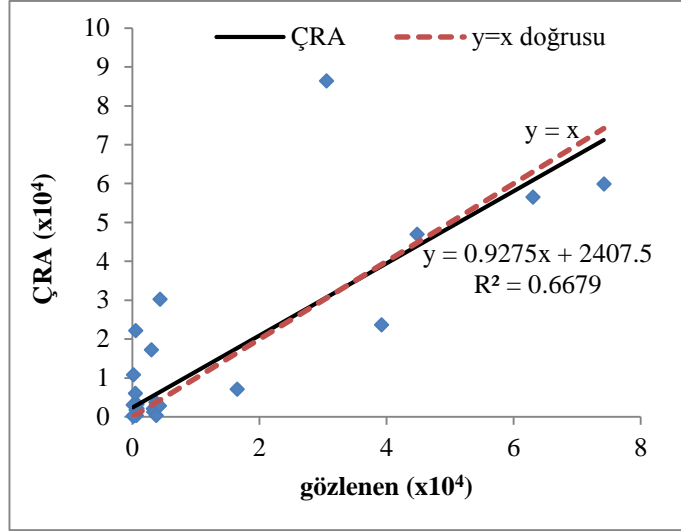
Çoklu regresyon analizi modelinde Altınsu İstasyonuna ait verilerin %80'i eğitim kümesindeki oluşturacak şekilde Denklem 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6'daki sırasıyla doğrusal, üs, üstel ve kuadratik olmak üzere 4 farklı fonksiyon uygulanmıştır. Tüm fonksiyonlardan elde edilen denklem katsayıları ve grafikleri "EKLER" bölümünde Ek 2 ve Ek 15'de verilmiştir. Eğitim kümesinde en küçük karesel hatanın ortalama karekökü (KHOK) değerini ve en büyük determinasyon katsayısını (R^2) veren kuadratik 3.12 denklemi test setine de uygulanmış, ulaşılan sonuçlar Tablo 3.11.'de gösterilmiştir.

$$Q_{S_t} = (-4220,867) + (9,558 * Q_{t-1}) + (58,316 * Q_{S_{t-1}}) + (-0,1475 * Q_t) + (-0,514 * Q_t * Q_{t-1}) + (-0,0014 * Q_t * Q_{S_{t-1}}) + (6,056 * 10^{-4}) * Q_{t-1} * Q_{S_{t-1}} + (0,259716 * Q_{t-1} * Q_{t-1}) + (0,4187 * Q_t * Q_t) + (3,344 * 10^{-6} * Q_{S_{t-1}} * Q_{S_{t-1}}) \quad (3.12)$$

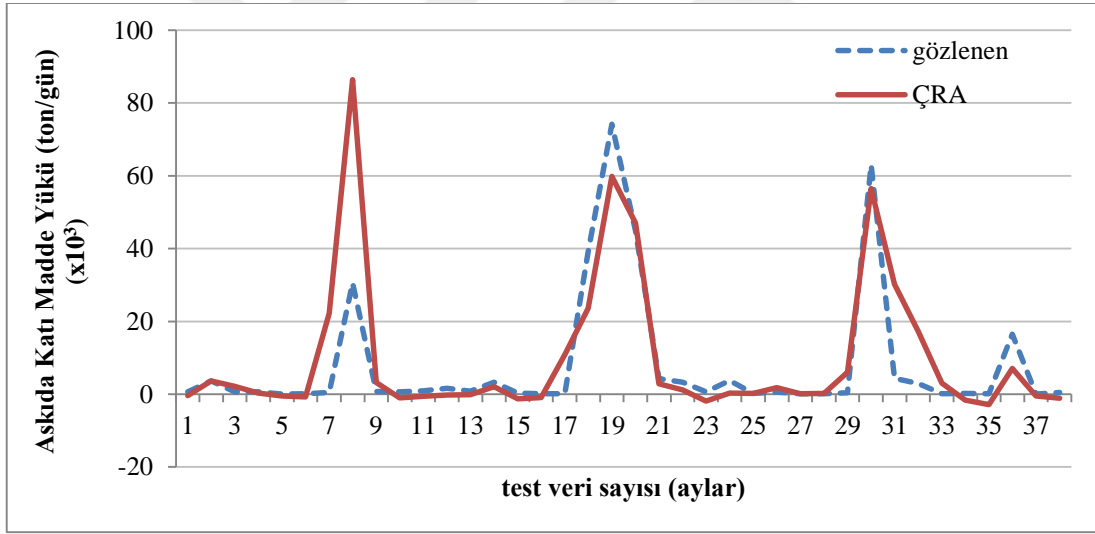
Tablo 3.11. Altınsu İstasyonu'na ait ÇRA sonuçları

Model Girdileri	R^2		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,6843	0,6679	34955,6	11775,671	7534,4954	5774,9567

Çoklu regresyon analizi modelinde eğitim setinde Denklem 2.6 ile gösterilen kuadratik fonksiyonun Tablo 3.11'de görülen en yüksek determinasyon katsayısı ($R^2=0,6843$) ve en düşük KHOK değerini vermesi üzerine test setine de aynı fonksiyon uygulanmıştır. Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de yer alan saçılım grafiğindeki determinasyon katsayısına ve askıda katı madde yükü zaman serisi grafiğine bakıldığında büyük yükleri tahminlemede ÇRA modelinin SAE modeline kıyasla daha başarılı olduğu, 74189,1 ton/gün olarak gözlenmiş pik değeri 59831,65 ton/gün olarak tahmin ettiği görülmektedir.



Şekil 3.21. Altınsu İstasyonu'nda ÇRA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

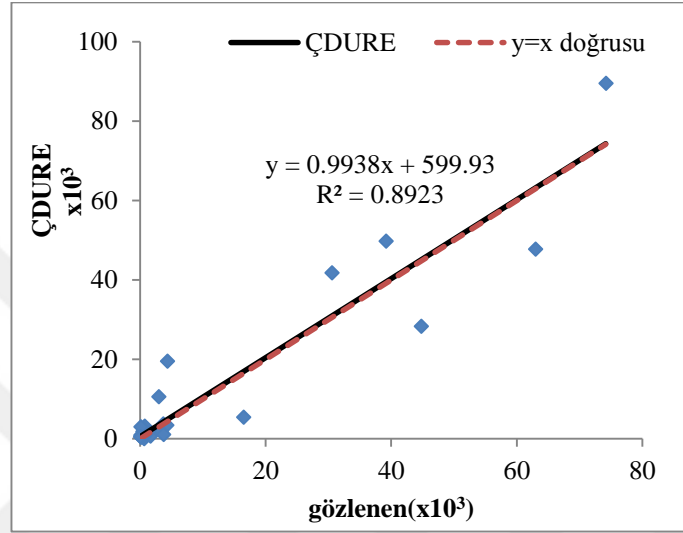
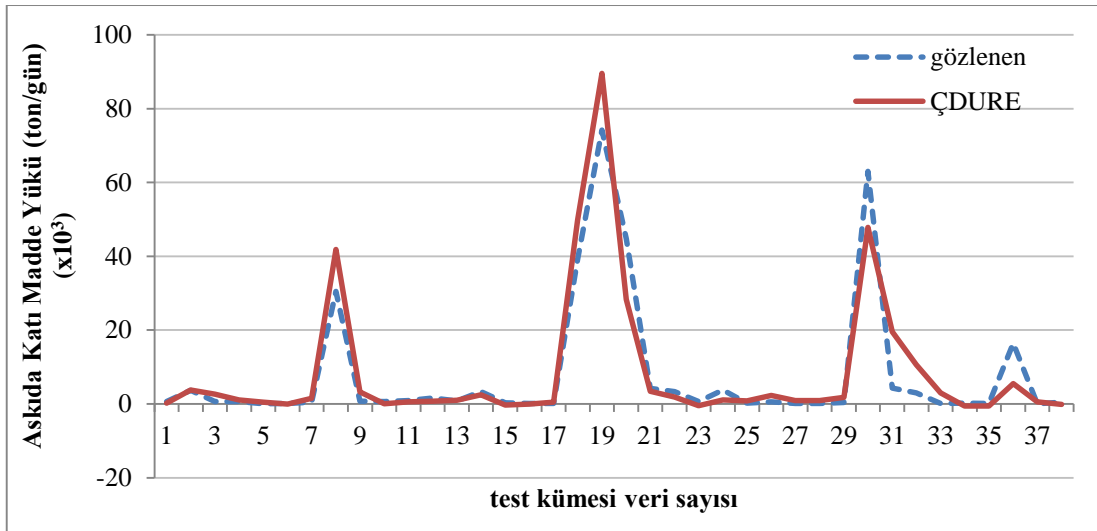


Şekil 3.22. Altınsu İstasyonu'na ait ÇRA modelinin zaman serisi

Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri modelinde de çoklu regresyon modelinde olduğu gibi istasyonlara ait verilerin %80'i eğitim kümesinde %20'si test kümesinde kullanılmıştır. Model sonuçları Tablo 3.12'de, test kümesine ait grafikler Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'de gösterilmiştir. En iyi modellemeye 3.26 denklemleri kullanılarak ulaşılmıştır. Modelin eldeki veriye dayalı olarak oluşturduğu taban fonksiyonları;

Tablo 3.12. Altınsu İstasyonu'na ait ÇDURE sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,9004	0,8923	9939,936	6130,075	4594,275	3412,156

Şekil 3.23. Altınsu İstasyonu'nda ÇDURE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

Şekil 3.24. Altınsu İstasyonu'na ait ÇDURE modelinin zaman serisi

$$BF1 = \max(0, Q_t - 255.227); \quad (3.13)$$

$$BF2 = \max(0, 255.227 - Q_t); \quad (3.14)$$

$$BF3 = \max(0, Q_t - 473.152); \quad (3.15)$$

$$BF5 = \max(0, Q_{s_t} - 48.6006) * BF3; \quad (3.16)$$

$$BF6 = \max(0, Q_{s_t} - 48.6006) * BF1; \quad (3.17)$$

$$BF7 = \max(0, Q_{t-1} - 444.089) * BF1; \quad (3.18)$$

$$BF9 = \max(0, Q_t - 437.707); \quad (3.19)$$

$$BF11 = \max(0, Q_{s_t} - 48.6006) * BF9; \quad (3.20)$$

$$BF12 = \max(0, Q_{s_t} - 10196.1) * BF1; \quad (3.21)$$

$$BF14 = \max(0, Q_{t-1} - 271.684) * BF9; \quad (3.22)$$

$$BF18 = \max(0, Q_t - 308.519); \quad (3.23)$$

$$BF20 = \max(0, Q_{t-1} - 316.275) * BF18; \quad (3.24)$$

$$BF22 = \max(0, Q_{t-1} - 25.588) * BF3; \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} Q_{s_t} = & 14773.2 + (-69.7764) * BF2 + (-8316.18) * BF3 + (0.0986) * BF5 + \\ & (0.0450) * BF6 + (-2.79127) * BF7 + (3957.51) * BF9 + (-0.0507) * BF11 - \\ & 0.0528938 * BF12 + (-16.0888) * BF14 + (4.31715) * BF20 \\ & +(9.73848) * BF22 \end{aligned} \quad (3.26)$$

şeklindedir.

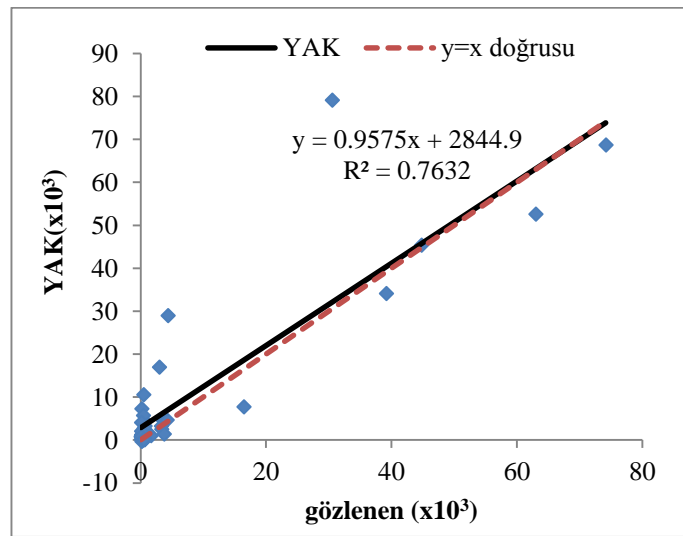
ÇDURE modelinin sonuçları incelendiğinde, modelin SAE ve ÇRA modellerine kıyasla daha yüksek determinasyon katsayısı ve daha düşük KHOK ve OMH değerleri

verdiği görülmektedir. $y=b_0+b_1x_1$ yapısında olan determinasyon denkleminde b_0 katsayısının 1'e çok yakın olması, b_1 katsayısının ise diğer denklemlerdeki değerlere nazaran çok daha küçük olması denklemin doğrusallığa yakınlığını göstermektedir. 74189,1 ton/gün olarak gözlenmiş pik değeri 89520,13 ton/gün olarak tahminlemiştir.

YAK modelinde regresyon analizinde kullanılan tüm fonksiyonlar bu modelde de kullanılmıştır. Fonksiyonlardan elde edilen katsayılar ve grafikler "EKLER" kısmında Ek 5 ve Ek 18'de gösterilmiştir. Her bir fonksiyon için popülasyon hacimleri ve limit değerleri 50-150, 100-300 ve 200-600 olmak üzere 3, toplamda 12 ayrı analiz yapılmıştır. Eğitim kısmında en iyi sonucu veren 3.27 kuadratik denklemi test aşamasına da uygulanmıştır.

$$Q_{S_t} = 0,0606 + 0,1016 * Q_{t-1} + 0,0672 * Q_{S_{t-1}} + 0,1689 * Q_t + -0,8193 * Q_t * Q_{t-1} + -0,7682 * Q_t * Q_{S_{t-1}} + 0,4517 * Q_{t-1} * Q_{S_{t-1}} + 0,2695 * Q_{t-1} * Q_{t-1} + 0,8136 * Q_t * Q_t + 0,211 * Q_{S_{t-1}} * Q_{S_{t-1}} \quad (3.27)$$

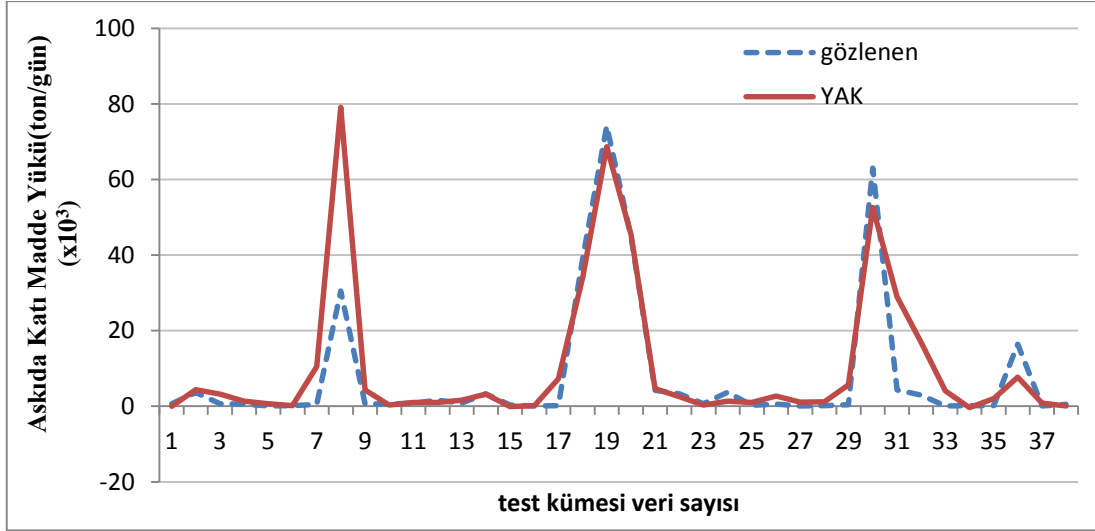
Şekil 3.25'te b_0 değerinin yüksek olduğu fakat Tablo 3.13 incelendiğinde determinasyon katsayısının ($R^2=0,7632$) istenilen başarıda olmadığı görülmektedir. Buna rağmen model SAE ve ÇRA modelinden daha başarılı sonuç vermiştir. Şekil 3.26'da görülen ve 74189,1 ton/gün olarak gözlenen pik değeri model 68703,56 ton/gün olarak tahmin etmiştir.



Şekil 3.25. Altınsu İstasyonu'nda YAK tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

Tablo 3.13. Altınsu İstasyonu'na ait YAK sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,6699	0,7632	18119,8	9785,33	7782,223	4402,423



Şekil 3.26 Altınsu İstasyonuna ait YAK modelinin zaman serisi

ÖÖTO modelinde eğitim setinde her bir regresyon denklemi için popülasyon hacimleri 50,100 ve 200 olacak şekilde 3 ayrı analiz yapılmış, 4 fonksiyon için toplamda 12 analiz uygulanmıştır. Eğitim kısmında en iyi sonucu veren 3.28 kuadratik denklemi test aşamasına da uygulanmıştır. Tablo 3.14'te istasyona ait elde edilen model sonuçları görülmektedir. Denklemlerden elde edilen katsayı ve grafikler EKLER kısmında Ek 8 ve Ek 21'de gösterilmiştir.

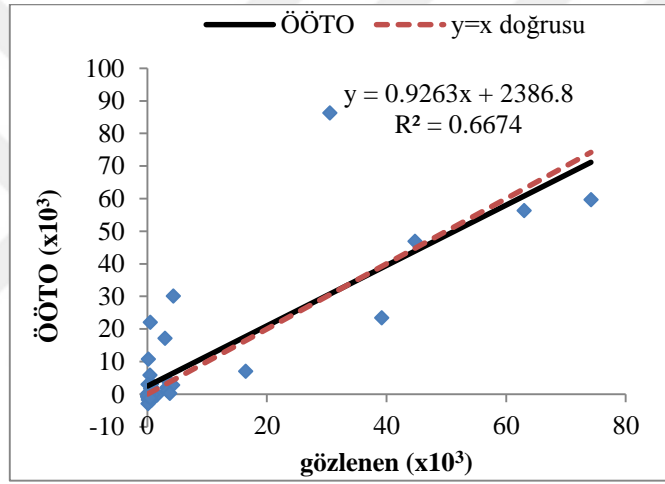
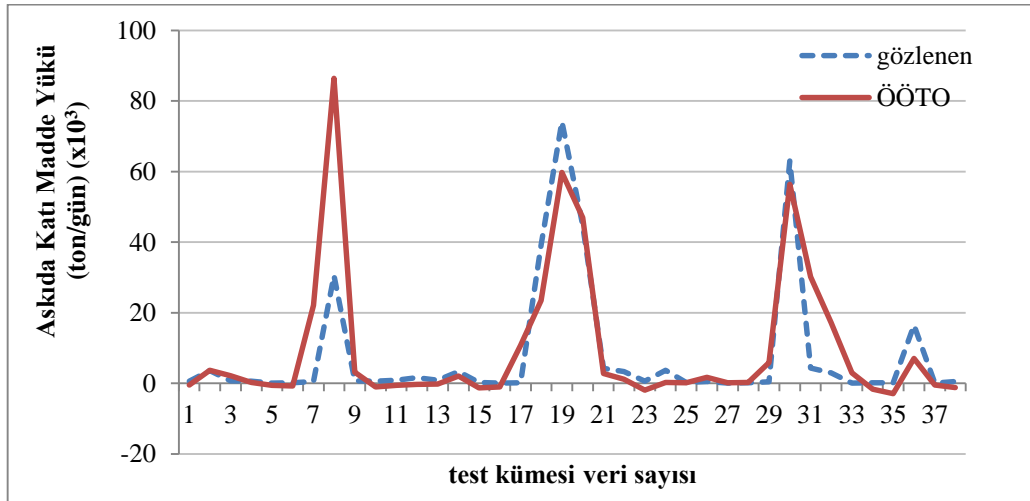
$$Q_{S_t} = 0,0907 + 0,1382 * Q_{t-1} + 0,0776 * Q_{S_{t-1}} + 0,2773 * Q_t + 1,1788 * Q_t * Q_{t-1} + 1,1077 * Q_t * Q_{S_{t-1}} + 0,4663 * Q_{t-1} * Q_{S_{t-1}} + 0,5951 * Q_{t-1} * Q_{t-1} + 0,9596 * Q_t * Q_t + 0,8651 * Q_{S_{t-1}} * Q_{S_{t-1}}$$

(3.28)

Tablo 3.14. Altınsu İstasyonu'na ait ÖÖTO sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Q _t , Q _(t-1) , Q _{S_t}	0,61847	0,6674	17686,93	11772,84	7540,923	5779,964

ÖÖTO modeline ait KHOK değeri ÇRA modelindeki değerden daha düşük olarak elde edilmiştir. Şekil 3.27'deki saçılım diyagramından model denklemine ve determinasyon katsayısına ulaşılabilmektedir. Şekil 3.28'den de görüldüğü üzere model 74189,1 ton/gün olan gözlenmiş pik değeri 59723,32 ton/gün olarak tahmin etmiştir.

Şekil 3.27. Altınsu İstasyonu'nda ÖÖTO tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

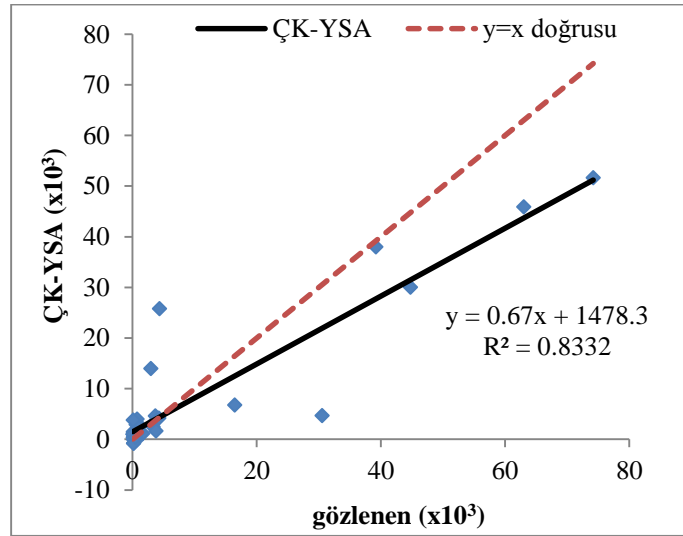
Şekil 3.28. Altınsu İstasyonu'na ait ÖÖTO modelinin zaman serisi

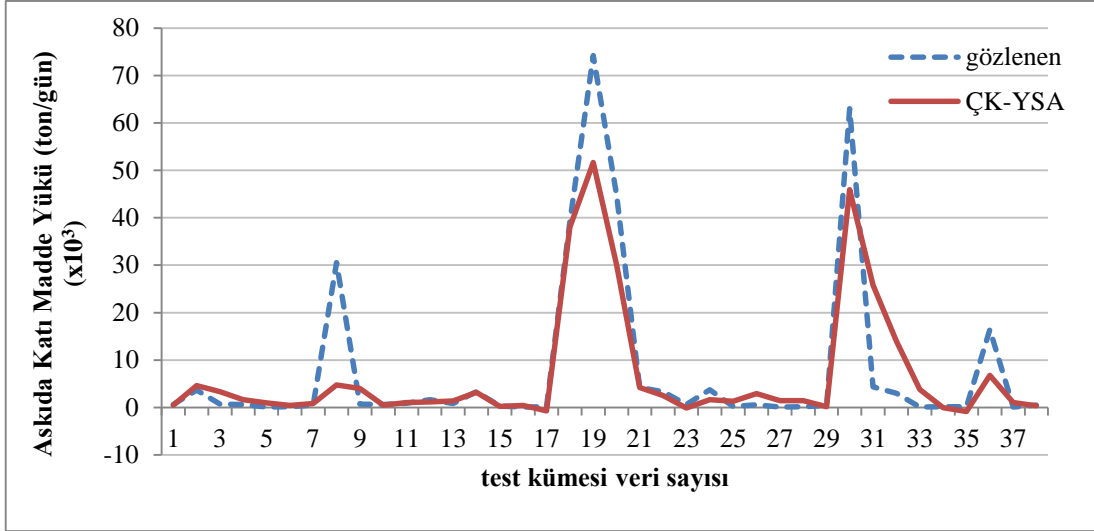
Altınsu İstasyonu için oluşturulan ÇK-YSA modeli ara katman sayısının 5, öğrenme katsayısının 0,5 ve momentum katsayısının 1 olduğu durumda en iyi sonucu vermiştir. Hata değerleri Tablo 3.15'te gösterilmiştir. Analizler sonucu elde edilen doğrulama ve test kümesine ait hata değerleri "EKLER" kısmında Ek 12'de verilmiştir

Tablo 3.15'den de görüldüğü gibi ÇK-YSA modelinde determinasyon katsayısı yüksek olmasına rağmen ($R^2=0,8332$) Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da 74189,1 ton/gün olan gözlenmiş pik değerini 51660 ton/gün olarak diğer YSA yöntemlerine göre düşük tahmin etmiştir.

Tablo 3.15. Altınsu İstasyonu'na ait ÇK-YSA sonuçları

Model Girdileri	R^2		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,6288	0,8332	23480,97	7296,9	9194,212	3755,9

Şekil 3.29. Altınsu İstasyonu'nda ÇK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_S değerlerine ait saçılım diyagramı



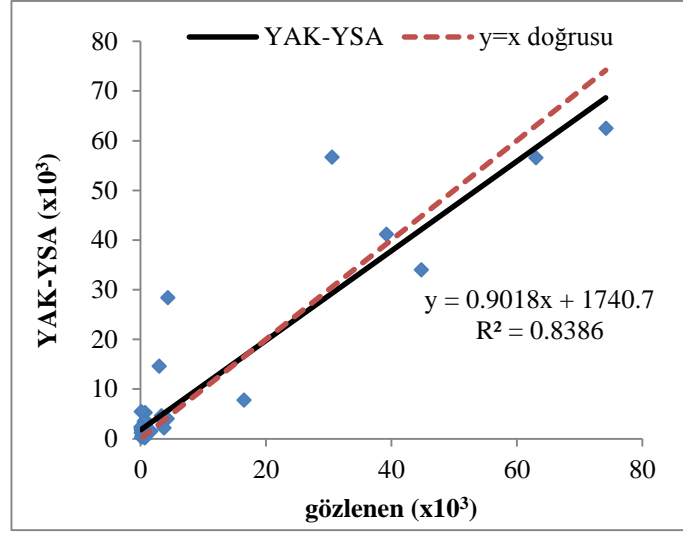
Şekil 3.30. Altınsu İstasyonu'na ait ÇK-YSA modelinin zaman serisi

YAK-YSA yapılan 16 farklı analizden 10 ara katman eleman sayılı, 50 popülasyon hacimli ve 100 limit değerli analizde en iyi sonuca ulaşılmıştır.

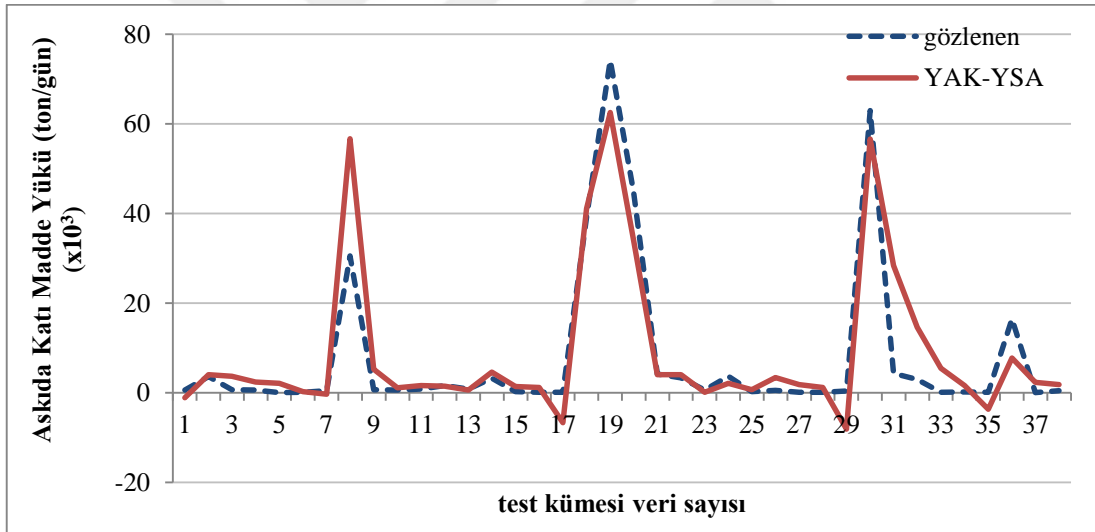
Tablo 3.16'da ve Şekil 3.31 YAK-YSA modelinden elde edilen determinasyon katsayısı ÇK-YSA modeli ve diğer tüm YSA modellerinden daha büyük, KHOK değeri ise daha düşüktür. Şekil 3.32'de 74189,1 ton/gün olan gözlenmiş pik değerinin 62512,52 ton/gün olarak tahmin edildiği görülmektedir.

Tablo 3.16. Altınsu İstasyonu'na ait YAK-YSA sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,6364	0,8386	21114,63	7269,26	9114,3795	4206,22



Şekil 3.31. Altınsu İstasyonu'nda YAK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



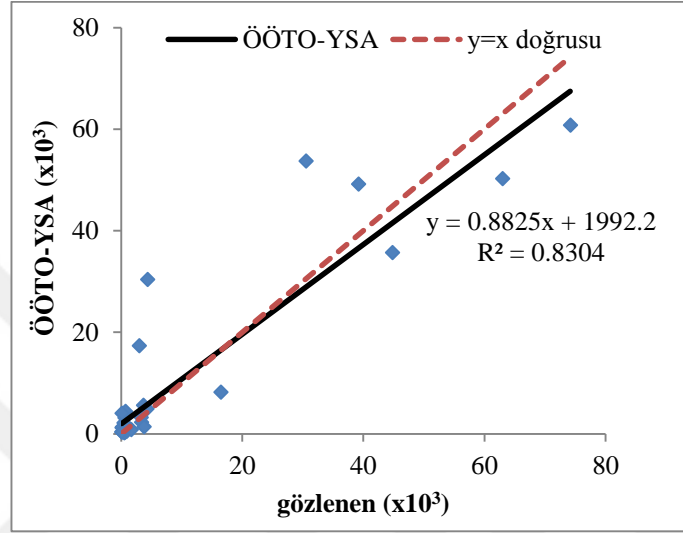
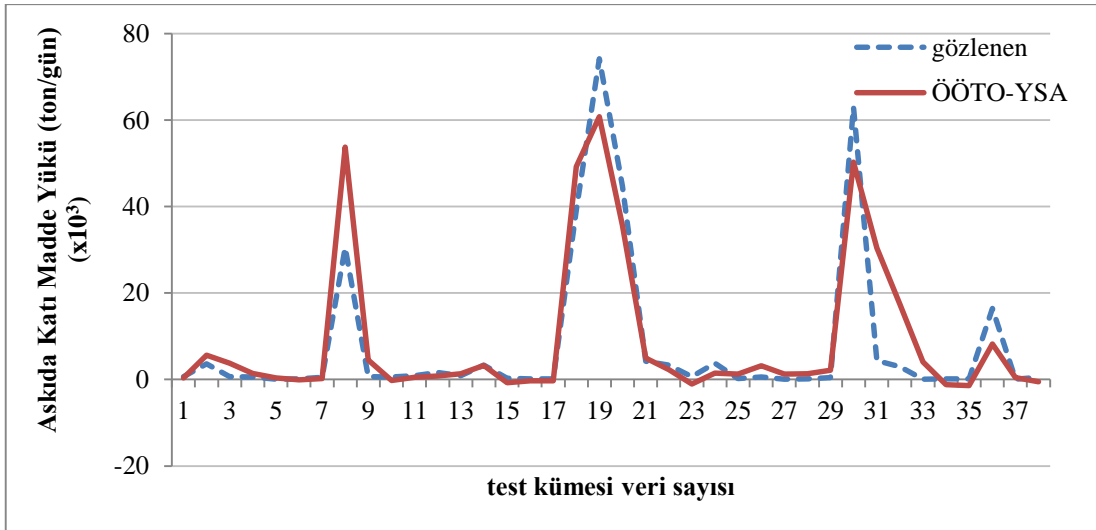
Şekil 3.32. Altınsu İstasyonu'na ait YAK-YSA modelinin zaman serisi

ÖÖTO-YSA modeli 15 ara katman eleman sayılı 50 popülasyon hacimli ve 100 limit değerli analizde en düşük hata değerlerini vermiştir.

Tablo 3.17'de ve Şekil 3.33'te ÖÖTO-YSA modelinden elde edilen determinasyon katsayısı ($R^2=0,8304$) yüksek, KHOK ve OMH değerleri ise düşüktür. Şekil 3.34'te 74189,1 ton/gün olan gözlenmiş pik değerini 60826,82 ton/gün olarak tahmin etmiştir.

Tablo 3.17. Altınsu İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA sonuçları

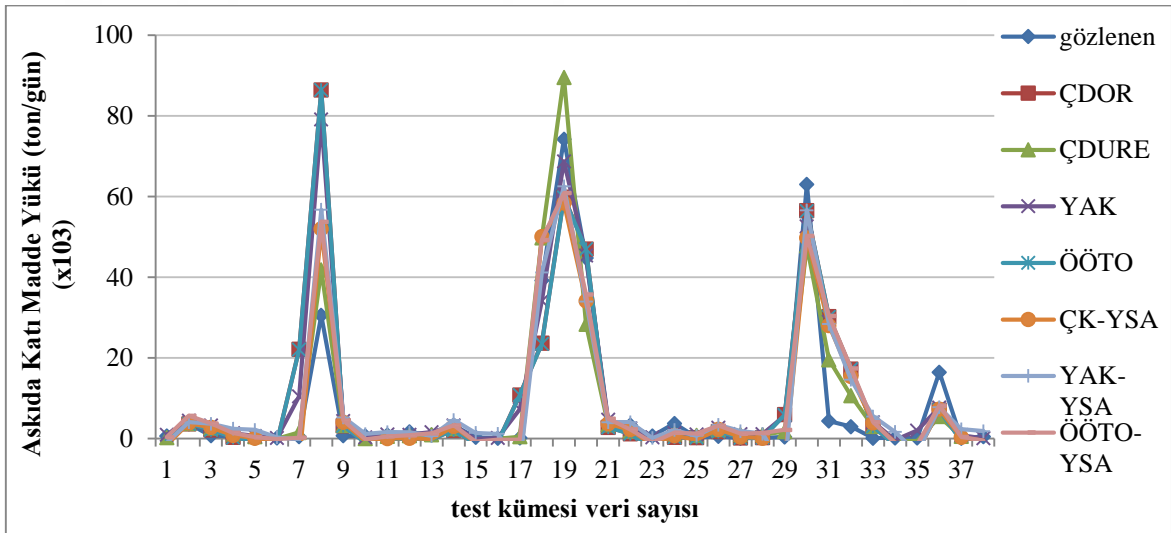
Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,6046	0,8304	22232,1832	7426,1074	9360,1076	4049,8453

Şekil 3.33. Altınsu İstasyonu'nda ÖÖTO-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

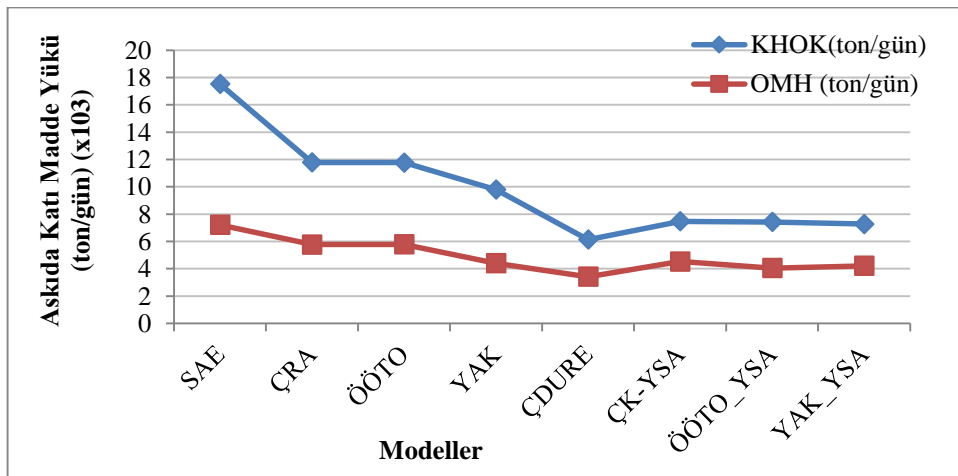
Şekil 3.34. Altınsu İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA modelinin zaman serisi

3.2.1. Değerlendirme

Bu bölümde Şekil 3.35’de tüm modellerin bir arada grafiği ve Şekil 3.36’da KHOK ve OMH değerlerinin modellere göre dağılımı görülmektedir. Tablo 3.18’de ise tüm modellerin determinasyon katsayısına, KHOK ve OMH değerlerine ve tahmin denklemlerine yer verilmiştir. Model performans ölçütlerine ve askıda katı madde davranışına bakılarak genel olarak YSA modellerinin regresyon modellerinden daha başarılı olduğu fakat ÇDURE modelinin tüm modellerden daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.35. Altınsu İstasyonu’na ait tüm modeller



Şekil 3.36. Altınsu İstasyonu’na ait KHOK ve OMH değerleri

Tablo 3.18. Altınsu İstasyonu'na ait tüm modellerin sonuçları

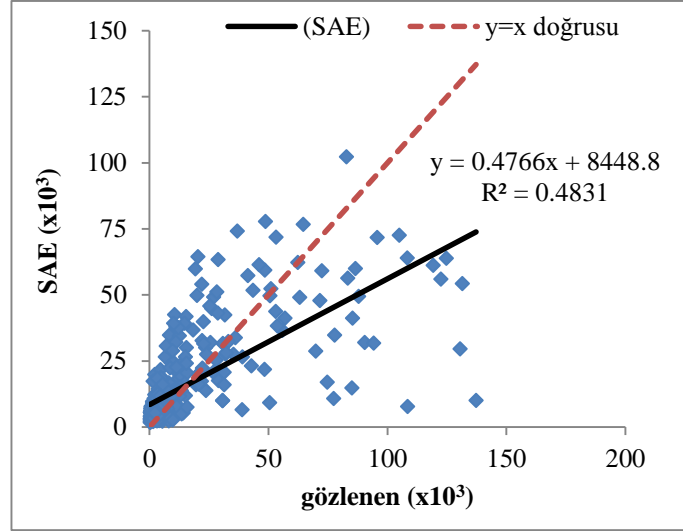
Modeller	R ²	KHOK(ton/gün)	OMH (ton/gün)	Denklem
SAE	0,6439	17523,2	7209,639	$y=0,6308x+5279,4$
ÇRA	0,6679	11775,67	5774,957	$y=0,9275x+2407,5$
ÇDURE	0,8923	6130,075	3412,156	$y=0,9938x+599,93$
YAK	0,7632	9785,329651	4402,423116	$y=0,9569x+2874,8$
ÖÖTO	0,6674	11772,84	5779,964	$y=0,9263x+2386,8$
ÇK-YSA	0,8332	7296,9	3755,9	$y=0,886x+613,61$
ÖÖTO_YSA	0,8304	7426,1074	4049,8453	$y=0,8825x+1992,2$
YAK_YSA	0,8386	7269,2633	4206,2187	$y=0,9018x+1740,7$

3.3. Çoruh Nehri 2315 - Karşıköy İstasyonu'na Ait Elde Edilen Askıda Katı Madde Yüğü Tahmin Modelleri

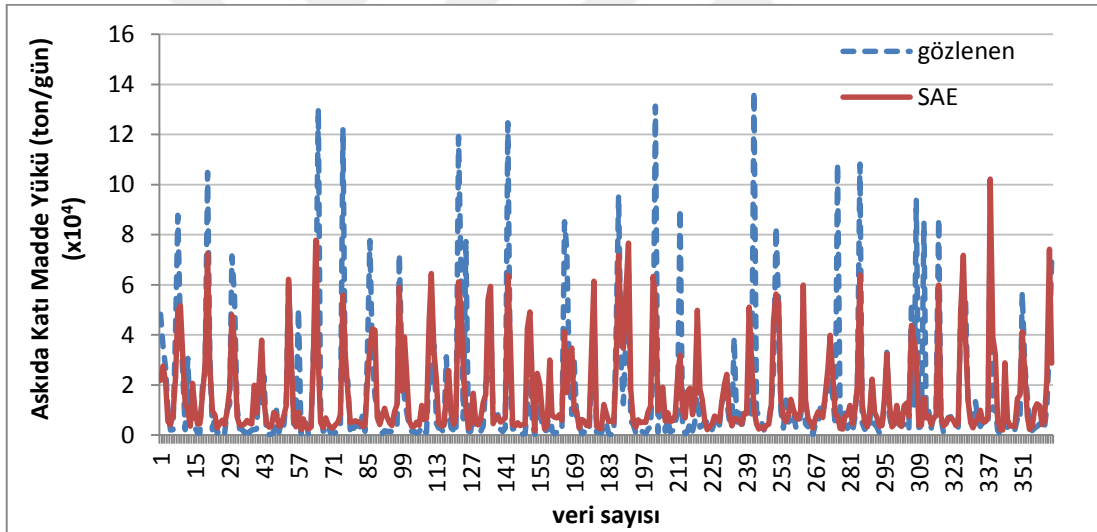
2315 no.lu Karşıköy İstasyonuna ait 1964-2001 yılları arasında ölçülmüş 390 adet veriden, ölçüm hataları, eksik ya da yanlış ölçüm veya ekstrem değerler olması nedeniyle veri anormallikleri uzaklaştırılmıştır. Modellerde 362 adet debi ve askıda katı madde yüğü verisi kullanılmış, hata değerleri Tablo 3.19'da düzenlenmiştir. Şekil 3.37'de saçılım diyagramı, Şekil 3.38'de ise zaman serisi grafiği gösterilmiştir.

Tablo 3.19. Karşıköy İstasyonu'na ait SAE sonuçları

Model Girdileri	R ²	KHOK(ton/gün)	OMH(ton/gün)
Qt	0,4831	18391,98	9784,558966



Şekil 3.37. Karşıköy İstasyonu'nda SAE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



Şekil 3.38. Karşıköy İstasyonu'na ait SAE modelinin zaman serisi

Akarsularda taşınan askıda katı madde yükünü akımla ilişkilendiren bu modelde anahtar eğrisi denklemi elde edilmiş, gözlenen ve tahmin edilen değerler arasında korelasyon gösterilmiş ve model determinasyon denkleminde ulaşılmıştır.

$$Q_s = 1,6419Q^{1,6599} \quad (3.29)$$

Çoklu regresyon analizi modelinde Karşıköy İstasyonuna ait verilerin %80'i eğitim kümesi %20'si ise test kümesi olarak kullanılmıştır. Denklem 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6'daki sırasıyla doğrusal, üs, üstel ve kuadratik olmak üzere 4 farklı fonksiyon uygulanmıştır. Tüm fonksiyonlardan elde edilen denklem katsayıları ve grafikleri "EKLER" bölümünde Ek 3 ve Ek 16'da verilmiştir. Eğitim kümesinde en küçük karesel hatanın ortalama karekökü (KHOK) değerini ve en büyük determinasyon katsayısını (R^2) veren kuadratik 3.30 denklemi test setine de uygulanmış, ulaşılan sonuçlar Tablo 3.20'de gösterilmiştir.

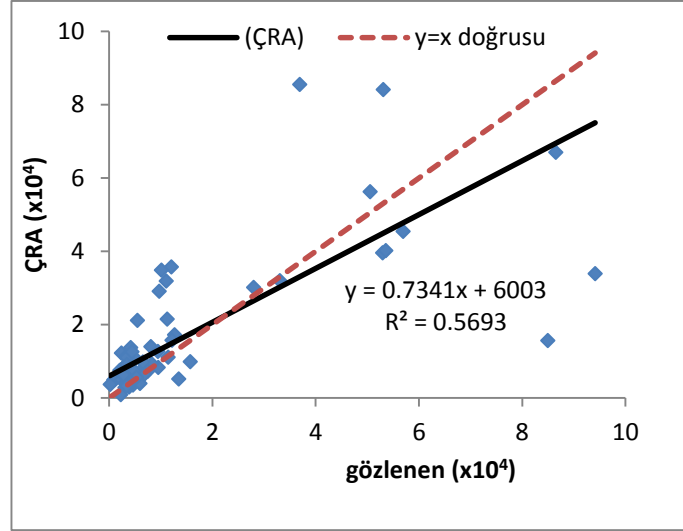
$$Q_{S_t} = 2955,971 + (-74,507) * Q_{t-1} + (58,677) * Q_{S_{t-1}} + (0,602) * Q_t + (0,027) * Q_t * Q_{t-1} + (4,118 * 10^{-4}) * Q_t * Q_{S_{t-1}} + (-3,166 * 10^{-4}) * Q_{t-1} * Q_{S_{t-1}} + (0,04) * Q_{t-1} * Q_{t-1} + (0,157) * Q_t * Q_t + (-5,569 * 10^{-6}) * Q_{S_{t-1}} * Q_{S_{t-1}} \quad (3.30)$$

Tablo 3.20. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇRA sonuçları

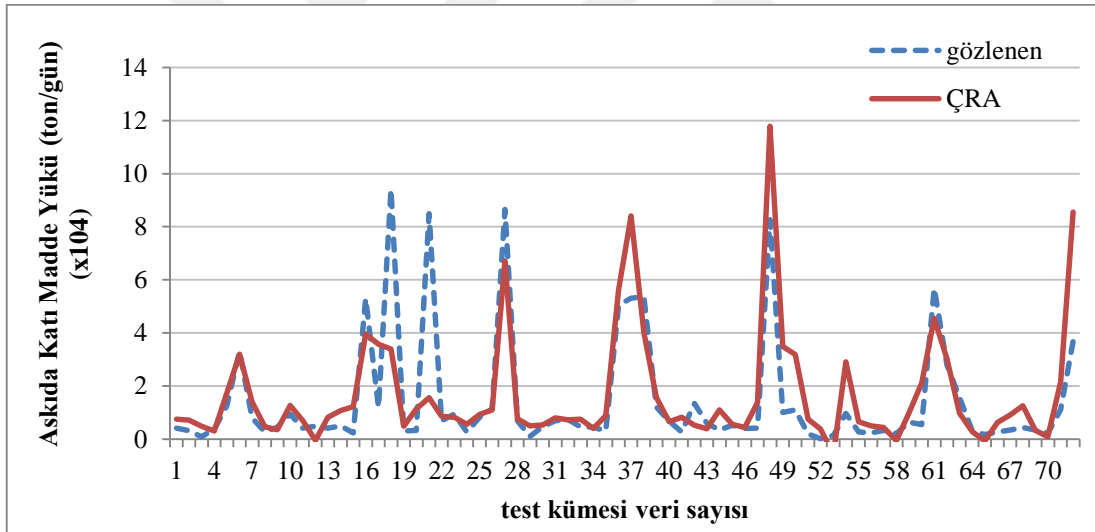
Model Girdileri	R^2		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,5017	0,5693	18463,83	15482,09	9932,119	8484,318

Çoklu regresyon analizi modelinde eğitim setinde Denklem 2.6 ile gösterilen kuadratik fonksiyonun en yüksek determinasyon katsayısı $R^2 = 0,5017$ ve en düşük KHOK değerini vermesi üzerine test setine de aynı fonksiyon uygulanmıştır. Değerlendirme ölçütleri Tablo 3.20'de yer almaktadır.

Şekil 3.39'da saçılım grafiğindeki düşük determinasyon katsayısına ve Şekil 3.40'da yer alan askıda katı madde yükü zaman serisi grafiğine bakıldığında büyük yükleri tahminlemede ÇRA modelinin SAE modeline kıyasla daha başarılı olduğu, pik değerleri nispeten daha iyi yakaladığı görülmektedir. 94118,4 ton/gün olarak gözlenmiş askıda katı madde yükü model ile 33902,97 ton/gün olarak tahmin etmiştir. Şekil 3.39'da determinasyon katsayısının düşük olmasından dolayı istenilen sonucu yeterli derecede vermediği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.39. Karşıköy İstasyonu'nda ÇRA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



Şekil 3.40. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇRA modelinin zaman serisi

Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri modelinde de çoklu regresyon modelinde olduğu gibi istasyonlara ait verilerin %80'i eğitim kümesinde %20'si test kümesinde kullanılmıştır. Test kümesine ait grafikler Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de gösterilmiştir.

Tablo 3.21’de ÇDURE modelinde test setine bakıldığında, anahtar eğrisi modeline göre daha yüksek determinasyon katsayısı ve daha düşük KHOK ve OMH değerleri verdiği görülmektedir. Çoklu regresyon analizine göre ise determinasyon katsayısının düşük olmasına rağmen elde edilen hata değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3.21. Karşıköy İstasyonu’na ait ÇDURE sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,4111	0,5426	20072,664	14998,62	11025,26	8399,655

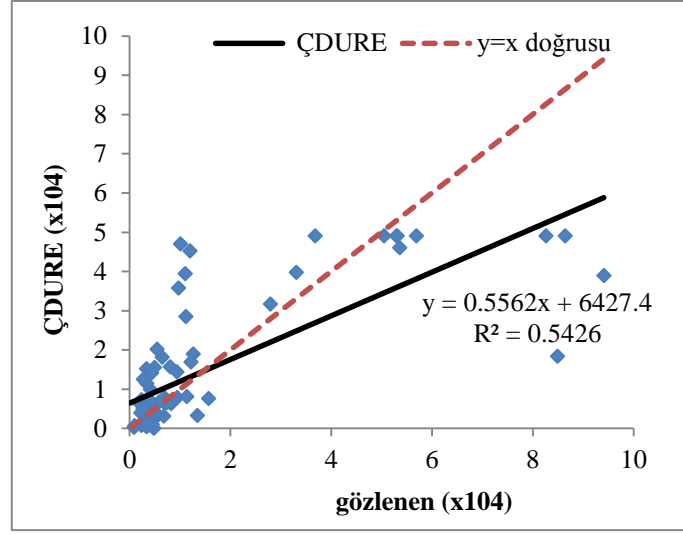
En iyi modellemeye 3.32 denklemini kullanılarak ulaşılmıştır. Modelin eldeki veriye dayalı olarak oluşturduğu taban fonksiyonları;

$$BF2 = \max(0, 377.784 - Q_t); \quad (3.31)$$

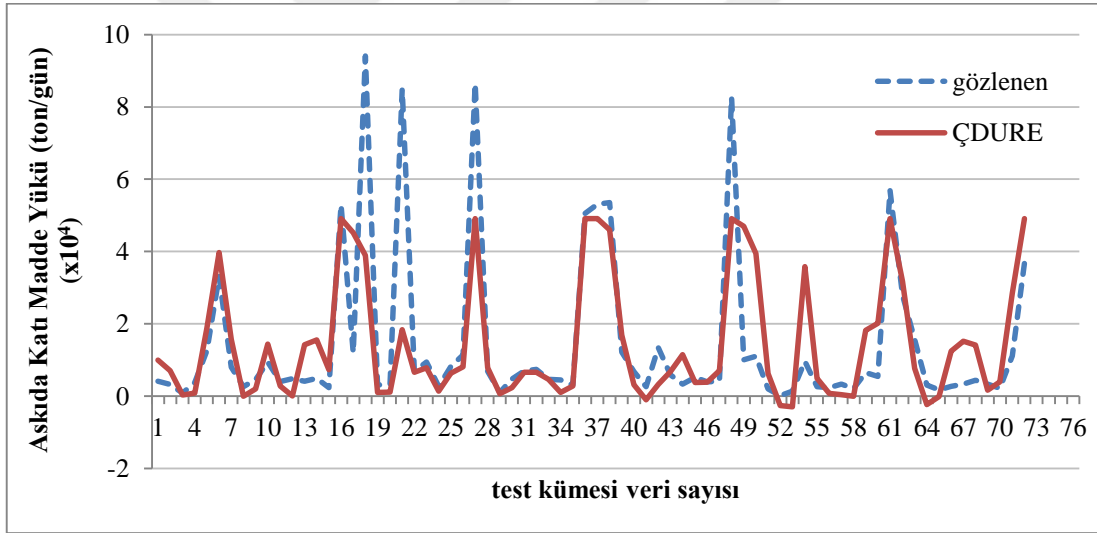
şeklindedir.

$$Q_{S_t} = 49068.9 - 155.54 * BF2; \quad (3.32)$$

Şekil 3.41’de yer alan saçılım grafiği ve Şekil 3.42’de yer alan askıda katı madde yükü zaman serisi grafiği incelendiğinde fazla yükleri tahmin konusunda anahtar eğrisinden daha iyi olduğu fakat yine de çok başarılı sonuçlar vermediği görülmüştür. Determinasyon katsayısının küçük olması da bu sonucu desteklemektedir.



Şekil 3.41. Karşıköy İstasyonu'nda ÇDURE tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



Şekil 3.42. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇDURE modelinin zaman serisi

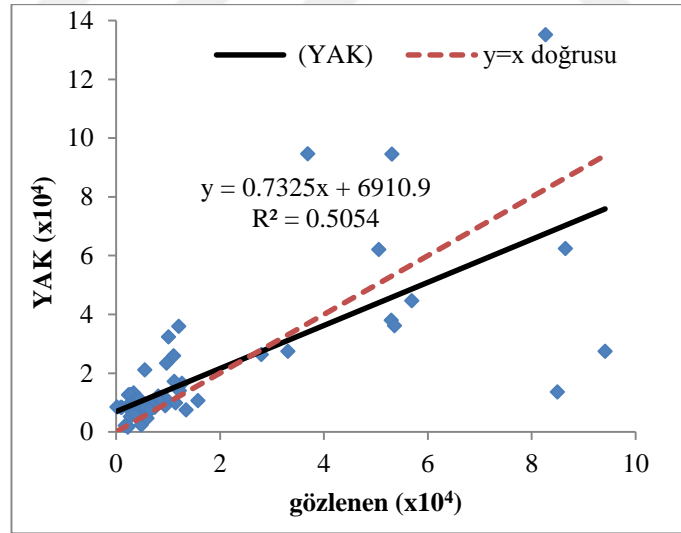
Regresyon analizinde kullanılan doğrusal, üs, üstel ve kuadratik fonksiyonlar YAK modelinde de kullanılmıştır. Tüm fonksiyonlardan elde edilen denklem katsayıları ve grafikleri "EKLER" bölümünde Ek 6 ve Ek 19'da verilmiştir. Diğer regresyon modellerinde olduğu gibi veri seti aynı oranlarla eğitim ve test olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Her bir fonksiyon için popülasyon hacimleri ve limit değerleri 50-150, 100-300 ve 200-600 olmak üzere 3, toplamda 12 ayrı analiz yapılmıştır. Eğitim kısmında en iyi sonucu veren 3.33 denklemi test aşamasında da kullanılmıştır.

$$Q_{S_t} = 0,1252 + 0,5006 * Q_{t-1} - 0,2429 * Q_{S_{t-1}} + 0,8728 * Q_t + 0,5685 * Q_t * Q_{t-1} + (0,5826) * Q_t * Q_{S_{t-1}} - 0,2078 * Q_{t-1} * Q_{S_{t-1}} - 0,0245 * Q_{t-1} * Q_{t-1} + 1,0606 * Q_t * Q_t - 1,1734 * Q_{S_{t-1}} * Q_{S_{t-1}} \quad (3.33)$$

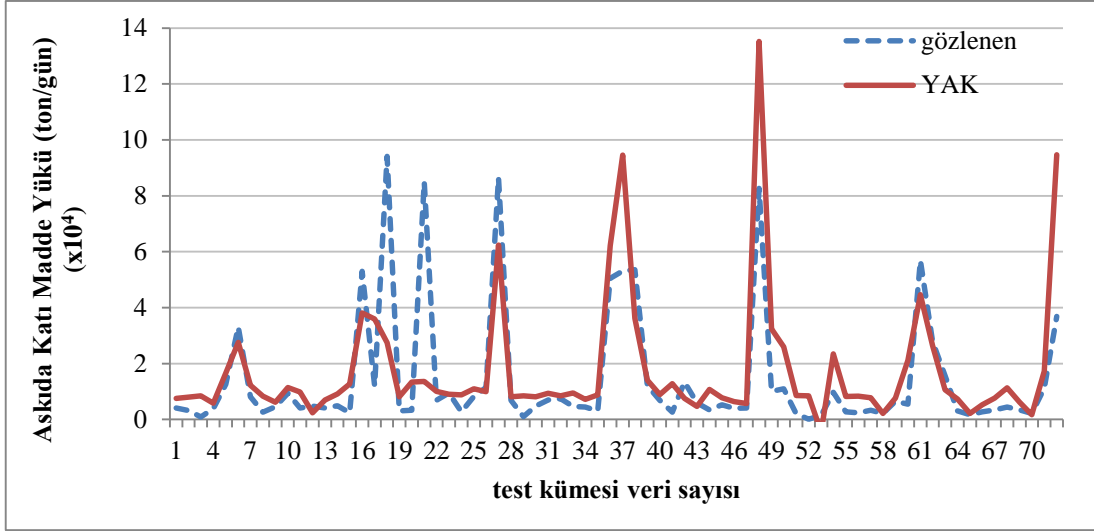
Tablo 3.22 ve Şekil 3.43 incelendiğinde Karşıköy İstasyonu'nda YAK algoritması katı madde tahmini yükü konusunda sediment anahtar eğrisi modelinden daha başarılı olsa da regresyon analizi sonuçlarına kıyasla daha yüksek hata değerleri ve daha düşük determinasyon katsayısına sahiptir. Pik yükleri ise ÇDURE modelinden daha iyi tahmin etmiştir. Şekil 3.44'den görüldüğü üzere 94118,4 ton/gün olarak gözlenmiş askıda katı madde yükü modeli ile 27510,72 ton/gün olarak tahmin etmiştir.

Tablo 3.22. Karşıköy İstasyonuna ait YAK sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Q _t , Q _(t-1) , S _(t-1)	0,4875	0,5054	18733,3	17390,67	10544,35	9610,783



Şekil 3.43. Karşıköy İstasyonu'nda YAK tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



Şekil 3.44 Karşıköy İstasyonu'na ait YAK modelinin zaman serisi

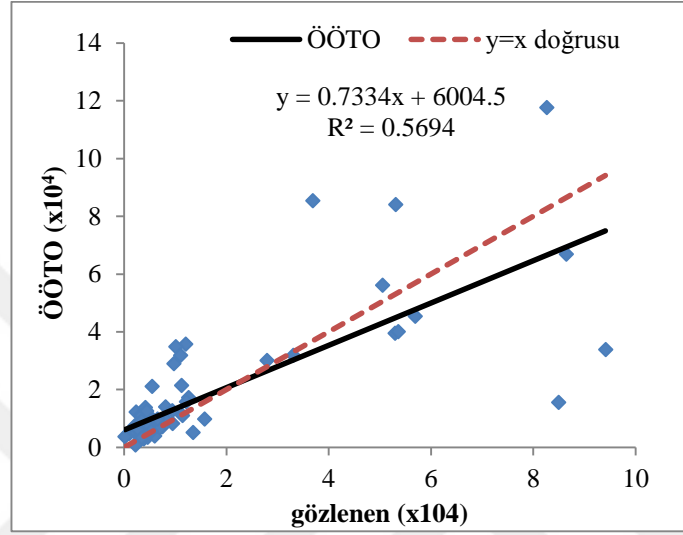
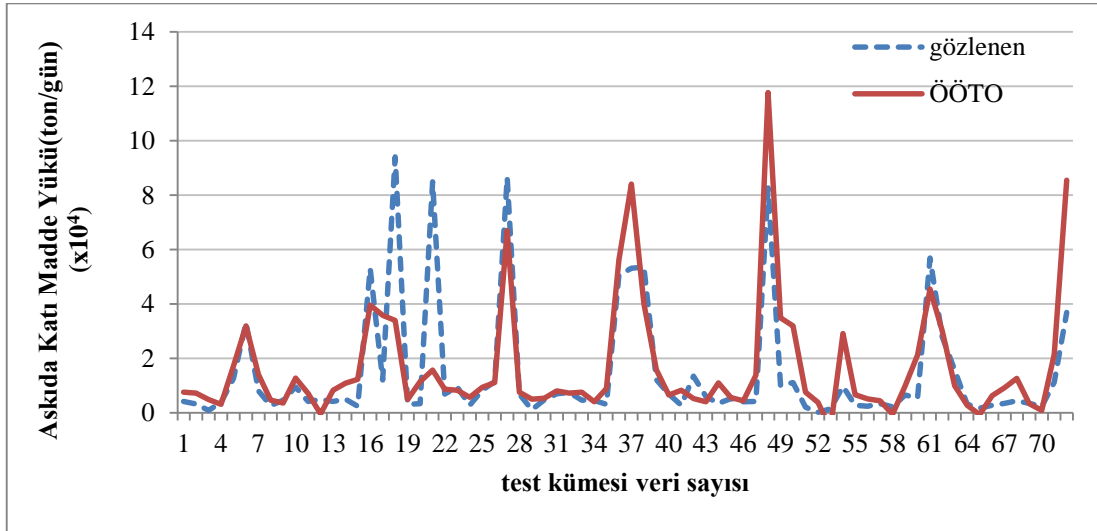
Regresyon analizinde uygulan tüm fonksiyonlar ÖÖTO modelinde de kullanılmış ve elde edilen katsayı ve grafikler Ek 9 ve Ek 22'de verilmiştir. Veri seti diğer regresyon modellerinde olduğu gibi iki kısma ayrılmış en iyi sonucu veren fonksiyon her iki veri kümesine de uygulanmıştır. Her bir fonksiyon için popülasyon hacimleri 50,100 ve 200 olacak şekilde 3 ayrı analiz yapılmış, 4 fonksiyon için toplamda 12 analiz uygulanmış sonuçları ise ek kısmında tablo şeklinde gösterilmiştir. Eğitim kısmında en iyi sonucu veren 3.34 kuadratik denklemi test aşamasına da uygulanmıştır.

$$Q_{S_t} = 0,0553 + 0,4343 * Q_{t-1} + 0,2387 * Q_{S_{t-1}} + 0,7866 * Q_t + 0,1153 * Q_t * Q_{t-1} + (0,3536) * Q_t * Q_{S_{t-1}} + 0,2719 * Q_{t-1} * Q_{S_{t-1}} + 0,1723 * Q_{t-1} * Q_{t-1} + 0,6749 * Q_t * Q_t - 0,9541 * Q_{S_{t-1}} * Q_{S_{t-1}} \quad (3.34)$$

Tablo 3.23'te görülen KHOK ve OMH değerleri ÇRA ve YAK modellerinde görülen bu değerlerden daha düşük, Şekil 3.45'te görülen determinasyon katsayısı ise daha yüksektir. Zaman serisi grafiğine bakıldığında pik yüklerin tahmininde yine bu modellerden daha başarılı olduğu görülmektedir. Şekil 3.46'da 94118,4 ton/gün olarak gözlenmiş askıda katı madde yükünü 33888,84 ton/gün olarak tahmin etmiştir.

Tablo 3.23. Karşıköy İstasyonu'na ait ÖÖTO sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Q _t , Q _(t-1) , Q _{S_t}	0,5017	0,5694	18463,82	15473,22	9930,526	8480,185

Şekil 3.45. Karşıköy İstasyonu'nda ÖÖTO tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı

Şekil 3.46. Karşıköy İstasyonu'na ait ÖÖTO modelinin zaman serisi

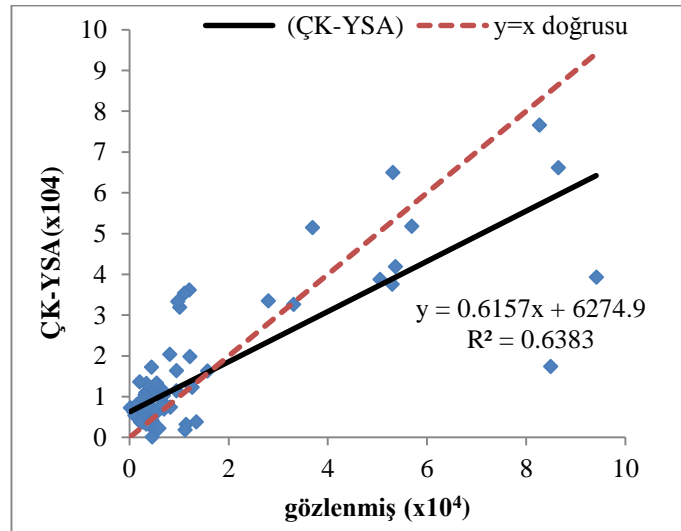
ÇK-YSA modelinde 2.bölüm geri yayılım algoritması başlığı altında anlatıldığı gibi her istasyon için ara katman sayısı, öğrenme ve momentum katsayıları değiştirilerek

36 farklı kombinasyon ile koşturmalar tamamlanmıştır. Analizler sonucu elde edilen doğrulama ve test kümesine ait hata değerleri “EKLER” kısmında Ek 13’de verilmiştir. Bu istasyon için ÇK-YSA modelinde en iyi performans ara katman sayısının 15, öğrenme katsayısının 0,5 ve momentum katsayısının 0,1 olduğu koşturma sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.24’te düzenlenmiştir.

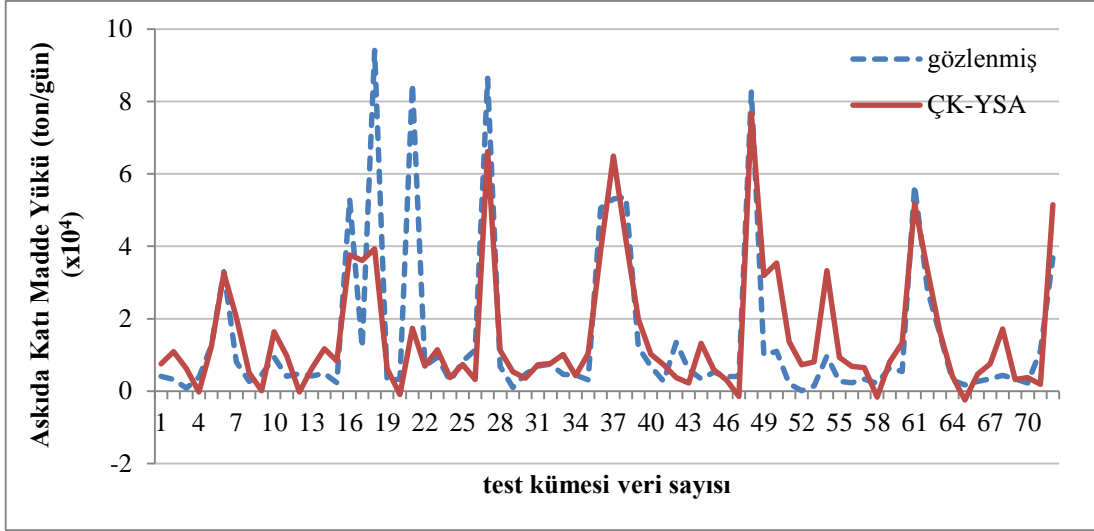
Tablo 3.24. Karşıköy İstasyonu’na ait ÇK-YSA sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,5576	0,6383	17806,4	13379	10412,88	7935,7

Tablo 3.24’te ÇK-YSA model sonuçları incelendiğinde anahtar eğrisi ve tüm regresyon modellerinden daha başarılı olduğu görülmüştür. KHOK, OMH hata değerlerinin daha düşük bulunmuş olması, Şekil 3.47’de görülen determinasyon katsayısının ise 0,6383 değerine yükselmiş olması bunu kanıtlar niteliktedir. Fakat artan bu başarıya rağmen Şekil 3.48’de görüldüğü gibi pik değerlerin yakalanamamış olması bu istasyon için istenilen sonuca ulaşamadığını göstermektedir. 94118,4 ton/gün olarak gözlenmiş askıda katı madde yükü modeli ile 39312 ton/gün olarak tahmin etmiştir.



Şekil 3.47. Karşıköy İstasyonu’nda ÇK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_S değerlerine ait saçılım diyagramı



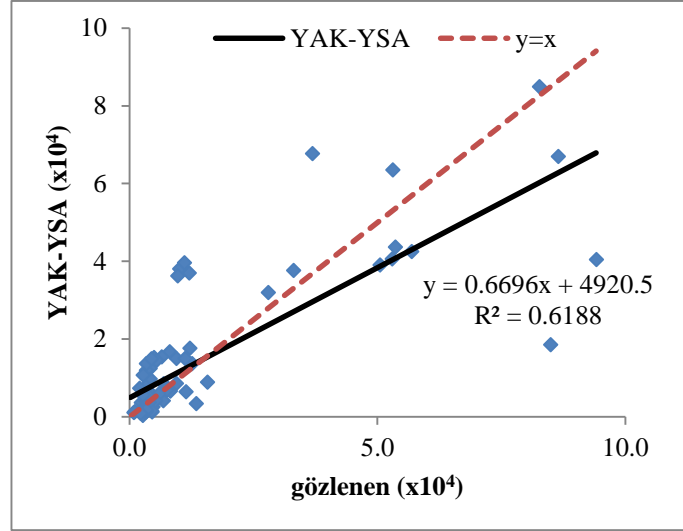
Şekil 3.48. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇK-YSA modelinin zaman serisi

Diğer istasyonlarda olduğu gibi YAK-YSA modelinde ara katman eleman sayısı, popülasyon hacmi ve limit değerleri farklılaştırılarak oluşturulan 16 farklı analiz yapılmıştır 10 ara katman eleman sayılı, 50 popülasyon hacimli ve 100 limit değerli analizde en iyi sonuca ulaşılmıştır.

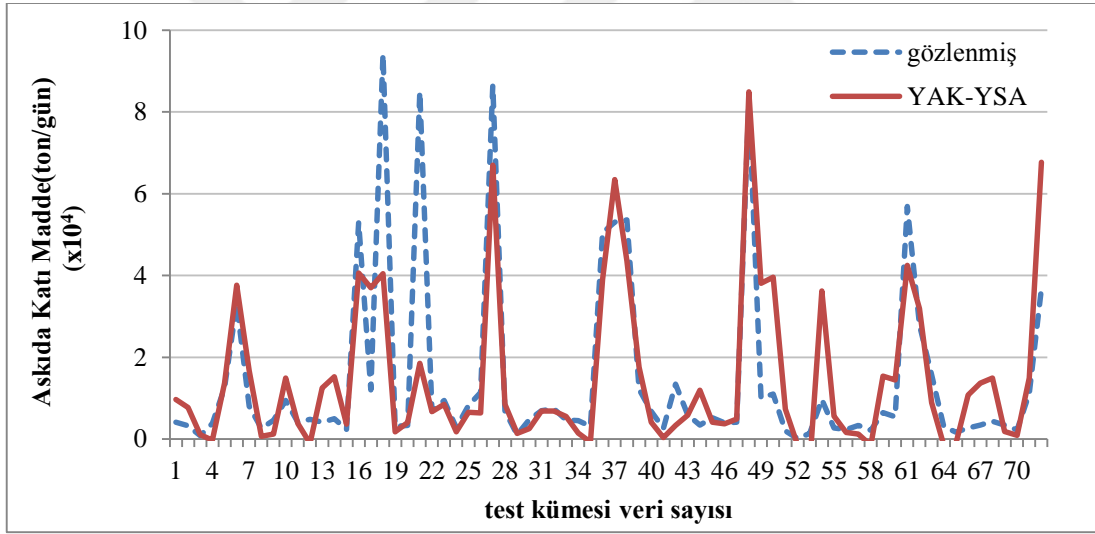
Tablo 3.25. Karşıköy İstasyonu'na ait YAK-YSA sonuçları

Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,5399	0,6188	18060,98	13762,94	10431,92	7716,303

Tablo 3.25'teki sonuç tablosundan ve Şekil 3.49'dan anlaşılacağı üzere YAK-YSA modelinden elde edilen determinasyon katsayısı ÇK-YSA modelinden elde edilen değere göre daha düşük, KHOK değeri daha yüksek ve OMH değeri ise daha düşüktür. Şekil 3.50'te görüldüğü üzere 94118,4 ton/gün olarak gözlenmiş askıda katı madde yükü bu model ile 40440,17 ton/gün olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 3.49. Karşıköy İstasyonu'nda YAK-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_s değerlerine ait saçılım diyagramı



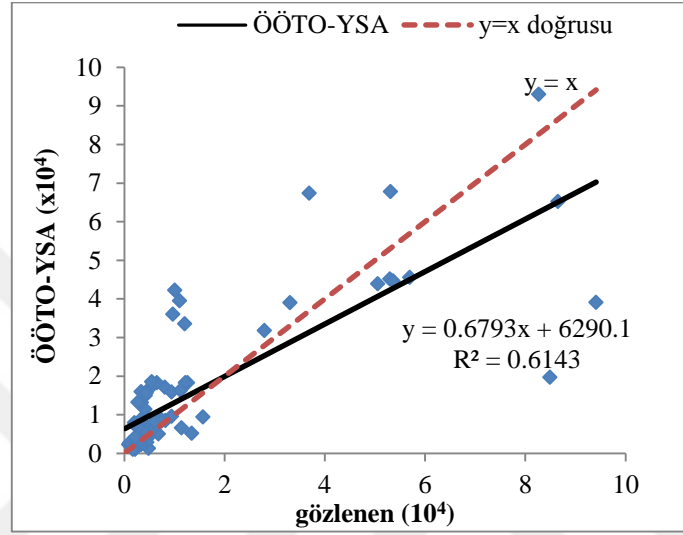
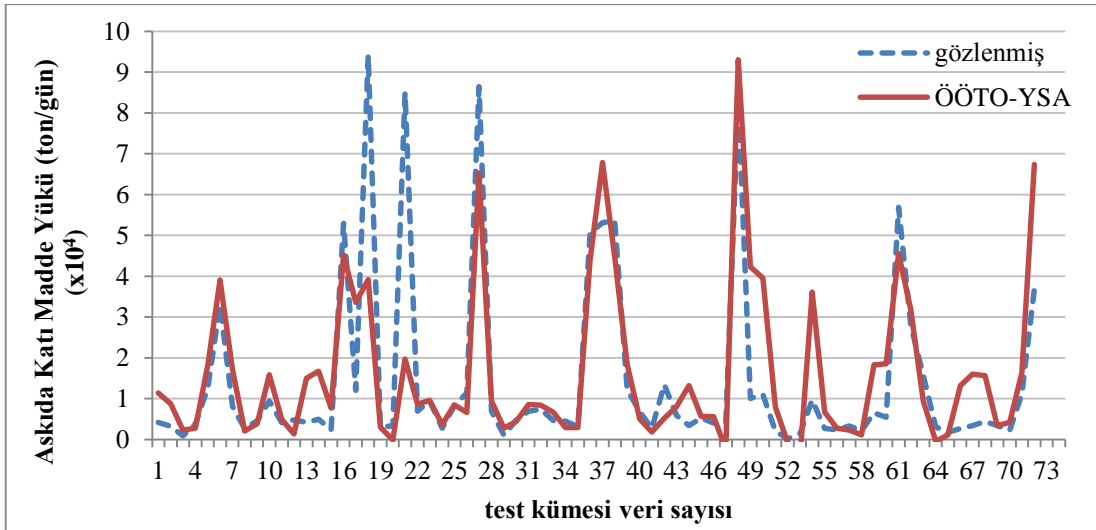
Şekil 3.50. Karşıköy İstasyonu'na ait YAK-YSA modelinin zaman serisi

ÖÖTO-YSA modeli 10 ara katman eleman sayılı, 100 popülasyon hacimli ve 500 limit değerli analizde en düşük hata değerlerini vermiştir.

Tablo 3.26 incelendiğinde ÖÖTO-YSA modelinde KHOK ve OMH değerleri ÇK-YSA ve YAK-YSA modellerine kıyasla daha yüksek, Şekil 3.51 ve Şekil 3.52'den de anlaşılacağı üzere determinasyon katsayısı daha düşük bulunmuştur. 94118,4 ton/gün olarak gözlenmiş askıda katı madde yükü bu model ile 39148,85ton/gün olarak tahmin edilmiştir

Tablo 3.26. Karşıköy İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA sonuçları

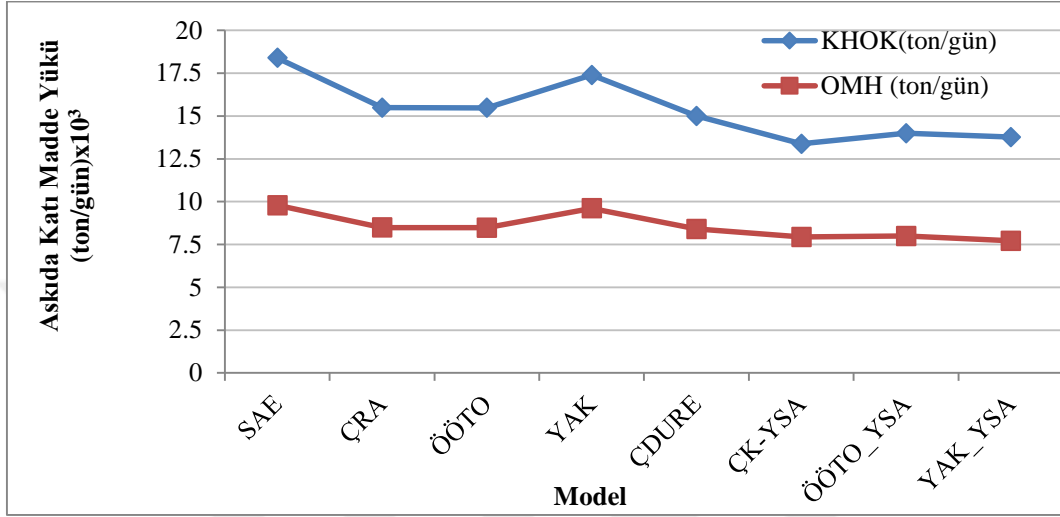
Model Girdileri	R ²		KHOK (ton/gün)		OMH(ton/gün)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
$Q_t, Q_{(t-1)}, Q_{S_t}$	0,557	0,6143	17792,135	13987,97	10629,0574	7993,955

Şekil 3.51. Karşıköy İstasyonu'nda ÖÖTO-YSA tahmin modelinden elde edilen Q_S değerlerine ait saçılım diyagramı

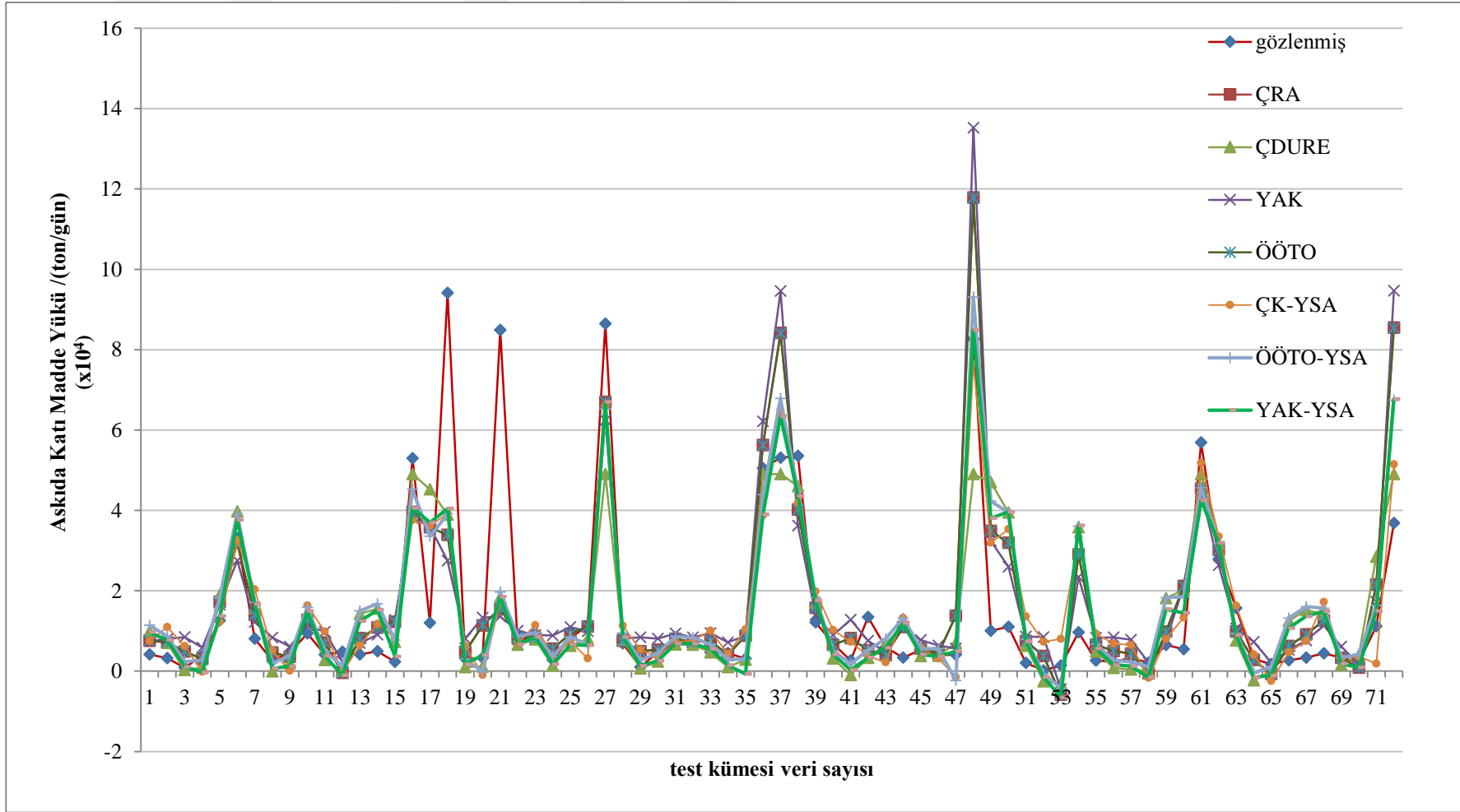
Şekil 3.52. Karşıköy İstasyonu'na ait ÖÖTO-YSA modelinin zaman serisi

3.3.1. Değerlendirme

Şekil 3.53'te KHOK ve OMH değerlerinin modellere göre dağılımı görülmektedir. Bu bölümde tüm modellerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.54'te verilmiştir.



Şekil 3.53. Karşıköy İstasyonu'na ait KHOK ve OMH değerleri



Şekil 3.54. Karşıköy İstasyonu'na ait tüm modeller

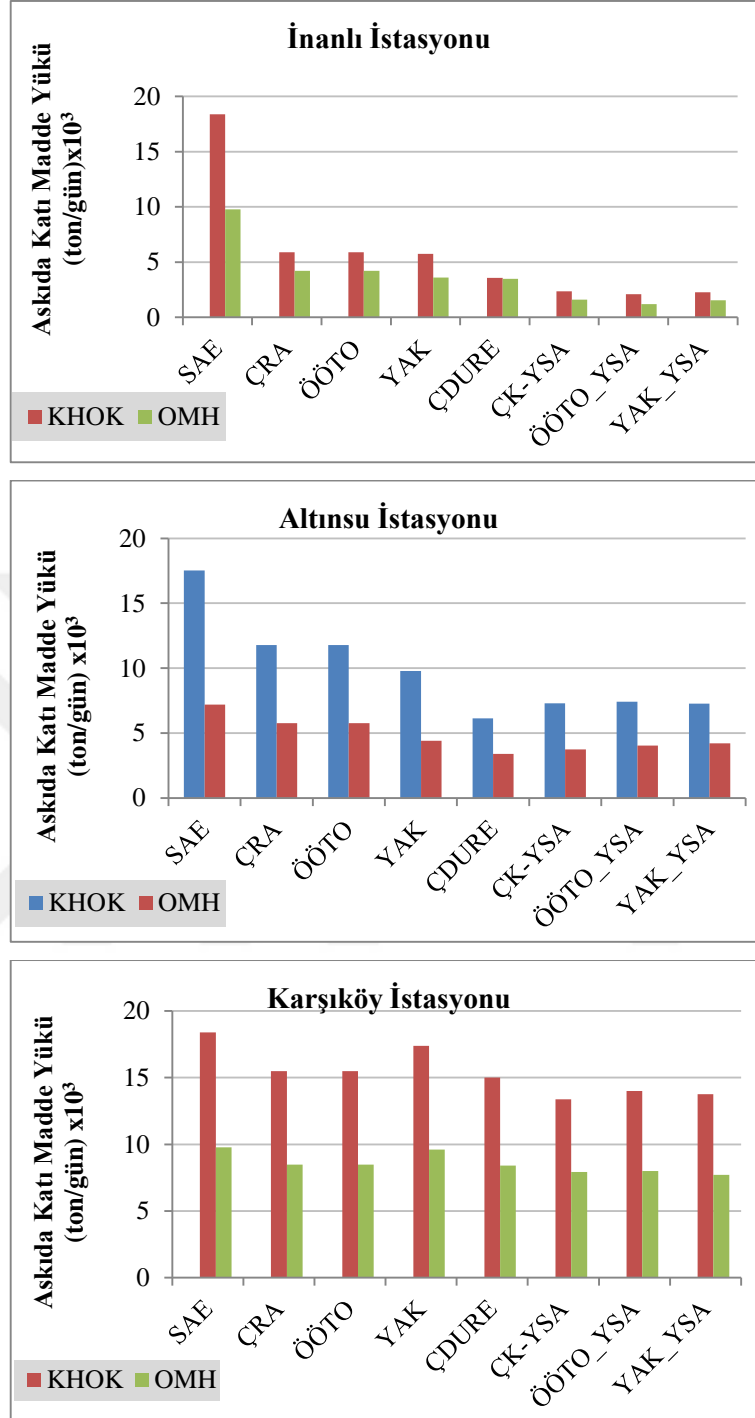
Tablo 3.27’de ise tüm modellerin determinasyon katsayısına, KHOK ve OMH değerlerine ve tahmin denklemlerine yer verilmiştir.

Tablo 3.27. Karşıköy İstasyonu’na ait tüm modellerin sonuçları

Modeller	R ²	KHOK(ton/gün)	OMH (ton/gün)	Denklem
SAE	0,4831	18391,98	9784,55897	$y=0,4766x+8448,8$
ÇRA	0,5693	15482,09	8484,318	$y=0,7341x+6003$
ÇDURE	0,5426	14998,62	8399,655	$y=0,5562x+6427,4$
YAK	0,5054	17390,67	9610,783	$y=0,7325x+6910,9$
ÖÖTO	0,5694	15473,22	8480,185	$y=0,7334x+6004,5$
ÇK-YSA	0,6383	13379	7935,7	$y=0,56157x+6274,9$
ÖÖTO_YSA	0,6143	13987,97	7993,955	$y=0,6793x+6290,1$
YAK_YSA	0,6188	13762,94	7716,303	$y=0,6696x+4920,5$

Tüm bu şekil ve tablolara dayanarak en iyi tahmin, 13379 ton/gün KHOK ve 7935,7 ton/gün OMH değerleriyle ÇK-YSA modelinden elde edilmiştir. En kötü model ise hata oranlarının en yüksek olduğu SAE modeli olarak gözlemlenmiştir.

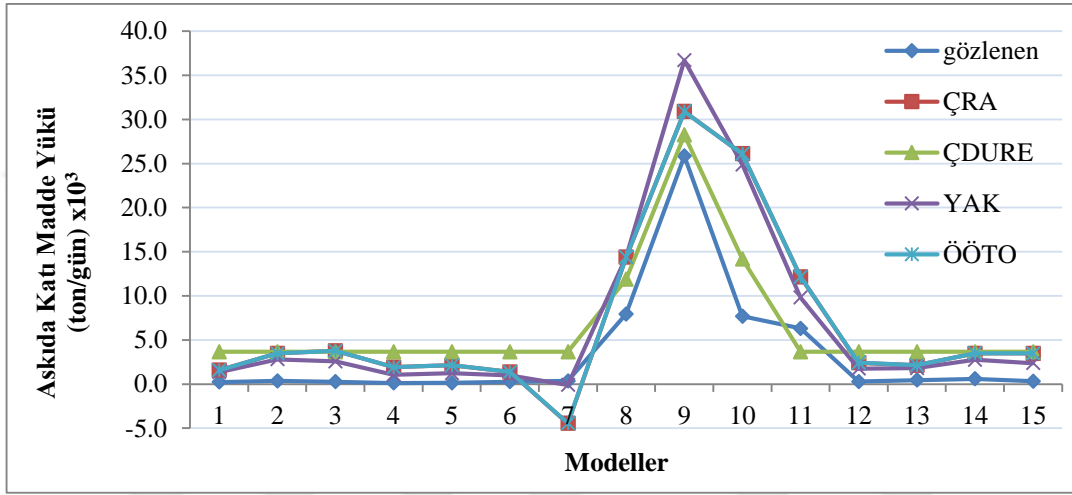
Şekil 3.55’te tüm istasyonlara ait tüm model sonuçlarından elde edilen KHOK ve OMH değerleri görülmektedir.



Şekil 3.55. Tüm istasyonlar ait KHOK ve OMH değerleri

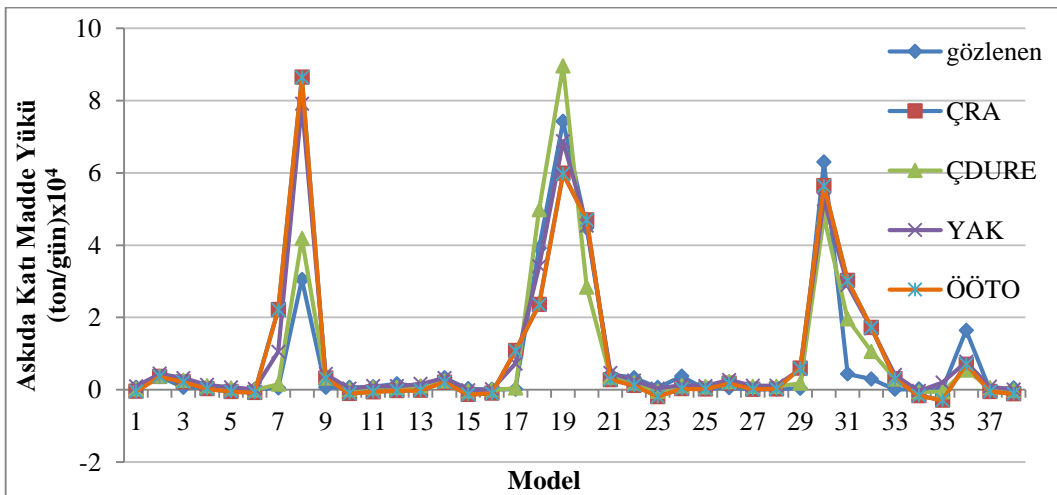
3.4. İstasyonlara Ait Tüm Regresyon Modellerinin Karşılaştırılması

İnanlı İstasyonu'na ait regresyon modelleri incelendiğinde YAK modelinin ÇRA modeline göre gözlenen değerlere daha yakın değerler elde ettiği görülmüştür. Fakat Şekil 3.56'dan da görüldüğü üzere tüm regresyon modelleri içerisinde en başarılı model ÇDURE modeli olarak seçilmiştir.



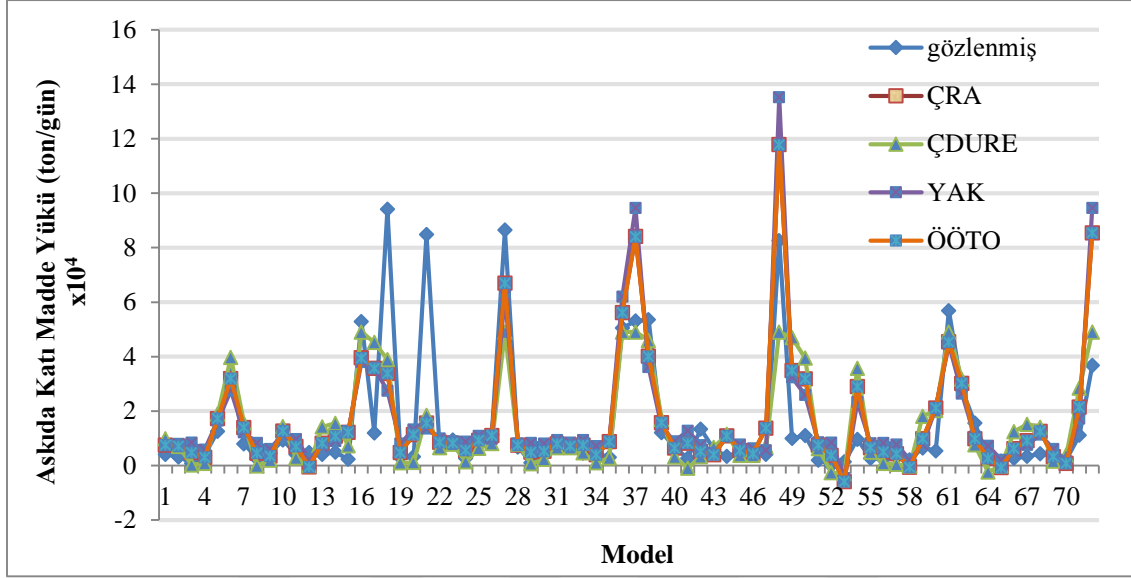
Şekil 3.56. İnanlı İstasyonu'na ait tüm regresyon modelleri

Altınsu İstasyonu'na ait regresyon modelleri Şekil 3.57'den görüldüğü üzere YAK modeli ÇRA ve ÖÖTO modellerinden daha başarılı sonuç vermiştir. En başarılı regresyon metodu ise ÇDURE modeli olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 3.57 Altınsu İstasyonu'na ait tüm regresyon modelleri

Karşıköy İstasyonu'nda ise ÖÖTO modeli ÇRA modelinden, ÇDURE modeli ise tüm regresyon modellerinden daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Şekil 3.58'de bu istasyona ait tüm regresyon sonuçları görülmektedir.



Şekil 3.58. Karşıköy İstasyonu'na ait tüm regresyon modelleri

4. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışmasında Çoruh Nehri Havzası'nda bulunan İnanlı, Altınsu ve Karşıköy istasyonlarına ait askıda katı madde yükü, regresyon analizleri, yapay sinir ağları ve sediment anahtar eğrisi ile modellenmiş, istasyonlar için en iyi model belirlenmeye çalışılmıştır. Belirli kriterlere göre seçilmiş olan bu 3 istasyonda katı madde tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Askıda katı madde yükü tahmin modelleri için öncelikle girdi değişkenleri belirlenmiştir. Veri anormallikleri giderildikten sonra veriler regresyon modellerinde eğitim ve test, yapay sinir ağları ile kurulan modellerde ise eğitim, doğrulama ve test olmak üzere kümelere ayrılmışlardır. Her bir modeldeki eğitim kümesinde en iyi performansı veren denklem test kümesi için de uygulanmıştır.

Regresyon analizinin performansını değerlendirmek ve kıyas yapabilmek amacıyla en iyi denkleme ulaşma yolunda YAK ve ÖÖTO algoritmaları da kullanılmıştır. 4 farklı denklem regresyon analizlerinde uygulanarak en düşük hata değerlerini veren denklemin katsayıları esas alınarak sonuçlara ulaşılmıştır. YAK ve ÖÖTO algoritmalarının yanısıra ÇDURE yöntemi de tüm istasyonlar için kullanılmış ve genel olarak askıda katı madde yükü tahmini konusunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre klasik regresyon analizi ile YAK, ÖÖTO ve ÇDURE modelleri kıyaslanmıştır.

Çalışmada ayrıca YSA ile modeller geliştirilerek elde edilen hata değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Geri yayılım algoritması ile eğitilen klasik ÇK-YSA yapısının yanında, YAK ve ÖÖTO algoritmaları da ağ eğitiminde kullanılmış, bu yöntemler YAK-YSA ve ÖÖTO-YSA olarak adlandırılmıştır. 3 farklı şekilde eğitilmiş YSA modelleri de kendi aralarında ve tüm yöntemler ile karşılaştırılmıştır.

Askıda katı madde yükü tahmini için 2335 No'lu İnanlı İstasyonu'nda anahtar eğrisi modelinin en kötü, ÖÖTO-YSA modelinin ise en iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. ÖÖTO-YSA modeli KHOK ve OMH kriterlerini göre en düşük hatayı vermiştir. 2322 No'lu Altınsu İstasyonu'nda ise en iyi sonuca ÇDURE modeli ile yapılan tahminde ulaşılmıştır. YAK-YSA, ÇK-YSA ve ÖÖTO-YSA modellerinden daha yüksek determinasyon katsayısı ve daha düşük KHOK değeri ile daha başarılı olmuştur. 2315 No'lu Karşıköy İstasyonu'nda ise diğer istasyonlara kıyasla çok iyi bir tahminde

bulunulamadığı görülmüştür. Bu istasyon için tahmin konusunda istenilen düzeyde başarı sağlanamamış olsa da en iyi model ÇK-YSA olarak gözlemlenmiştir.

Akarsuyun herhangi bir t zamanında taşıdığı katı madde miktarının sadece o andaki hidrolojik şartlarla değil (t-1) zamanlı gecikmiş etkilerle de ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Anahtar eğrisi yönteminde sadece t anındaki veriler dikkate alınıp(t-1) zamanlı gecikmiş etkenlerin etkisi göz ardı edildiğinden dolayı tüm istasyonlarda yeterli başarı elde edilememiştir. Buna karşın yapay zeka yöntemlerinde ve regresyon analizlerinde (t-1) anındaki verilerin de dikkate alınmasıyla girdi ve çıktı verileri arasında daha kuvvetli tahminler yapılabilmektedir.

Çalışmanın genelinde tüm istasyonlar için kurulan modellerde yapay zeka yöntemlerinin askıda katı madde davranışını yansıtmaya ve pik değerleri tahmin edebilme konusunda anahtar eğrisi ve regresyon analizi yöntemlerinden daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. ÇRA yanısıra YAK algoritmasının ve YAK-YSA modelinin de katı madde tahmini konusunda kullanılabilirliği sonucuna ulaşılmıştır. Altınsu ve İnanlı istasyonlarında YAK modelinin ÇRA modelinden, YAK-YSA modelinin ise ÇK-YSA modelinden daha düşük hata değerlerine sahip olduğu görülmüştür. ÇDURE modelinin ise askıda katı madde konusunda tüm regresyon analizlerinin içerisinde 3 istasyon için de en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Tüm istasyonlardan elde edilen en başarılı determinasyon denklemleri sırasıyla İnanlı İstasyonu'nda ÖÖTO-YSA, Altınsu İstasyonu'nda ÇDURE ve Karşıköy İstasyonu'nda ÇK-YSA modeli ile elde edilmiştir. Bu denklemler; $y = 0,795x + 732$, $y = 0,9938x + 599,93$ ve $y = 0,5616x + 6274,9$ şeklindedir. Denklemlerdeki x değeri gözlenen değerleri, y değeri gözlenen değerlere karşı tahmin edilecek değerleri göstermektedir.

5. ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada anahtar eğrisi de dahil olmak üzere askıda katı madde yükü tahmini için 8 ayrı yöntem kullanılmıştır. Bu modeller tahmin konusunda başarılı bir şekilde uygulansa da, modellemeye dayalı olan çalışmalarda başarıyı arttıran en önemli etken verilerin sık aralıklarla, düzenli olarak ve eksiksiz bir şekilde ölçülmesidir. Havzaya gelecek olan büyük yağışlar sonrasında da debi ve askıda katı madde ölçümlerinin gerçekleştirilmesi, alanda yapılacak olan su yapıları için sediment konusunda büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde EİE kurumu tarafından yapılan ölçümler her ayın bir günü olarak gerçekleştirilmektedir. Eksiksiz ve daha sık yapılacak olan gözlemlerin modellerin tahminleme konusundaki başarısını arttıracığı göz ardı edilmemelidir.

Literatür taranırken daha önce yapılmış olan çalışmalarda katı madde tahminlerini etkileyen en önemli parametrenin akım olduğu görülse de, bağımsız değişken sayısını arttırabilmek mümkündür. Örneğin bu çalışma için Çoruh Havzası bazında yağış verilerinden yararlanılıp yararlanılamayacağı konusunda ön çalışma yapılmıştır. EİE'den temin edilen akım ve askıda katı madde verilerinin yanısıra DMI'den de yağış verileri sağlanmaya çalışılmıştır. Havza bazında yağışı modellere yansıtabilmek için Thiessen Çokgenlerinden faydalanılmış, fakat Çoruh Havzası gibi geniş bir alana yayılmış çalışma bölgesini tam anlamıyla temsil edebilmek için 53 adet yağış istasyonuna ait ortak yılları kapsayan ölçümlere ihtiyaç duyulmuştur. Debi ölçümleri yapılırken katı madde ölçümleri de yapıldığından ancak 53 adet istasyona ait aynı zaman aralıklarında ölçülmüş yağış verilerinin yokluğundan dolayı çalışmada debi ve askıda katı madde verilerinden yararlanılmıştır. Başka çalışma alanlarında yağış faktörü hatta kar erimesi sebebiyle akışa geçecek olan su miktarı da göz önünde bulundurulabilir.

Çoruh Nehri Havzası'nda 3 ayrı istasyonda çalışılmış olan askıda katı madde yükü tahmininde klasik regresyon analizi, yapay arı kolonisi algoritması, öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri ve farklı ağ eğitimleri ile oluşturulmuş yapay sinir ağları yöntemleri kullanılmıştır. Bunlara ek olarak yine bu istasyonlarda genetik programlama, destek vektör makineleri ve diferansiyel evrim algoritması gibi yöntemler de kullanılabilir ve elde edilen sonuçlar değerlendirilebilir.

Havza alanında bulunan ve tahmin modelinde kullanılacak kadar veri sayısına sahip olan diğer akım gözlem istasyonlarında da bu yöntemlerle ya da daha farklı esnek hesaplama yöntemleri ile çalışmalar yapılabilir.



6. KAYNAKLAR

- Akay, B. 2009. Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının performans analizi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Alışık, A. 1995. Sediment taşınımı ve ölçüm metodları. EİE, Hidrolik Etütler Dairesi Sediment Etütleri Şubesi Müdürlüğü.
- Alp, M. ve Cıgızoğlu H. K., 2007. Suspended sediment load estimation by two artificial neural network methods using hydrometeorological data. Environmental Modelling & Software, 22, 2-13.
- Anılan, T. 2014. Doğu Karadeniz Havzası'nın L-Momentlere Dayalı Taşkın Frekans Analizinde Yapay Zeka Yöntemlerinin Uygulanması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- ASCE, 2000a. Task Committee on application of artificial neural networks in Hydrology, Artificial neural networks in hydrology, I: Preliminary concepts. Journal of Hydrologic Engineering, 5, 2, 115-123.
- ASCE, 2000b. Task Committee on application of artificial neural networks in Hydrology, (Artificial neural networks in hydrology, II: Hydrologic applications. Journal of Hydrologic Engineering, 5, 2, 124-13.
- Bayazıt, M., 1971. Hareketli tabanlı akımların hidroloji, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M., 2000. Hidroloji, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bayram, A., Kankal, M. ve Önsöy, M. 2012. Estimation of suspended sediment concentration from turbidity measurements using artificial neural networks, Environmental Monitoring and Assessment 184, 7, 4355-4365.
- Bayram, A. ve Kenanoğlu, M. 2016. Variation of total suspended solids versus turbidity and Secchi disk depth in the Borçka Dam Reservoir, Çoruh River Basin, Turkey, Lake and Reservoir Management 32,3, 209-221.
- Bhattacharya, B., Price, R. K. ve Solomatine, D. P., 2005. Data-driven modelling in the context of sediment transport. Physics and Chemistry of the Earth 30, 297302
- Berkün, M., 2005. Su Kaynakları Mühendisliği, Birsen Yayınevi, Trabzon.
- Berkün, M., Anılan, T. ve Aras, E. 2010 Doğu Karadeniz Bölgesinde Sediment Taşınması ve Kıyı Erozyonu Etkileşimleri, TMH Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 461-462,47-52.

- Berkün, M. ve Aras, E., 2012. River Sediment Transport and Coastal Erosion in The Southeastern Black Sea Rivers, Journal of Hydrology and Hydromechanics, 60, 4, 299-308.
- Berkün, M., Aras, E. ve Akdemir, Ü.Ö., 2015. Water Runoff, Sediment Transport and Related Impacts In The Southeastern Black Sea Rivers, Environmental Engineering and Management Journal, 14, 4, 781-791.
- Cıgızoğlu, H. K., 2002. Suspended sediment estimation for rivers using artificial neural networks and sediment rating curves. Turkish j. Eng. Env.Sci, 26, 27-36.
- Cıgızoğlu, H. K., 2004. Estimation and forecasting of daily suspended sediment data by multilayer perceptrons. Advances in Water Resources, 27, 185-195.
- Cıgızoğlu, H. K. ve Kişi, Ö., 2006. Methods to improve the neural network performance in suspended sediment estimation. Journal of Hydrology, 317, 221238.
- Çobaner, M., Ünal, B., ve Kişi, Ö., 2009. Suspended sediment concentration estimation by an adaptive neuro-fuzzy and neural network approaches using hydro-meteorological data, Journal of hydrology 367, 1, 52-61.
- Doğan, E., Yüksel, D. ve Kisi, Ö., 2007. Estimation of total sediment load concentration obtained by experimental study using artificial neural networks. Environmental Fluid Mechanics, 7, 4, 271-288.
- DuBoys, M. P., 1879. Le Rhône et les rivières à lit affouillable. Annals de Ponts et Chaussées, Section 5 , 18, 141–195.(In French.)
- DSİ, 2007. Sediment Transport Technology, Post Graduate Course Book, Ankara: DSİ Matbaası.
- Ebtehaj, I., Bonakdari, H., Shamsirband, S. ve Kasra, M., 2016. A combined support vector machine-wavelet transform model for prediction of sediment transport in sewer, Flow Measurement and Instrumentation, 47, 19-27.
- Erkek, C. ve Ağırlioğlu, N., 2002. Su kaynakları Mühendisliği, Beta Yayınevi, İstanbul
- EİE, 2005. Elektrik İşleri İdaresi Genel Müdürlüğü, Türkiye Sularında Süspanse Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınımı, EİE Matbaası, Ankara.
- Einstein, H. A, 1950. The bed-load function for sediment transportation in open channel flows. Technical Bulletin 1026 , U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- Fedakar, H. İ., 2012. Doğal akarsularda taşınan askıda katı madde konsantrasyonunun bulanık genetik yaklaşımı ile modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Frijlink, H. C., 1952. Discussion des formules de debit solide de Kalinske, Einstein et Meyer-Peter et Mueller compte tenue des mesures récentes de transport dans les rivières Néerlandaises. 2me Journal Hydraulique, Sec. Hydraulique de France, Grenoble , 98–103 (in French).
- Garde, R.J. ve Raju, K.G.R., 1987. Mechanics of Sediment Transport and Alluvial Stream Problems. John Wiley&Sons; Inc., ISBN-0-470-20109-6, India.
- Güldal , V., 1997. Akarsu Askı Maddesi Debisi Tahmini İçin Nonlineer Bir Sistem Modeli, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güven, A. ve Kişi, Ö., 2011. Estimation of suspended sediment yield in natural rivers using machine-coded linear genetic programming, Water Resour Manage25,691–704,7.
- Harrington S. T. ve Harrington J. R. 2013. An assessment of the suspended sediment rating curve approach for load estimation on the Rivers Bandon and Owenabue, Ireland, Geomorphology, 185, 27-38.
- Jain, S. K. 2001. Development of integrated sediment rating curves using ANN's. Journal of Hydraulic Engineering, 127, 1, 30-37.
- Kalinske, A. A. 1947. Movement of sediment as bed-load in rivers, Transactions of the American Geophysical Union , 28, 4, 310–317.
- Kankal, M., 2010. Liman İçi Çalkantılarının Fiziksel ve Sayısal Modellenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kişi, Ö., Haktanır, T., Ardiçlioğlu, M., Öztürk, Ö., Yalçın, E. ve Uludağ, S., 2008. Doğalakarsularda taşınan katı madde miktarının bulanık-yapay sinir ağı (fuzzy-neuro) yaklaşımı ile modellenmesi, proje no:106Y191, Ankara.
- Kişi, Ö., Karahan M.E. ve Şen, Z., 2003. Nehirlerdeki Askı Maddesi Miktarının Bulanık Mantık ile Modellenmesi. İTÜ Dergisi, 2, 34, 43-54.
- Kisi. O., 2004a. Daily suspended sediment modelling using a fuzzy differential evolution approach, Hydrol. Sci. J., 49, 1,183-197.
- Kisi, O., 2004b. Multi-layer perceptrons with Levenberg- Marquardt optimization algorithm for suspended sediment concentration prediction and estimation. Hydrol. Sci. J., 49, 6, 1025-1040.
- Kişi, Ö., 2005. Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches. Hydrological Sciences Journal, 50, 4, 683-696.
- Kişi, Ö., 2008. Constructing neural network sediment estimation models using a data-driven algorithm, Mathematics and Computers in Simulation, 79,94–103.
- Kişi, Ö., 2009. Evolutionary fuzzy models for river suspended sediment concentration estimation, Journal of Hydrology , 372, 68–79.

- Kişi, Ö., Haktanir T., Ardiçlıoğlu, M., Öztürk, Ö., Yalçın, E. ve Uludağ S. 2009. Adaptive neuro-fuzzy computing technique for suspended sediment estimation, Advances in Engineering Software, 40, 2009, 438–444.
- Kişi, Ö. ve Güven, A. 2010. A machine code-based genetic programming for suspended sediment concentration estimation, Advances in Engineering Software, 41939-945.
- Kişi, Ö., 2010. River suspended sediment concentration modeling using a neural differential evolution approach, Journal of Hydrology, 389, 227–235.
- Kişi, Ö., Özkan C. ve Akay, B., 2012a. Modeling discharge–sediment relationship using neural networks with artificial bee colony algorithm, Journal of Hydrology, 428-429, 94-103.
- Kişi, Ö., Dailr, A. H., Çimen, M. ve Shiri. J. 2012b. Suspended sediment modeling using genetic programming and soft computing techniques. Journal of Hydrology, 450-451, 48-58.
- Kişi, Ö. ve Shiri. J., 2012. River suspended sediment estimation by climatic variables implication: Comparative study among soft computing techniques. Computers&Geosciences, 43, 73-82.
- Kişi, Ö., 2012. Modeling discharge-suspended sediment relationship using least square support vector machine. Journal of Hydrology, 456-457, 110-120.
- Kişi, Ö., Karahan M.E. ve Şen, Z., 2003. Nehirlerdeki Askı Maddesi Miktarının Bulanık Mantık ile Modellenmesi. İTÜ Dergisi, 2, 3, 43-54.
- Kişi, Ö. ve Parmar, K. S., 2016. Application of least square support vector machine and multivariate adaptive regression spline models in long term prediction of river water pollution Journal of Hydrology, 534104–112.
- Kohonen, T., 1988. An Introduction to Neural Computing: Neural Networks, 1, 3-6.
- Zounemat- Kermani, M., Kişi, Ö., Adamowski, J. ve Ramezani- Charmahineh, A., 2016. Evaluation of data driven models for river suspended sediment concentration modeling, Journal of Hydrology, 535, 457-472.
- Liu, Q-J., Shi, Z-H., Fang, N-F., Zhu, H-D. ve Ai, L. 2013. Modelling the daily suspended sediment concentration in a hyperconcentrated river on the Loess Plateau, China, using the Wavelet-ANN approach, Geomorphology, 186, 181-190.
- Lafdani, E. K., Nia, A. M. ve Ahmadi, A., 2013. Daily suspended sediment load prediction using artificial neural networks and support vector machines, Journal of Hydrology, 478, 50-62.
- Makarynsky, O., Makarynska, D., Rayson. M. ve Langtry, S. 2015. Combining deterministic modelling with artificial neural networks for suspended sediment estimates, Applied Soft Computing, 35, 247-256.

- Müftüoğlu, R.F, 1980. Akarsu Yapıları, Cilt 1, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Minarecioğlu N., 2008 Doğal akarsularda taşınan katı madde miktarının yapay zeka yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Meyer-Peter, E., and Müller, R. 1948. Formula for bedload transport. Proceedings of the 2nd Meeting of the IAHR, Stockholm, 39–64.
- Olive, L.J. ve Rieger, W.A. 1988. An examination of the role of sampling strategies in the study of the suspended sediment transport. Sediment Budgets, Proceedings of the Porto alegre Symposium. IAHS Publ. No. 174, 259-267.
- Öcal O., 2007. Yapay sinir ağları algortiması kullanılarak akarsu havzalarında yağış-akış-katı madde ilişkisinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Özbek, T. ve Özcan, Ç. 2001. Akarsularda katı madde, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.
- Öztemel, E, 2006. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 232s.
- Öztürk, F., 2002. Yüzey Akış ve Sediment Miktarının AGNPS Modeli ile Belirlenmesi. Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Ankara.
- Partal, T. ve Cıgızoğlu, H. K., 2007. Estimation and forecasting of daily suspended sediment data using wavelet- neural networks, Journal of Hydrology 358, 317-331.
- Pernecker, L. ve Vollmers, H.,1965. Neue Betrachtungsmöglichkeiten des Feststofftransporters in offenen Gerinnen. Die Wasserwirtschaft, Stuttgart, 55, 12, 386-391.
- Rajae. T., Mirbagheri, S. A., Kermani, M.Z. ve Nourani, V., 2009. Daily suspended sediment concentration simulation using ANN and neuro-fuzzy models, Science of the Total Environment 407, 4916–49.
- Rajae, T., 2011. Wavelet and ANN combination model for prediction of daily suspended sediment load in rivers, Science of the Total Environment, 409, 2917-2928.
- Rao, R.V., Savsani, V.J., ve Vakharia, D.P. 2011. Teaching-learning based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems. Computer-Aided Design, 43, 303-315.
- Rao R.V ve Patel V. 2012. An Elitist Teaching-Learning-Based Optimization Algorithmfor Solving Complex Constrained Optimization Problems, International Journal of Industrial Engineering Computations, 535-560.
- Rinjn,L.C., 1984. Sediment Transport, Journal ofHydraulic Engineering,110, 10,14311456.

- Samaga, B., Ranga Raju, K., ve Garde, R. 1986. Suspended Load Transport Rate of Sediment Mixture, Journal of Hydraulic Engineering, 112.
- Satapathy, S. C. ve Naik, A., 2011. Data clustering based on teaching-learning-based optimization. In: B.K. Panigrahi et al. (Eds.), SEMCCO 2011, Part II, LNCS 7077, 148-156
- Schoklitsch, A., 1934. Der Geschiebetrieb und die Geschie - befracht. Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 29, 4, 37-43 (in German).
- Sevim, Ö., Sönmez, M. ve Sezer, R. 2014. Yapay Arı Koloni Algoritması ile Uzay Çelik Yapıların Optimum Tasarımı, 2nd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering and Science, 488-497, Karabük.
- Shields, A. 1936. "Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und Turbulenz forschung auf die Geschiebebewegung." Mitteil. Preuss. Versuchsanst. Wasser, Erd, Schiffsbau, No. 26, Berlin (in German).
- Simons, D.B. ve Şentürk, F., 1992. Sediment transport technology, Water and Sediment Dynamics, Water Resources Publications, Colorado, USA
- Şahin, Y., 2006. Gediz Nehri Orta Kısımında Sediment Taşınımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Şentürk, F. 1969. Nehir hidroliği, Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü, yayın no:660. Grup no:X, özel no:64.
- Şentürk F., 1999. Bir Akarsuyun Taşıdığı Askıdaki Sediment Miktarının Pratik Yoldan Hesaplanması DSİ Teknik Bülteni 94.
- Tayfur, G., 2002. Artificial neural networks for sheet sediment transport, Hydrological Sciences Journal 47, 6, 879-892.
- Tayfur, G. ve Güldal, V., 2006. Artificial Neural Networks for estimating daily total suspended sediment in natural streams. Nordic Hydrology 37, 1, 69-79.
- Togan, V., 2012. Design of planar steel frames using teaching-learning based optimization, Engineering Structures, 34, 225-232.
- Toprak, S., 2011. Çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri ve konik programlama ile zaman serilerinin modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- URL-1 https://tr.wikipedia.org/wiki/Doğrusal_olmayan_regresyon 15.02.2016
- URL-2 Eripek, O., Yapay arı kolonisi algoritması, http://www.slideshare.net/Orhan_Eripek/yapay-ar-kolonisi-algoritmas 15.03.2016.
- URL-3 https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87oruh_Nehri 18.02.2016

- Uzlu, E., Kankal, M., Akpınar, A. ve Dede, T., 2014. Estimates of Energy Consumption in Turkey Using Neural Networks with the Teaching-Learning-Based Optimization. Energy, 75, 295-303.
- Ülke, A., Tayfur, G. ve Özkul, S. 2009. Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz River, Turkey. Journal of Hydrologic Engineering ASCE, 14, 9, 954-965.
- Ülke, A., 2010. Ege Bölgesi doğal akarsularında katı madde taşınımı için ampirik, regresyon ve yapay zeka yöntemlerinin uygulanması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yerlikaya, F., Weber, G-W., Taylan, P., Batmaz, İ. ve Köksal, G., 2008. Mars Algoritmasında Tikhonov Düzenlemesi ve Çok Amaçlı Optimizasyon Kullanımı, Institute of Applied Mathematics, Metu.
- Yitian, L. ve Gu, R.R., 2003. Modeling flow and sediment transport in a river system using an artificial neural network. Environmental Management, 31, 1, 122-134,
- Yüksel, İ., 2000. Akarsularda askı ve sürüntü maddesi miktarlarının hesaplanarak, toplam katı maddesinin tayini, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Zanke, U., 1978. Zusammenhänge Zwischen Strömung and Sediment Transport, Mitt. Des Franzius – Instituts der Univ. Hannover, Nr. 47, Nr. 48, German.
- Zanke, U., 1982. Grundlagen der Sedimentbewegung. Springer, Berlin Heidelberg New York, 402.
- Wu, W., Wang, S.Y., ve Yafei, J., 2000. Nonuniform Sediment Transport in Alluvial Rivers, Journal of Hydraulic Research, 38.

7. EKLER

Ek 1. İnanlı İstasyonu'na ait ÇRA modelinden elde edilen denklem katsayıları

	$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$			
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	-2463,665	20,8	-4424137,266	-1905,779
b ₁	-15,073	-0,207	15,302	-100,7278
b ₂	114,981	1,174	-3,367*10 ⁻⁶	202,796
b ₃	0,102	0,182	2,58*10 ⁻⁵	0,0142
b ₄			2,308*10 ⁻⁸	0,1778
b ₅				4,718*10 ⁻⁴
b ₆				0,001095
b ₇				0,085315
b ₈				-0,31515
b ₉				-2,75789*10 ⁻⁶

Ek 2. Altınsu İstasyonu'na ait ÇRA modelinden elde edilen denklem katsayılar

	$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$			
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	-8197,154	1,148	-28171,267	-4220,867
b ₁	-57,386	-0,626	10,194	9,5578
b ₂	191,788	2,251	-0,0013	58,316
b ₃	0,14	0,07	0,0034	-0,14747
b ₄			2,016*10 ⁻⁶	-0,514
b ₅				-0,0014
b ₆				6,056*10 ⁻⁴
b ₇				0,26
b ₈				0,419
b ₉				3,34*10 ⁻⁶

Ek 3. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇRA modelinden elde edilen denklem katsayılar

	$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$			
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	-6876,081	6,64978	-34567,854	2955,971
b ₁	-8,923	-0,0435	10,393	-74,507
b ₂	140,55	1,499	3,22*10 ⁻⁵	58,677
b ₃	-0,02	0,0089	0,002	0,602
b ₄			-1,023*10 ⁻⁶	0,027
b ₅				4,118*10 ⁻⁴
b ₆				-3,166*10 ⁻⁴
b ₇				0,04
b ₈				0,157
b ₉				-5,569*10 ⁻⁶

Ek 4. İnanlı İstasyonu'na ait YAK modelinden elde edilen denklem katsayıları

	$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$			
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	0,0444	0,7142	-3,1475	0,0229
b ₁	-0,0787	-0,1996	1,1634	-0,1473
b ₂	0,6006	0,8272	-0,0248	0,8448
b ₃	0,102	0,2364	0,1676	0,0869
b ₄			0,0368	0,5402
b ₅				-0,3916
b ₆				0,4232
b ₇				0,0112
b ₈				-0,6375
b ₉				-0,0018

Ek 5. Altınsu İstasyonu'na ait YAK modelinden elde edilen denklem katsayılar

	$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$			
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	0,0274	0,5163	-0,0128	0,0606
b ₁	-0,1707	-0,3232	-2,3953	0,1016
b ₂	0,5708	1,0817	-1,0182	0,0672
b ₃	0,1403	0,1154	2,5855	0,1689
b ₄			0,5119	-0,8193
b ₅				-0,7682
b ₆				0,4517
b ₇				0,2695
b ₈				0,8136
b ₉				0,211

Ek 6.Karşıköy İstasyonu'na ait YAK modelinden elde edilen denklem katsayılar

	$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$			
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	0,0239	0,6682	-0,1036	0,1252
b ₁	-0,0447	-0,0746	-1,7463	-0,5006
b ₂	0,7044	0,9784	0,0253	-0,2429
b ₃	-0,0199	0,0207	1,9384	0,8728
b ₄			-0,1728	0,5685
b ₅				0,5826
b ₆				-0,2078
b ₇				-0,0245
b ₈				1,0606
b ₉				-1,1734

Ek 7. İnanlı İstasyonu'na ait ÖÖTO modelinden elde edilen denklem katsayılar

	$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$			
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	0,0444	0,7142	-4,1376	0,0587
b ₁	-0,0787	-0,1996	1,4318	-0,5771
b ₂	0,6006	0,8272	-0,0168	1,0449
b ₃	0,102	0,2364	0,1336	0,0392
b ₄			0,022	0,4442
b ₅				0,2257
b ₆				0,5238
b ₇				0,2132
b ₈				-0,7874
b ₉				-0,2526

Ek 8. Altınsu İstasyonu'na ait ÖÖTO modelinden elde edilen denklem katsayılar

	$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$			
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	0,0274	0,5161	-0,0091	0,0907
b ₁	-0,1708	-0,3253	-2,4276	0,1382
b ₂	0,5708	1,0825	-1,0343	0,0776
b ₃	0,1403	0,1164	2,6226	-0,2773
b ₄			0,5215	-1,1788
b ₅				-1,1077
b ₆				0,4663
b ₇				0,5951
b ₈				0,9596
b ₉				0,8651

Ek 9. Karşıköy İstasyonu'na ait ÖÖTO modelinden elde edilen denklem katsayılar

$y_{\text{doğrusal}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$ $y_{\text{üs}} = b_0 * x_1^{(b_1)} * x_2^{(b_2)} * x_3^{(b_3)}$ $y_{\text{üstel}} = b_0 + e^{(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + \dots + b_m * x_{m-1})}$ $y_{\text{kuadratik}} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_1 + b_8 x_2 x_2 + b_9 x_3 x_3$				
	Doğrusal Fonksiyon	Üs Fonksiyon	Üstel Fonksiyon	Kuadratik Fonksiyon
b ₀	0,0239	0,668	-0,1027	0,0553
b ₁	-0,0447	-0,774	-1,7518	-0,4343
b ₂	0,7044	0,9783	0,0277	0,2387
b ₃	-0,0199	0,0202	1,9451	0,7866
b ₄			-0,1753	0,1153
b ₅				0,3536
b ₆				-0,2719
b ₇				0,1723
b ₈				0,6749
b ₉				-0,9541

Ek 10. Tüm istasyonlara ait doğrulama kümelerinin hata değerleri

İstasyonlar	YSA modelleri	KHOK (ton/gün)	OMH(ton/gün)
İNANLI	ÇK-YSA	21301	12286
	YAK-YSA	21872,6907	13276,9882
	ÖÖTO-YSA	22776,4171	13259.88
ALTINSU	ÇK-YSA	11228	5568,4
	YAK-YSA	10901,5686	6066,3597
	ÖÖTO-YSA	11112,0988	6122
KARŞIKÖY	ÇK-YSA	21056,87	9990,3
	YAK-YSA	22525,386	11074,8721
	ÖÖTO-YSA	22473,829	11376

Ek 11. İnanlı İstasyonu'na ait ÇK-YSA analizlerinden elde edilen doğrulama ve test kümesi hata değerleri

İnanlı İstasyonu								
			Doğrulama kümesi			Test kümesi		
AES	ÖK	MK	RH	OMH	KHOK	RH	OMH	KHOK
5	0.1	0.1	224,599	9749,1	20803	888,9482	2784,2	2977,7
		0.5	102,3949	12607	22501	207,656	1756,2	2761
		1.0	394,9002	13217	21756	1051,2	3490,4	3793,5
	0.5	0.1	174,8433	10196	18164	287,6295	3463,3	6175,3
		0.5	229,5852	12928	21629	470,379	4140,1	6803,5
		1.0	234,0914	12208	21411	1018,2	3282,3	3497,8
	1.0	0.1	280,8492	10721	20821	850,0121	3003,1	3442,4
		0.5	227,2153	1140,3	19674	456,7876	3849,9	6256,2
		1.0	154,9297	9658,9	19615	410,306	2340,5	3520,2
10	0.1	0.1	378,9858	12263	20195	715,1877	3625,1	4667,2
		0.5	244,0552	10927	17930	490,9963	3680,6	6069,8
		1.0	350,9552	11962	19222	736,8607	5042,5	7308,4
	0.5	0.1	490,458	13313	21044	1501,4	5062,9	5559,9
		0.5	224,2283	12727	21869	1100,8	3485,9	3995,6
		1.0	322,949	11822	19947	442,3202	3200,6	4934,8
	1.0	0.1	173,9105	10403	19171	338,8636	2787,5	5007,3
		0.5	115,4195	12316	21895	78,9903	1344,9	2595,6
		1.0	245,2862	11486	19786	666,8679	4323,5	6310,1
15	0.1	0.1	202,623	10432	17909	232,1125	3176,9	6562,9
		0.5	677,8356	14682	19869	2749,1	10145	10433
		1.0	171,4464	10810	21200	922,1852	2987,4	3184,3
	0.5	0.1	303,5303	10605	18641	918,6239	4419,7	5570,1
		0.5	143,4925	11364	20477	224,6322	2134,9	4064,5
		1.0	233,3097	12635	20756	481,329	3310,4	4939,8
	1.0	0.1	255,4518	13552	23559	168,8118	2332	4075,1
		0.5	72,9912	12607	22635	177,0419	1412,4	2460,8
		1.0	206,0782	12286	21301	238,6385	1595	2364,1
20	0.1	0.1	302,6184	12084	20119	171,6395	2065,7	4334
		0.5	213,4581	12383	20800	548,3533	3729,4	5482
		1.0	176,5458	11923	20651	287,9424	3015,7	5233,1
	0.5	0.1	226,8608	11760	19778	790,1474	4609,7	6616,6
		0.5	240,324	11597	19356	593,0621	3845,1	6177,1
		1.0	311,7421	12126	19907	335,4165	2645,8	4852,6
	1.0	0.1	330,2684	12675	20975	975,2048	3726,9	4168,5
		0.5	187,8845	11933	20546	228,2899	2255,4	3913,1
		1.0	371,4053	11906	20381	1084,6	4148	4562,1

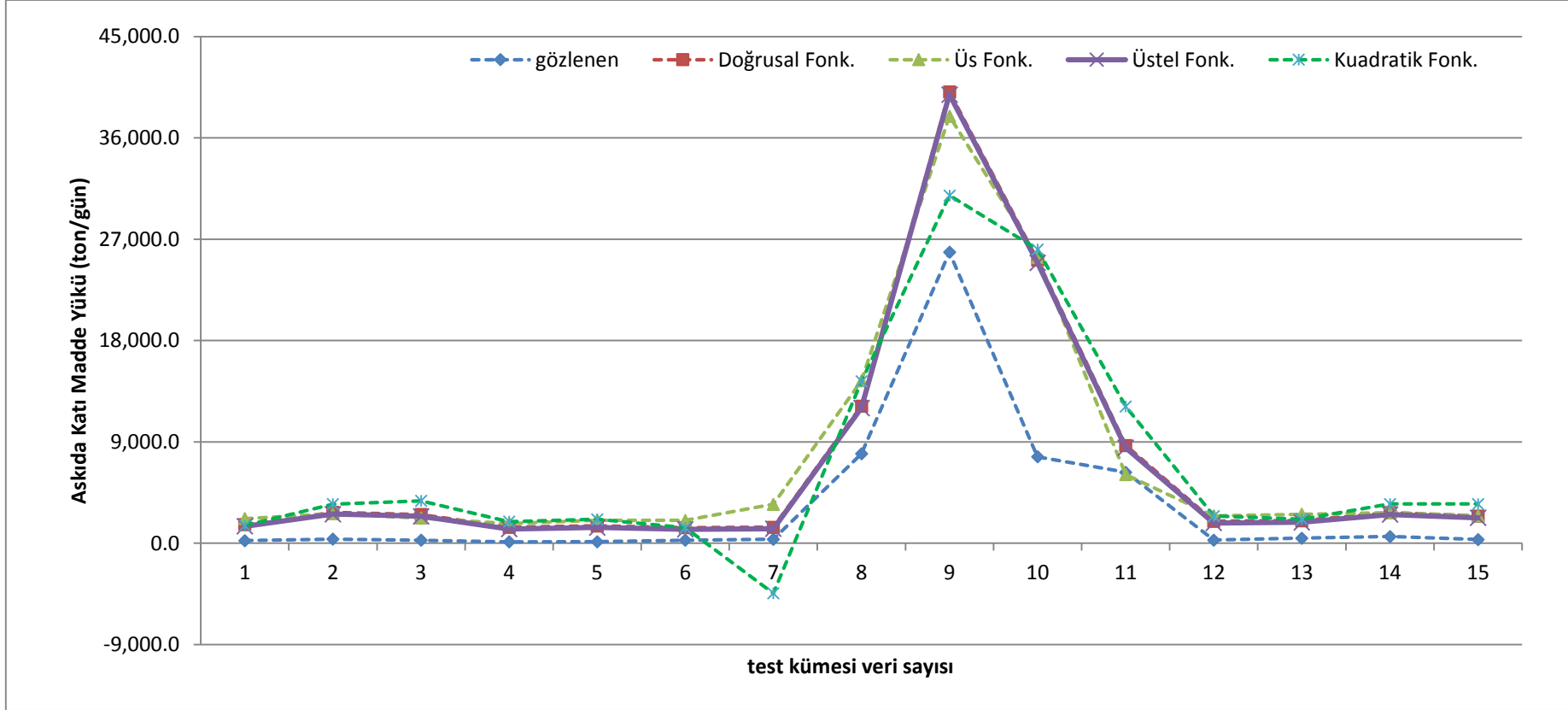
Ek 12. Altınsu İstasyonu'na ait ÇK-YSA analizlerinden elde edilen doğrulama ve test kümesi hata değerleri

Altınsu İstasyonu								
			Doğrulama kümesi			Test kümesi		
AES	ÖK	MK	RH	OMH	KHOK	RH	OMH	KHOK
5	0.1	0.1	4,64E+02	7,71E+03	1,36E+04	1,10E+03	6,20E+03	9,44E+03
		0.5	4,64E+02	7,71E+03	1,36E+04	1,10E+03	6,20E+03	9,44E+03
		1.0	4,50E+02	6450,3	11752	914,8337	5641,1	1,04E+04
	0.5	0.1	365,1255	6401,6	11455	681,9129	4639,9	8324,4
		0.5	1875,5	14008	20344	2653,7	14461	20659
		1.0	335,7174	5568,4	11228	371,2352	3755,9	7296,9
	1.0	0.1	351	5764,7	11046	515,164	3805,1	8155,4
		0.5	437,6972	6788,5	12317	799,1491	4899,1	9358,5
		1.0	266,2483	5693,7	11251	443,8006	4315,3	10310
10	0.1	0.1	328,6426	5863	11012	571,7395	4237,2	8079,7
		0.5	422,353	6626,4	11677	757,8031	5616,7	12667
		1.0	527,4245	6515,6	11466	1031,2	5652	10621
	0.5	0.1	844,036	7489,3	12748	1085,3	5361,2	8273,8
		0.5	523,8983	6511,5	10834	1067,2	5522,3	8774,9
		1.0	418,3246	6896,8	13320	596,18	5075,1	9721,4
	1.0	0.1	305,7186	6172,5	11608	647,7855	4950,7	10472
		0.5	334,6242	6030	11317	558,9583	4304,5	8188,6
		1.0	394,3283	6157,2	11804	569,7155	5474	13266
15	0.1	0.1	1975,2	10980	15008	2678,1	11370	14149
		0.5	294,9169	5727,2	10999	562,7002	4527,7	7465,5
		1.0	259,132	6985,4	13962	530,4007	6108,8	11659
	0.5	0.1	1303,8	10320	14346	1997,9	8029,5	11292
		0.5	289,1418	5360	10637	503,4986	4544,1	8472
		1.0	328,1079	5467,4	10736	497,232	4275,3	8704,1
	1.0	0.1	274,6499	6118,4	12405	428,6126	3524,4	7613,8
		0.5	630,2278	6762,7	11415	1158,4	6436,8	9172,4
		1.0	499,7618	8199,7	15666	1323	7784,5	13014
20	0.1	0.1	254,9784	5877,8	11400	428,7977	4311,7	7500,5
		0.5	398,64	7116,4	12443	609,9788	4525,2	9235,1
		1.0	263,4438	5490	11141	380,8201	3700,7	10043
	0.5	0.1	626,5485	6905,1	11573	1188,3	6169,5	10335
		0.5	220,3153	5978,8	12416	451,8016	4328,4	8998,5
		1.0	266,296	6500	13719	960,5303	6810,8	11988
	1.0	0.1	761,6936	7452,4	11936	1213,9	5850,7	9014,5
		0.5	322,4336	5948,1	11778	537,9317	4495,1	11171
		1.0	515,7678	6969,3	12357	1019	5504,5	9183,1

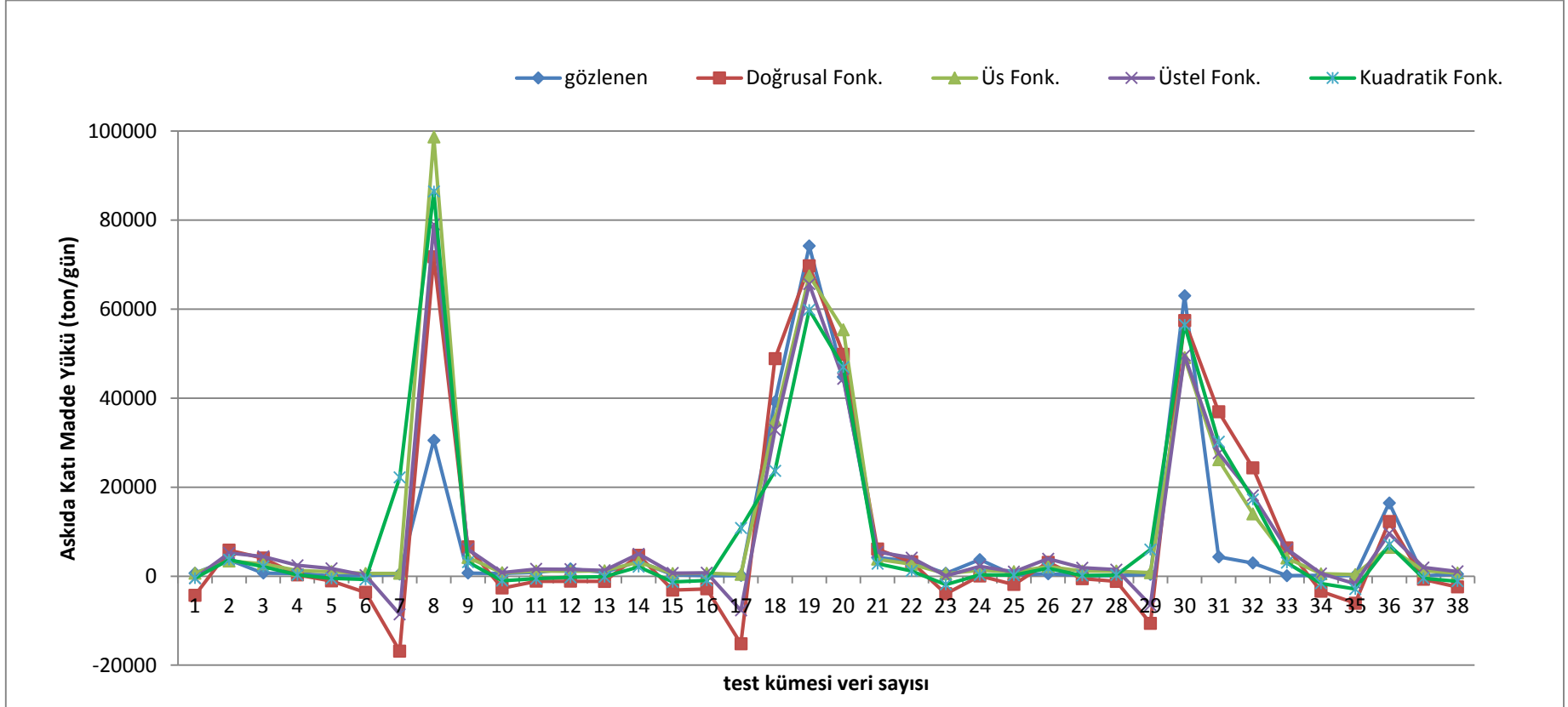
Ek 13. Karşıköy İstasyonu'na ait ÇK-YSA analizlerinden elde edilen doğrulama ve test kümesi hata değerleri

Karşıköy İstasyonu			Doğrulama kümesi			Test kümesi		
AES	ÖK	MK	RH	OMH	KHOK	RH	OMH	KHOK
5	0.1	0.1	91,8892	9931,5	22312	92,1947	7379,5	14430
		0.5	97,687	9940,1	22428	90,6781	7015,6	13943
		1.0	105,8332	10717	22349	106,7779	7303,1	13657
	0.5	0.1	106,6277	10730	22581	100,1846	7396,5	14089
		0.5	102,3276	9585,7	22458	103,7444	8638,1	17785
		1.0	190,0012	11978	25079	267,7484	12123	21657
	1.0	0.1	93,3353	10502	22397	93,3792	7263	13828
		0.5	110,164	11182	22546	109,2177	8525	15366
		1.0	79,5998	10326	23237	86,7165	8248,9	15911
10	0.1	0.1	113,7259	10465	22519	103,3789	8003,1	14782
		0.5	89,7424	10384	22565	87,8951	7671,4	14258
		1.0	100,5829	10144	22284	101,0997	7981	15216
	0.5	0.1	242,3248	11760	22868	330,9733	12228	18639
		0.5	88,3177	10049	21905	91,8857	7309,1	13913
		1.0	88,9962	9805	22523	105,9811	7005,5	14436
	1.0	0.1	110,9337	10214	22548	131,3748	8098,7	15709
		0.5	127,3037	9859,8	22514	151,1552	10719	20941
		1.0	112,1629	9746,2	22543	124,3033	9495,6	17884
15	0.1	0.1	100,6248	9621,5	21666	101,2425	7019,9	13793
		0.5	101,8861	10587	22520	92,677	7545	14192
		1.0	82,8441	10269	22009	139,4489	7721,8	13695
	0.5	0.1	93,3907	9990,3	21057	183,2298	7935,7	13379
		0.5	89,3239	10445	22385	88,8024	7347,2	13774
		1.0	214,9346	13406	26765	288,0873	13253	22149
	1.0	0.1	86,9914	9118,9	22344	105,52	8495,2	17047
		0.5	105,4654	9804,8	22341	125,2654	7621,7	15306
		1.0	97,4955	9633,8	22123	118,5583	6894,1	14161
20	0.1	0.1	79,0368	10154	22730	99,5753	8098	15286
		0.5	96,0411	10351	21779	101,9524	7546,4	13684
		1.0	81,2094	9935,8	22235	117,1679	8074,1	15146
	0.5	0.1	95,2672	9233,1	21683	151,1402	7339,1	14511
		0.5	105,3398	10588	22086	110,8982	7525	13649
		1.0	87,9347	9111,4	21694	117,5992	8132,4	16157
	1.0	0.1	96,1375	10402	22188	93,158	7171,9	13511
		0.5	106,9139	10505	22155	115,3186	9131,9	15867
		1.0	116,4797	10596	22259	108,0105	7693,2	14090

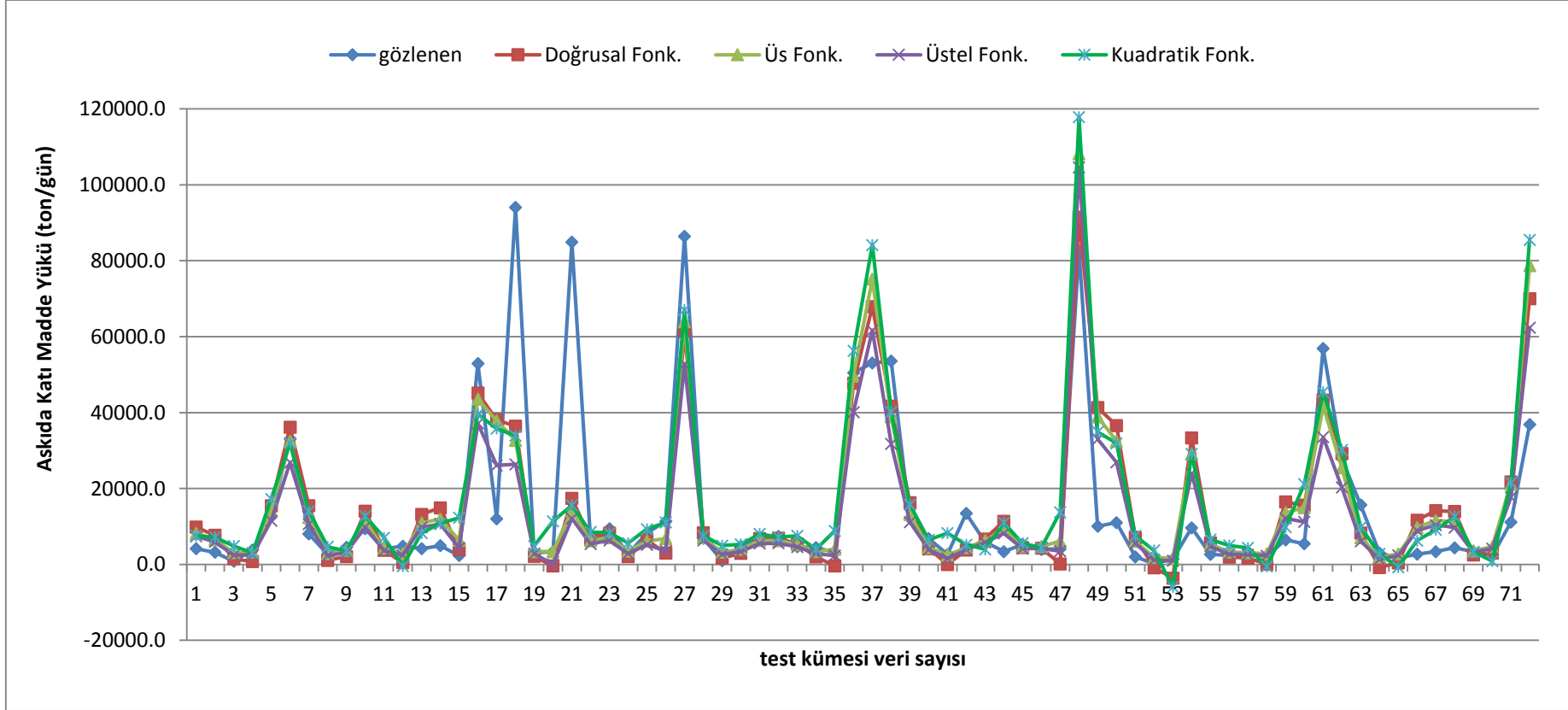
Ek 14. İnanlı İstasyonu ÇRA modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikleri



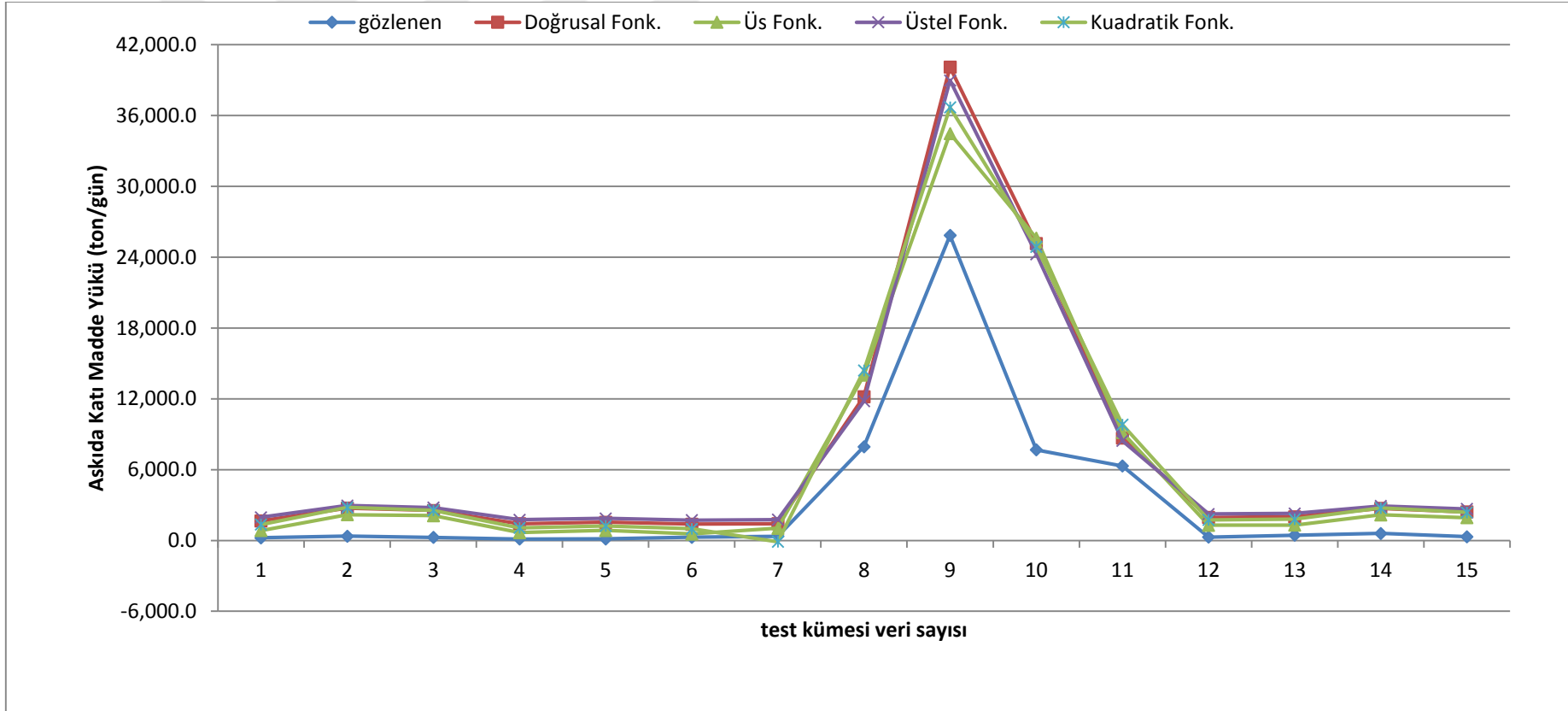
Ek 15. Altınsu İstasyonu ÇRA modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikler



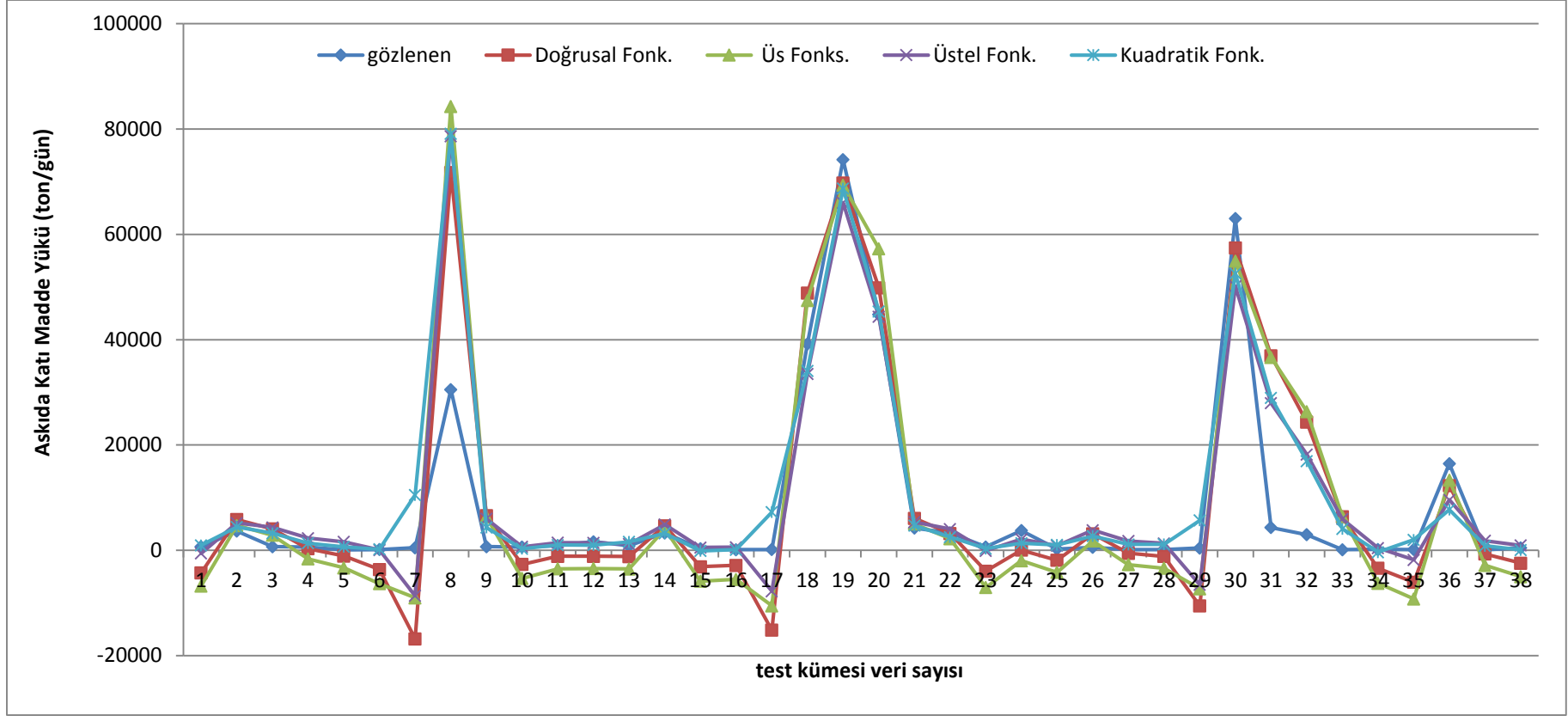
Ek 16. Karşıköy İstasyonu ÇRA modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikleri



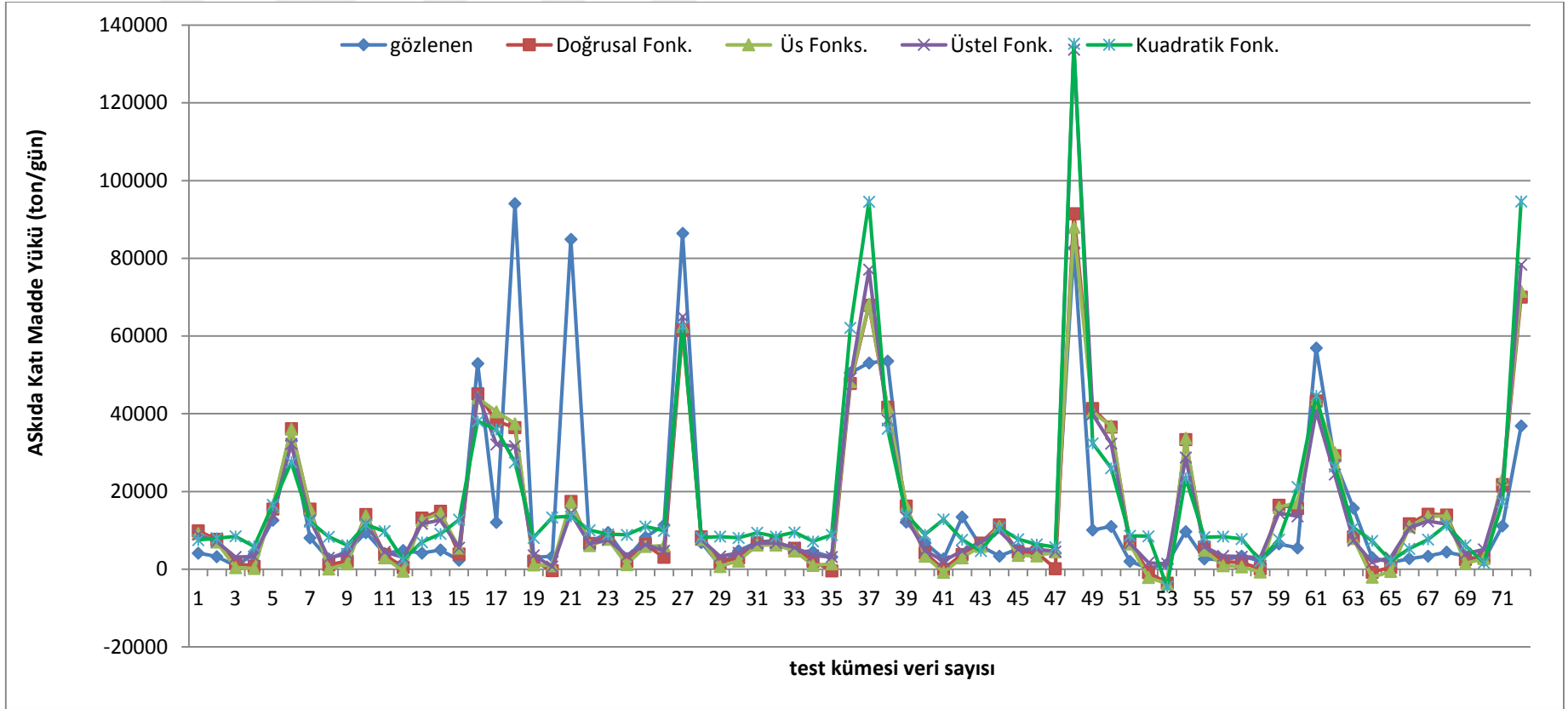
Ek 17. İnanlı İstasyonu YAK modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikleri



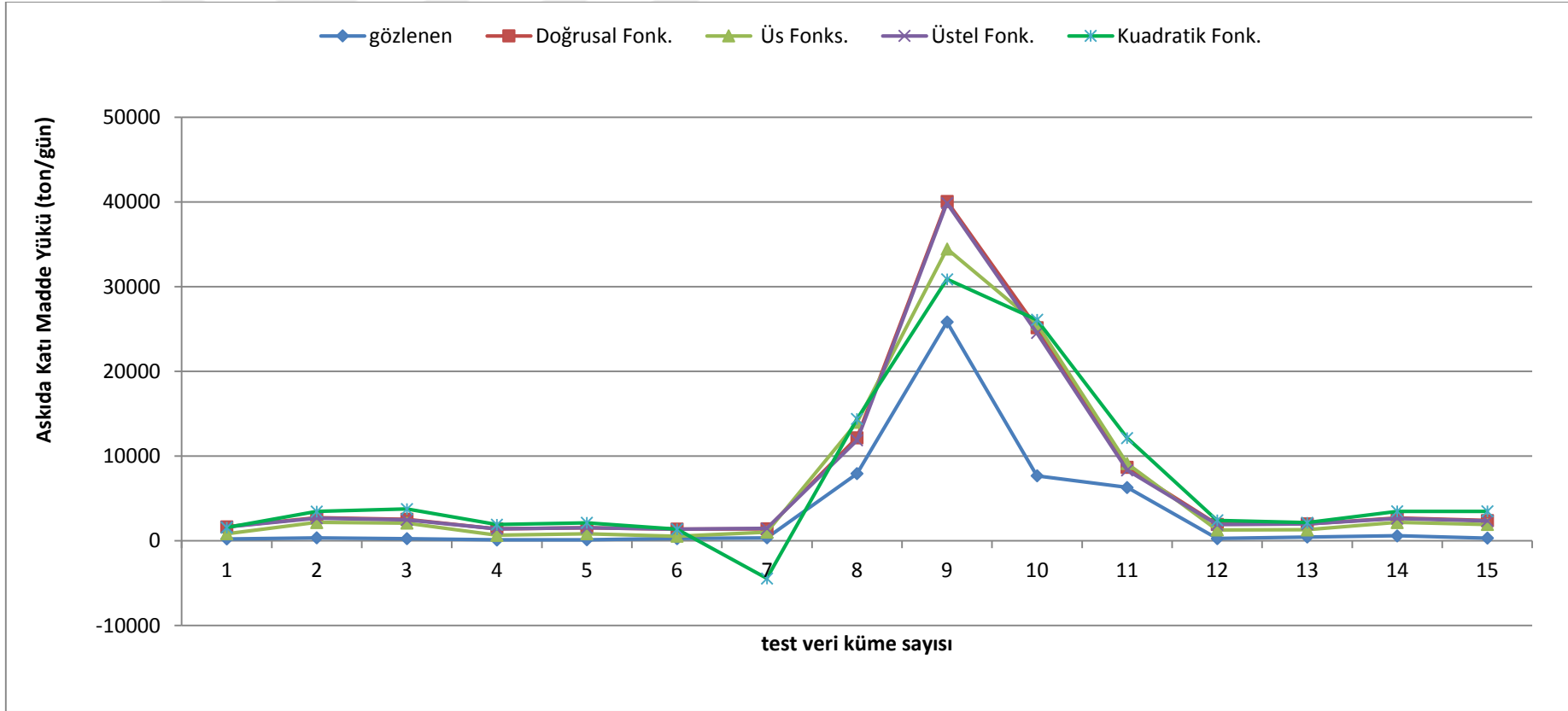
Ek 18. Altınsu İstasyonu YAK modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikleri



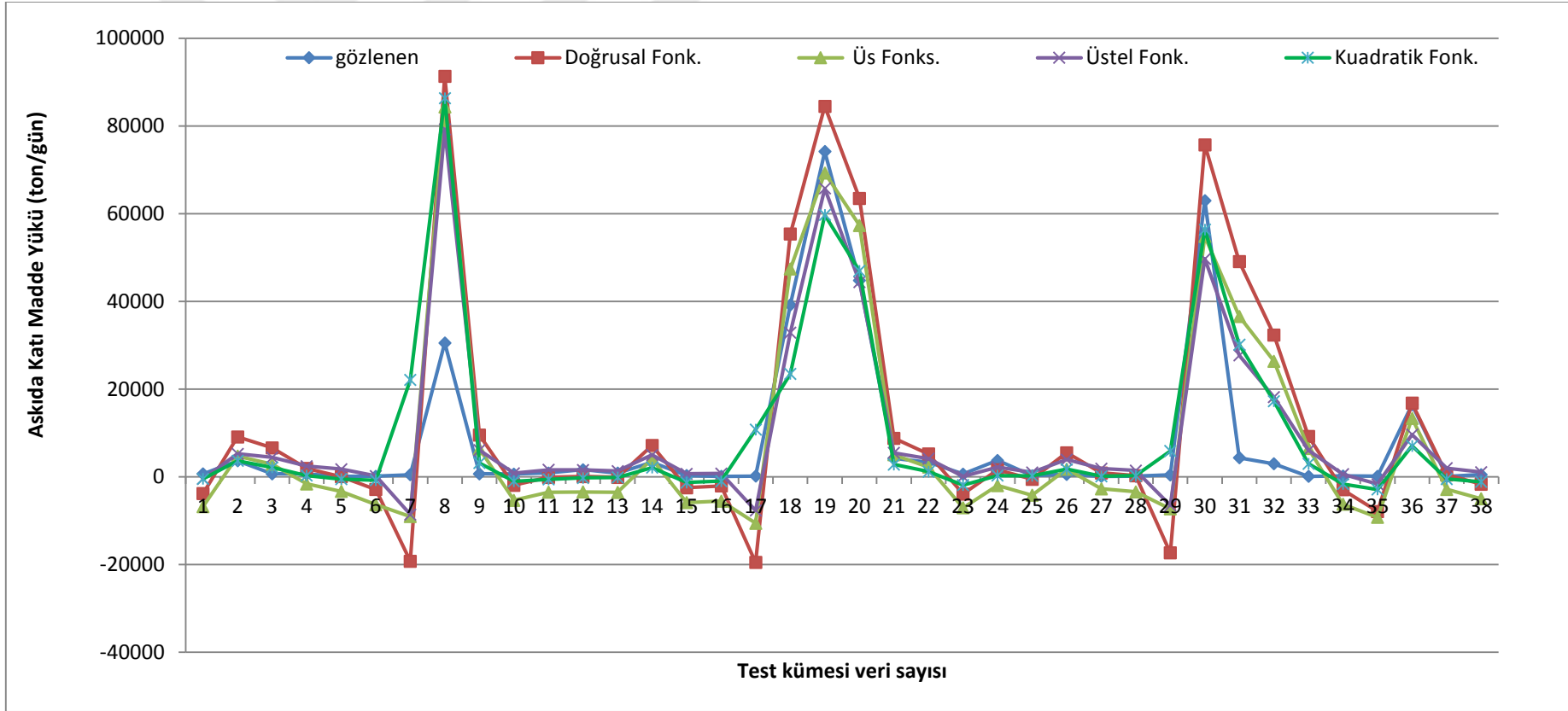
Ek 19.Karşıköy İstasyonu YAK modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikleri



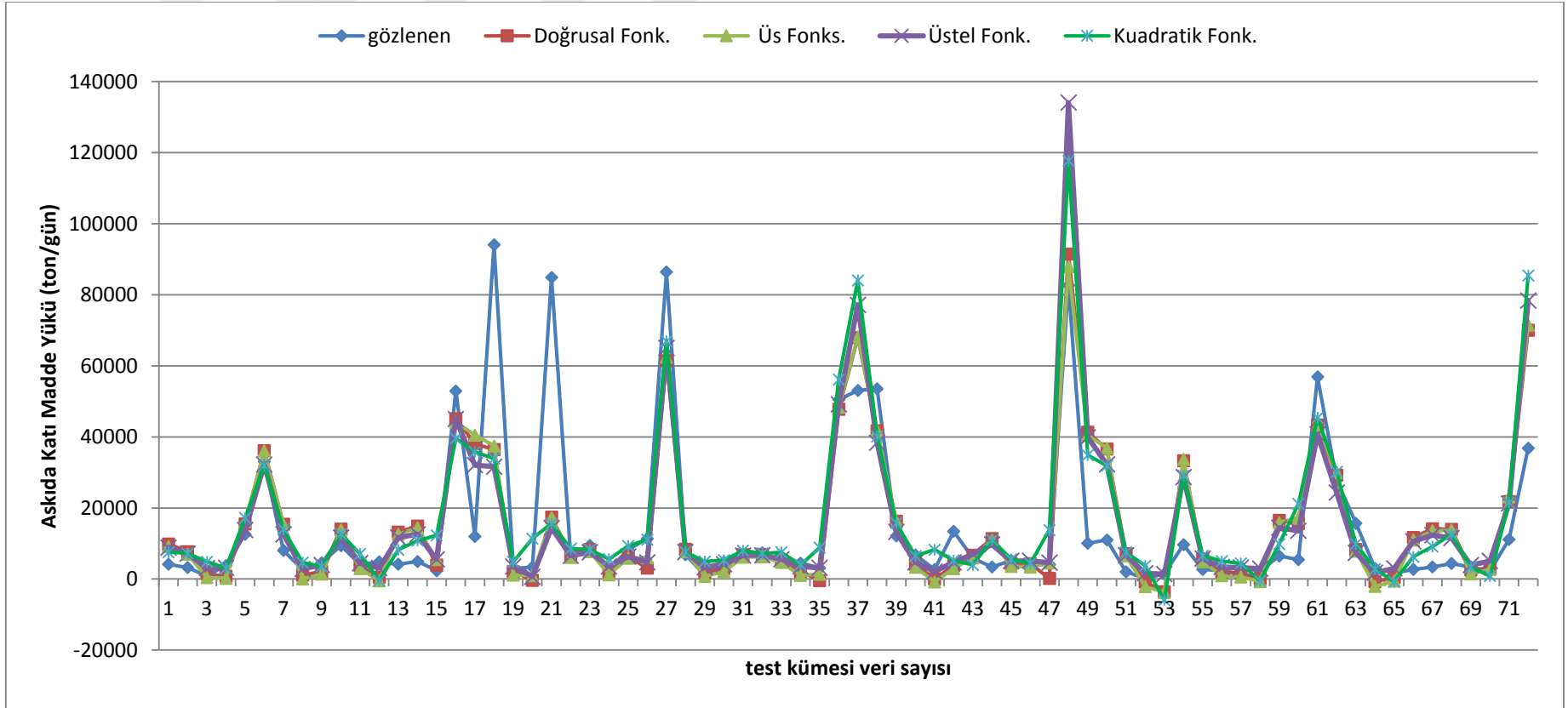
Ek 20. İnanlı İstasyonu ÖÖTO modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikleri



Ek 21. Altınsu İstasyonu ÖÖTO modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikleri



Ek 22. Karşıköy İstasyonu ÖÖTO modeli sonucu elde edilen fonksiyonların grafikleri



ÖZGEÇMİŞ

Banu YILMAZ, 1989 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlkokulu Zonguldak Yayla İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Zonguldak Fener İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde okudu. 2009 yılında lisans eğitimine başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimi sırasında özel bir şirkette kontrol mühendisi olarak çalıştı. 2014'ün kasım ayında Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı KTÜ Of Teknoloji Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Evli olup yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.