

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EGE BÖLGESİ DOĞAL AKARSULARINDA
KATI MADDE TAŞINIMI İÇİN
AMPİRİK, REGRESYON VE
YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİNİN
UYGULANMASI

Aslı ÜLKE

Mart, 2010
İZMİR

**EGE BÖLGESİ DOĞAL AKARSULARINDA
KATI MADDE TAŞINIMI İÇİN
AMPİRİK, REGRESYON VE
YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİNİN
UYGULANMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları

Anabilim Dalı

Ash ÜLKE

Mart, 2010

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ASLI ÜLKE, tarafından danışman DOÇ. DR. SEVİNÇ ÖZKUL ve ikinci danışman PROF. DR. GÖKMEN TAYFUR yönetiminde hazırlanan “EGE BÖLGESİ DOĞAL AKARSULARINDA KATI MADDE TAŞINIMI İÇİN AMPİRİK, REGRESYON VE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sevinç ÖZKUL

Danışman

Prof. Dr. Gökmen TAYFUR

İkinci Danışman

Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL

Tez İzleme Komite Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Tez İzleme Komite Üyesi

Prof. Dr. H. Kerem CİĞİZOĞLU

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Şebnem ELÇİ

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Birol KAYA

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana danışmanlık yapan, fikirlerini benimle paylaşan hocam Doç. Dr. Sevinç Özkul'a çok teşekkür ediyorum. Çözüm bulamadığım pek çok noktada yönlendirmesi ile bana yeni ufuklar gösteren ve her zaman moral veren ikinci danışmanım hocam Prof. Dr. Gökmen Tayfur'a sonsuz teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamda farklı zamanlarda karşılaştığım problemleri çözmemde yardımcı olan jüri üyeleri Yrd. Doç. Dr. Yavuz Şenol'a ve Yrd. Doç. Dr. Okan Fıstıkoğlu'na da çok teşekkür ediyorum. Karşılaştığımız konferans ve kongrelerde sıklıkla sorularımı cevaplandıran Prof. Dr. H. Kerem Cıgızoğlu ve bana arazi çalışması yapma fikrini veren Doç. Dr. Şevket Çokgör'e de teşekkürlerimi sunuyorum.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Aydın Şube Müdürü İsmail Gündoğdu ve teknik ekibine de arazi çalışmalarında yardımcı oldukları için çok teşekkür ediyorum. EİE Aydın teknik ekibinin özverili ve sıcak davranışlarına ayrıca minnettarım.

Askıda katı madde dane çapı analizlerini gerçekleştiren Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü hocalarından Doç. Dr. Azize Ayol'a, diğer laboratuvar analizlerinde benimle bilgilerini paylaşan Dokuz Eylül Üniversitesi Geoteknik Ana bilim dalında görev yapan tüm araştırma görevlileri arkadaşlarıma da yardımlarından dolayı çok teşekkür ediyorum. Ayrıca Hidrolik Laboratuvarında aynı ortamı altı yıl boyunca paylaştığım sevgili araştırma görevlisi arkadaşlarıma da desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında bana her zaman destek olan, sabır ve şefkat abidesi anneme çok teşekkür ediyorum. Kendisi olmadan bu çalışmayı tamamlayamazdım.

Aslı ÜLKE

Mart, 2010

İzmir

**EGE BÖLGESİ DOĞAL AKARSULARINDA
KATI MADDE TAŞINIMI İÇİN
AMPİRİK, REGRESYON VE
YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI**

ÖZ

Akarsu morfolojisinin anlaşılmasında, barajların projelendirilmesinde, içme ve kullanma suyu temin problemlerinde, havza yönetimi çalışmalarında, akarsudaki kirlilik seviyelerinin belirlenmesinde askıda katı madde yükünün doğru tahmini oldukça büyük önem taşır. Akarsulardaki askıda katı madde miktarı, sediment gözlem istasyonlarında yapılan doğrudan ölçümler, sediment anahtar eğrisi, regresyon, yapay zeka yöntemleri ve deneysel çalışmalara dayanan ampirik yaklaşımlar gibi farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir. Sediment gözlem istasyonlarında yapılan doğrudan ölçümler en güvenilir yol olmakla birlikte, bu yöntem oldukça pahalı ve zaman alıcı olup, özellikle taşkın zamanlarında ölçüm kesitlerine ulaşım bazı durumlarda sorun yaratmaktadır. Bu yüzden, akım ve yağış ölçümleri ile karşılaştırıldığında, sediment ölçümleri daha uzun aralıklarla gerçekleştirilmektedir.

Çalışmada, Ege Bölgesi'nin başlıca su kaynakları olan Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes nehirleri, askıda katı madde taşınımı açısından irdelenmiştir. Oluşturulan senaryolar ışığında bölgedeki dört istasyon için sediment anahtar eğrisi, regresyon ve yapay zeka yöntemleri ile ampirik yaklaşımlar denenmiştir. Çalışmanın birinci kısmında, askıda katı madde gözlemlerinden yararlanılarak, askıda katı madde yükü tahmini için modeller kurulması hedeflenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen regresyon yöntemleri uygulamalarında hem çoklu doğrusal hem de çoklu doğrusal olmayan modeller kurulurken, yapay zeka yöntemlerinden de hem yapay sinir ağları hem de adaptif sinirsel bulanık sistemler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, Türkiye'de sıklıkla kullanılan sediment anahtar eğrisi yönteminin çok doğru tahminler yapmadığı, yapay zeka yöntemlerinin ise genel olarak tüm istasyonlarda iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise, askıda katı madde yükü literatürde yer alan çeşitli ampirik yaklaşımlar yardımıyla akarsu ve havza özelliklerine bağlı olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ampirik yaklaşımların uygulanabilmesi için gerekli olan bazı parametreler arazi ve laboratuvar çalışması ile elde edilmiştir. Ampirik yaklaşımlarda Ege Bölgesi için en uygun yaklaşım Brooks Metodu olarak belirlenirken, bu metodun Ege Bölgesi için kalibrasyonu ise Genetik Algoritma ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın üçüncü kısmı ise günlük yağış ve akım verileri kullanılarak günlük sediment yüklerinin tahminine yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Mevcut uygulamada ayda bir yapılan sediment ölçümlerinden yararlanılarak sediment anahtar eğrisi elde edilmekte, daha sonra günlük yapılan akım gözlemleri kullanılarak sediment anahtar eğrisinden günlük sediment yükleri hesaplanmaktadır. Ancak daha önce de belirtildiği gibi, sediment anahtar eğrileri çok sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu bağlamda, yapay sinir ağları yöntemiyle kurulan model ile Gediz Nehri Acısu İstasyonu'ndaki gözlem yapılmayan günlere ait günlük askıda katı madde yükleri tahmin edilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde dört istasyonun verileri bölgesel analiz kapsamında incelenmiş ve duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre askıda katı madde taşınımında en etkin parametre olarak askıda taşınan malzemenin dane çapı belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Ege Bölgesi, askıda katı madde, sediment anahtar eğrisi, çoklu doğrusal regresyon, çoklu doğrusal olmayan regresyon, yapay sinir ağları, adaptif bulanık sistemler, ampirik yaklaşımlar, duyarlılık analizi.

APPLICATION OF EMPIRICAL, REGRESSION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR THE SEDIMENT TRANSPORT IN NATURAL STREAMS OF THE AEGEAN REGION

ABSTRACT

The suspended sediment load can be determined by means of several methods such as direct measurements at the sediment gauging stations, sediment rating curve, regression methods, artificial intelligence methods and empirical methods which are based on experimental works. Although direct measurement is the most reliable method, it is very expensive, time consuming, and, in many instances, problematic for inaccessible sections, especially during floods. Because of this, measurements of suspended sediment load are carried out in longer periods compared to precipitation and flow measurements.

In this study the suspended sediment load of Gediz, Küçük Menderes and Büyük Menderes Rivers which are the main water resources of Aegean Region, are investigated. In the light of composed scenarios, sediment rating curve, regression methods, artificial intelligence methods and empirical methods are tested for the four stations in the region. In the first part it is aimed to establish suspended sediment load models by means of observations. For this purpose, multi-linear regression, multi-nonlinear regression, artificial neural networks, and adaptive neural inference fuzzy system models are developed. The study results have revealed that sediment rating curve method which is frequently preferred in Turkey has accuracy limitations but artificial intelligence methods in general have better performance for all the stations.

In the second part, it is aimed to establish suspended sediment load models related to river and catchments characteristics by means of empirical approaches. Some of the parameters which are needed for the empirical approaches are obtained by land and laboratory work. While Brooks Method is determined as an appropriate approach for the Aegean Region through the empirical approaches, the calibration of this method for the Aegean Region is accomplished by the Genetic Algorithm.

In the third part, daily suspended sediment loads from daily precipitation and flow data are predicted. At the present situation, the suspended load measurements are carried once a month and then the sediment rating curves are obtained from these measurements. Using these curves, daily suspended loads are predicted from daily flow rates. As pointed out earlier, however, sediment rating curves do not provide satisfactory results. Hence, this study has successfully employed artificial neural networks to predict missing suspended sediment load data for Acisu Station on Gediz River.

At the end of the study, the regional analysis is carried out. The analysis has involved the together treatment of upstream stations, downstream stations, and all the four stations. Also, in this section, a sensitivity analysis is performed. The results have revealed that the transport of the suspended sediment load is very sensitive to the particle diameter.

Keywords: Aegean Region, suspended sediment, sediment rating curve, multi-linear regression, multi-nonlinear regression, artificial neural network, adaptive neuro-fuzzy systems, empirical approaches, sensitivity analysis.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi

BÖLÜM BİR – GİRİŞ

1.1 Konu ile İlgili Genel Bilgiler	1
1.2 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	4
1.3 Yapılan Tez Çalışmasının Amaç ve Kapsamı.....	9

BÖLÜM İKİ - AKARSULARDA KATI MADDE

2.1 Akarsularda Katı Madde Hareketi.....	13
2.2 Akım ve Katı Maddenin Özellikleri	15
2.2.1 Akımın Karakteristikleri	15
2.2.2 Katı Maddenin Karakteristikleri	16
2.3 Askıda Katı Madde Ölçüm Teknikleri	19

BÖLÜM ÜÇ - ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 Sediment Anahtar Eğrisi (SRC)	27
3.2 Regresyon Metotları	27
3.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR).....	27
3.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR).....	28
3.3 Yapay Zeka Yöntemleri	29
3.3.1 Yapay Sinir Ağları (ANN)	29
3.3.1.1 Üç Katmanlı Bir Yapay Sinir Ağı ve Nöronların İşleyişi.....	31
3.3.1.2 Geri Yayınım (Back-Propagation) Algoritması	34

3.3.1.3 Eğitim ve Test	38
3.3.1.4 Verilerin Ölçeklendirilmesi	41
3.3.2 Adaptif Sinirsel Bulanık Sistemler (ANFIS)	42
3.4 Askıda Katı Madde Tahmininde Ampirik Yaklaşımlar.....	48
3.4.1 Lane ve Kalinske Yaklaşımı (1941).....	49
3.4.2 Einstein Yaklaşımı (1950).....	50
3.4.3 Brook's Yaklaşımı (1963)	51
3.4.4 Chang, Simons ve Richards Yaklaşımı	52
BÖLÜM DÖRT - EGE BÖLGESİ HAVZALARI TANITIMI.....	58
4.1 Gediz Havzası	58
4.1.1 Gediz Nehri 523-Acısü İstasyonu	59
4.1.2 Gediz Nehri 51- Manisa Köprüsü İstasyonu	64
4.2 Küçük Menderes Havzası	67
4.2.1 Küçük Menderes Nehri 601-Selçuk İstasyonu	68
4.3 Büyük Menderes Havzası	72
4.3.1 Büyük Menderes Nehri 701-Çine Çaylı Kayırlı İstasyonu	72
BÖLÜM BEŞ - LABORATUVAR ANALİZİ VE PERFORMANS	
DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	77
5.1 Arazi ve Laboratuvar Çalışması.....	77
5.2 Performans Değerlendirme Ölçütleri.....	104
BÖLÜM ALTI – UYGULAMA	106
6.1 Gediz Nehri 523-Acısü İstasyonuna Ait Çalışmalar ve Model Sonuçları	106
6.1.1 Gediz Nehri 523-Acısü İstasyonu, Veri Seti I	108
6.1.1.1 Sediment Anahtar eğrisi (SRC) modeli	108
6.1.1.2 Regresyon Metotları	109
6.1.1.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)	109

6.1.1.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR).....	110
6.1.1.3 Yapay Zeka Metotları	112
6.1.1.3.1 ANN	112
6.1.1.3.2 ANFIS	114
6.1.1.4 Değerlendirme	115
6.1.1.5 Ampirik Yaklaşımlar	116
6.1.2 Gediz Nehri 523-Acısü İstasyonu, Veri Seti II.....	120
6.1.2.1 Sediment Anahtar Eğrisi (SRC) Modeli	120
6.1.2.2 Regresyon Metotları	121
6.1.2.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)	121
6.1.2.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR).	122
6.1.2.3 Yapay Zeka Metotları	123
6.1.2.3.1 ANN.	123
6.1.2.3.2 ANFIS.....	125
6.1.2.4 Değerlendirme	126
6.1.3 Gediz Nehri 523-Acısü İstasyonu, Eksik Veri Tamamlama	127
6.2 Gediz Nehri 518-Manisa Köprüsü İstasyonuna Ait Çalışmalar ve Model	
Sonuçları	131
6.2.1 Sediment Anahtar eğrisi (SRC) modeli.....	132
6.2.2 Regresyon Metotları.....	133
6.2.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)	133
6.2.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR).....	134
6.2.3 Yapay Zeka Metotları.....	135
6.2.3.1 ANN.....	135
6.2.3.2 ANFIS	137
6.2.4 Değerlendirme	138
6.2.5 Ampirik Yaklaşımlar.....	139
6.3 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonuna Ait Çalışmalar ve Model	
Sonuçları	142
6.3.1 Sediment Anahtar eğrisi (SRC) modeli.....	143
6.3.2. Regresyon Metotları.....	144
6.3.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)	144

6.3.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR).....	145
6.3.3 Yapay Zeka Metotları.....	146
6.3.3.1 ANN.....	146
6.3.3.2 ANFIS	148
6.3.4 Değerlendirme	149
6.3.5 Ampirik Yaklaşımlar.....	150
6.4 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonunununa Ait Çalışmalar ve Model Sonuçları	153
6.4.1 Sediment Anahtar eğrisi (SRC) modeli.....	154
6.4.2 Regresyon Metotları.....	155
6.4.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)	155
6.4.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR).....	156
6.4.3 Yapay Zeka Metotları.....	157
6.4.3.1 ANN.....	157
6.4.3.2 ANFIS	159
6.4.4 Değerlendirme	160
6.4.5 Ampirik Yaklaşımlar.....	161

BÖLÜM YEDİ - BÖLGESEL ÇALIŞMA..... 164

7.1 Yapay Zeka Metotları ile Bölgesel Çalışma	165
7.1.1 Memba Yaklaşımı	165
7.1.2 Mansap Yaklaşımı.....	170
7.1.3 Tüm İstasyonların Birlikte Düşünüldüğü Yaklaşım	175
7.2 Ampirik Metotla Bölgesel Çalışma	178
7.2.1 Memba Yaklaşımı	179
7.2.1.1 Ham Veri Kullanılarak İyileştirilen Memba Sonuçları.....	179
7.2.1.2 Standardizasyonlu Veri Kullanılarak İyileştirilen Memba Sonuçları	181
7.2.1.3 Değerlendirme	182
7.2.2 Mansap Yaklaşımı.....	184
7.2.2.1 Ham Veri Kullanılarak İyileştirilen Mansap Sonuçları	184
7.2.2.2 Standardizasyonlu Veri Kullanılarak İyileştirilen Mansap Sonuçları.....	185

7.2.2.3 Değerlendirme	187
7.2.3 Tüm İstasyonların Birlikte Düşünüldüğü Yaklaşım	187
7.2.3.1 Ham Veri Kullanılarak İyileştirilen Tüm İstasyon Sonuçları	187
7.2.3.2 Standardizasyonlu Veri Kullanılarak İyileştirilen Tüm İstasyon Sonuçları	188
7.2.3.3 Değerlendirme	190
7.3 Duyarlılık Analizi	190
BÖLÜM SEKİZ – SONUÇLAR.....	197
KAYNAKÇA.....	200
EKLER.....	211
TABLO DİZİNİ	212
ŞEKİL DİZİNİ	220
SEMBOLLER	227
Ek-1. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu Veri Seti I için MLR Modelleri	231
Ek-2. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu Veri Seti II için MLR Modelleri	231
Ek-3. EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan MLR Modelleri	232
Ek-4. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan MLR Modelleri	233
Ek-5. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda tüm senaryolara uygulanan MLR Modelleri	233
Ek-6. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için NLMR Modelleri...	234
Ek-7. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için NLMR Modelleri .	235
Ek-8.EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan NLMR Modelleri	236
Ek-9. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan NLMR Modelleri	237

Ek-10. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan NLMR Modelleri.....	238
Ek-11. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için ANN Modelleri....	239
Ek-12. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için ANN Modelleri ..	239
Ek-13. EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANN Modelleri.....	240
Ek-14. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANN Modelleri.....	240
Ek-15. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda ANN Modelleri	241
Ek-16. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için ANFIS Modelleri.	241
Ek-17. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için ANFIS Modelleri	242
Ek-18. EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANFIS Modelleri	242
Ek-19. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANFIS Modelleri.....	243
Ek-20. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda ANFIS Modelleri	243

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Konu ile İlgili Genel Bilgiler

Günümüzde hızla artan nüfus ve endüstriyel gelişim sonucu suya olan talep giderek büyümektedir. Diğer yandan yüzeysel kaynaklarımızın giderek kirlenmesi, günümüz gündeminde oldukça ciddi biçimde yer almaya başlayan küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi etmenler ise bu ihtiyaçları karşılamak üzere kullanılabilir su kaynaklarımızı daha da kısıtlı hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan hidrolik potansiyelden yararlanma oranı, ülkelerin gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi haline gelmiştir. Önümüzdeki yıllarda gelişmekte olan ülkelerde hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmalarının yoğunluk kazanacağı ortadadır. Ülkemizde de durum farklı değildir. Sosyo-ekonomik gelişmelere paralel bir şekilde artacak olan enerji talebi doğrultusunda hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmaları ülkemizde de hız kazanmaktadır.

Katı tanelerin yerkabuğundan sökülmesi olarak tanımlanan erozyon fiziksel olarak bir aşınma sürecidir. Akarsular tarafından taşınan katı maddeler kısmen havzadan kısmen de akarsu yatağının oyulmasından kaynaklanır. Katı maddeler akarsulara ulaşıncaya kadar geçen sürece havza erozyonu, akarsu yatağındaki oyulmalara da yatak erozyonu denir. Her iki erozyon sonucunda suyla taşınmaya başlayan katı maddeler, akımın sürüklenme gücünün azaldığı yerlerde ve baraj haznelerinde birikmeye başlar. Akarsu profili boyunca yatakta meydana gelen oyulma ve yığılma, yatak şeklinin sürekli değişmesine yol açar. Kısaca akarsuyun morfolojik yapısı değişir, akarsu üzerindeki yapılar fonksiyon, emniyet ve estetik bakımından zarar görebilir (Bayazıt, 1971). Erozyon sonucu tonlarca verimli toprağın akarsularla taşınması, tarım arazilerinin düzleşmesine, çoraklaşmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla, bir havzadan olası toprak kayıplarının bilinmesi o havzada alınacak önlemler için gereklidir. Bu bir erozyon problemi olmakla birlikte, erozyonla mücadele çalışmalarında erozyonla taşınan katı madde miktarının zamana göre dağılımının bilinmesi gerekir (Simons ve Şentürk, 1992; Yang, 1996).

Akarsularda taşınan sediment ya da diğer bir deyişle katı madde problemi, erozyonun tabii bir sonucu olarak su problemlerimiz arasına girmiştir. Akarsular üzerinde kurulacak depolama tesisleri ve diğer su kontrol yapılarının projelendirilmesinde, akarsuyun taşıdığı sediment miktarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Baraj haznelerinde akarsularla taşınan katı maddelerin birikmesi için ölü hacim adı verilen pasif bir hacim tasarlanır. Özellikle baraj hazneleri gibi su depolama tesislerinin ölü hacminden fazla miktarda biriken katı maddeler hazne kapasitesini azaltır ve zamanla su alma yapısının tıkanmasına neden olur. Hazne kapasitesinin azalması tesisin ekonomik ömrünü kısaltırken, su alma yapısının tıkanması ise haznenin fonksiyon göremez hale gelmesi demektir. Bir baraj tesisinin ekonomik ömrü bırakılan ölü hacmin büyüklüğüne bağlıdır. Ölü hacmin olduğundan büyük tahmin edilmesi baraj maliyetinde oldukça önemli bir artışa neden olur. Küçük tahmin edilmesi durumunda da baraj hesaplanandan daha kısa sürede ölü hacmini dolduracağından barajdan beklenen fayda elde edilemez. Akarsular üzerinde uygun baraj yerinin kısıtlı olması, baraj inşa fiyatlarının çok yüksek olması inşa edilecek depolama tesislerinde sediment birikimi için yapılması gerekli ölü hacmin güvenilir olarak saptanmasını zorunlu kılar. Nitekim sediment veriminin fazla tahmin edilmesi yapı maliyetine istenmeyen ilaveler getirirken, diğer taraftan sediment veriminin düşük tahmini, yapının ömrünü ve yapıdan elde edilecek faydaları azaltmaktadır. Bu sebeplerden ötürü, barajların projelendirilmesinde barajda birikecek katı maddenin tür ve miktarının doğru tahmin edilmesi son derece önemlidir. Diğer yandan, akarsularda katı madde taşınımının kaynağı olan erozyon, tarımsal alanlara zarar vermekte ve toprağın en verimli kısmı olan üst tabakasının yok olmasının yanında tarımsal ekonominin de zarar görmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda akarsu taşımacılığı, taşkın kontrolü için akarsu düzenlemelerinde, su kuvveti tesislerinin tip ve yerlerinin seçiminde, katı madde miktarı tahminleri önemli bir yer tutmaktadır (McBean ve Al-Nassri, 1988; Nakato, 1990).

Katı madde taşınımı ile ilgili diğer bir güncel sorun akarsu kirliliğidir. Bu konu çevresel etkilerinden dolayı son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Endüstriyel ve tarım artıklarının akarsulara boşaltılması, tabandaki katı maddelerin toksitlerle kirlenmesine neden olmaktadır. Bu da özellikle sulama ve su alma yapılarında

kullanılan akarsular için su kalitesi sorununu gündeme getirmektedir (Nagy ve diğ., 2002). Taşınan katı maddenin askıda katı madde olarak adlandırılan kısmı, oldukça büyük oranda inorganik bileşenler içermektedir, erozyonla yakından ilgili olan askıda katı madde, akarsu ortamındaki özellikle ağır metaller gibi inorganik kirletici parametrelerin taşınımında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar, askıdaki sediment parçacıklarının büyük miktarda kirletici ve bio hücreyi absorbe ettiğini ve bunları mansap bölgelere taşıdığını göstermiştir (Blaskova ve diğ., 1996; Gray ve Fisk, 1992; Horowitz, 1997; Loughran ve Elliott, 1996).

Sediment zararlarını minimize etmek için ne kadar miktar sedimentin akarsuda taşındığını, nehirdeki sediment yükünün mevsimlik değişimlerini ve taşınan sedimentin bileşimini bilmek gereklidir. Yapılan araştırmalara göre bir akarsuyun bir ya da birkaç taşında taşıdığı sediment miktarı, bütün bir yıl boyunca taşıdığı sediment miktarının %60 ile %80'i arasındadır. Çoğu akarsularda taşınan toplam sediment yükünün büyük kısmı (%75-90) askı halinde hareket etmektedir. Ancak dağlık havzalardaki akarsularda yatak yükünün toplam sediment yüküne katkısı söz konusudur. Bu nedenle askı maddesi ölçümleri büyük önem taşır (Alışık, 1995; Morris ve Fan, 1997; Yang, 1996).

Elde edilen bulgulara göre eski Çin, Mısır ve Mezopotamya medeniyetlerinde tabii akışların taşıdığı sediment sebebiyle insanların ilk çağlardan beri birtakım güçlüklerle karşı karşıya kaldığı bilinmektedir. Sediment problemi ilk olarak 18. yüzyılda Fransa'da ele alınmıştır. İlk ölçümler ise Fransa'da Rhone nehrinde 19. yüzyılın başlarında gerçekleşmiştir. Daha sonraki ölçümler 1837 yılında yine Avrupa'da Elbe ve Garonne nehirlerinde gerçekleşmiş, ABD'deki ölçümlere ise 1877 yılında Mississippi nehri ile başlanmıştır (Alışık, 1995).

Ülkemizde taşınan askıda katı madde miktarları ise ancak Elektrik İşleri Etüt İdare'nin (EİE) kayıtlarından bulunabilir. EİE kurumuna ait ülke sınırları içinde ölçüm yapan 157 adet sediment gözlem istasyonundan hesaplanan ağırlıklı ortalama askıda katı madde verimi 155 ton/yıl/km^2 ve sediment birim hacim ağırlığı da $1,3 \text{ ton/m}^3$ tür. Buna göre ülkemiz akarsularından yılda 118.866.090 ton askıda katı

madde taşınımı gerçekleşmektedir. Bu değere % 25'lik yatak yükü miktarı da eklendiğinde taşınan toplam katı madde miktarı 148.582.613 tona ulaşmaktadır. Erozyon sonucu toprağın olduğu yerden koparılan miktarı akarsuya ulaşan miktardan çok daha fazladır, ülkemizde % 20 olarak kabul edilen bu iletim oranını da dahil ettiğimizde erozyonla taşınan toprak miktarı 571.471.585 m³/yıl'a ulaşmaktadır. Bu miktar da her yıl ülkemizin yüzey alanını 0,8 mm kalınlığında örtbilecek toprak miktarına denk düşmektedir (EİE, 2006). Bütün bu verilen rakamsal ifadeler de erozyonun ve bunun doğal neticesi akarsularımızda taşınan katı maddenin ülkemizde çözüme kavuşturulması gereken acil bir problem olduğunu göstermektedir.

1.2 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Hidroloji bilimi, su, suyun özellikleri, suyun yeryüzünde dağılımı ile toprak ve atmosfere olan etkilerini inceleyen bir bilim dalıdır. Hidroloji bilimi ile uğraşanlar, sık sık yağış, akış, kirlilik konsantrasyonu, su seviyeleri gibi pek çok tahmin problemleriyle karşı karşıya kalırlar. Doğal olayların hakim olduğu hidroloji bilim alanında klasik yöntemlerle modelleme yapmak her zaman mümkün olmamaktadır. Çünkü doğal olaylar, belirsiz birçok rastgele değişkenden etkilenmektedir ve doğal olaylarla değişkenler arasındaki lineer olmayan ilişkileri açıklamak oldukça güçtür. Yapay zeka metodlarının en çekici özelliği lineer olmayan olayları fiziksel özelliklerine bakmaksızın sadece girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak modelleyebilmesidir (ASCE, 2000 a, b).

Hidrolojide yapay zeka metodlarının ilk olarak kullanılmaya başlanması 1990'lı yıllara dayanmaktadır. Yağış tahmini (Freiwan ve Cıgızoğlu, 2005; Partal ve Kişi, 2007; Ülke ve Doğan, 2008), akış tahmini (Cıgızoğlu, 2003; Elshorbagy ve diğ., 2002; Jain ve diğ., 2004; Khalil ve diğ., 2001; Tayfur ve diğ., 2007; Tayfur ve Moramarco, 2008; Tokar ve Johnson, 1999), yağış-akış ilişkisi (Dawson ve Wilby, 1998; Hsu ve diğ., 1995; Minns ve Hall, 1996; Shamseldin, 1997; Sudheer ve diğ., 2002), akarsu seviyelerinin belirlenmesi (Jain ve Chalisgaonkar, 2000; Thirumalaiah ve Deo, 1998), taşkın tahminlerinin yapılması (Dawson ve Wilby, 2001; Dawson ve

diğ., 2006; Sudheer ve diğ., 2003), kirlilik tahmini (Chaves ve Kojiri, 2007; Diamantopoulou ve diğ., 2007), yer altı suyu akışının miktarı (Ranjithan ve diğ., 1993; Ülke ve Aksoy, 2008), zaman serileri (Raman ve Sanilkumar, 1995) gibi konulara uygulanmıştır. Bu tez çalışmasının konusu akarsularda taşınan sediment miktarı olduğundan özellikle sediment taşınımı ile ilgili çalışmalar üzerinde durulacaktır.

Askıda katı madde tahminleri değişik metotlarla hesaplanabilir; sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümler askı maddesinin belirlenmesinde en güvenilir yol olmasına rağmen oldukça zaman alan, maliyetli ve örnek alma prosedürüne bağlı olarak hata olasılığı ortaya çıkan bir yöntemdir (Olive ve Rieger, 1988; Öztürk ve diğ., 2001). Günlük askıda katı maddenin otomatik ölçümünü yapan bir teknoloji henüz Türkiye akarsularında mevcut değildir. EİE kurumunun kullandığı sediment anahtar eğrisi metodu ise askıda katı maddeyi sadece o andaki akım değeri ile ilişkilendiren bir çeşit regresyon metodudur. Diğer bir yöntem, yapay zeka teknikleri ya da diğer adı ile esnek hesaplama yöntemleridir. Esnek hesaplama yöntemleri, askıda katı maddeyi çeşitli girdiler kullanarak Yapay Sinir Ağları (ANN), Bulanık Mantık Sistemleri (BM), Adaptif Sinirsel Bulanık Sistemler (ANFIS) ya da Genetik Algoritma (GA) gibi tekniklerle modellemeye çalışır. Ampirik yaklaşımlar ise deneysel çalışmalara dayanan literatürde yer etmiş, askıda katı madde tahmininde kullanılan bir başka yöntemdir (Lane ve Kalinske 1941, Einstein 1950, Brooks 1963, Chang, Simons ve Richardson 1965). Literatür incelendiğinde bu gruplamalar altında bazı çalışmalar özellikle dikkat çekmektedir.

Jain (2001) çalışmasında, seviye ile debi arasındaki ilişkinin en iyi ANN ile modellendiğini, bu yüzden debi ile sediment ilişkisinin de iyi modellenebileceğini söylemekte; akım ve sediment yükünün birbirini etkilediğini ve bu iç bağımlılığı yakalayabilecek bir yapının da ancak ANN'de olduğunu belirtmektedir. Çalışmasındaki girdi değişkenleri bir ya da iki gün önceki seviye, akım ve sediment konsantrasyonu olurken, çıktı değişkeni bugünkü sediment konsantrasyonudur. Araştırmacı, akım debisi, su seviyesi ve sediment konsantrasyonlarının farklı kombinasyonlarını girdi değişkenleri olarak kullanmış, böylece 5 değişik model

oluşturmuştur. Çalışmada Mississippi nehrindeki iki istasyona ait günlük veriler kullanılmış, girdi ile çıktı değişkenleri $[0; 1]$ aralığında kalacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

İngiltere'nin kuzeyinde, Tees ve Swale Nehirlerinde 15 dakika sıklıkta ölçülen akım ve sediment verileri ile çalışan Cıgızoğlu (2002), yapay sinir ağları ve sediment anahtar eğrisi modellerini karşılaştırmıştır. Araştırmacı çalışmasında verileri normalize etmenin önemine değinmiştir. Girdi tabakasında 1, 2, 3, 4, 5, 6 saat önceki akım değerleri girdi olarak modele verilmiş, böylece girdi tabakasında 6, saklı tabakada da 3 nöron kullanmıştır. Yapay sinir ağları model sonuçları gözlenmiş değerlere ve toplam sediment yüküne, sediment anahtar eğrisinden daha çok yakınsamıştır.

Nagy ve diğerleri (2002) yayınladıkları çalışmalarında doğal akarsulardaki toplam sediment konsantrasyonuna ileri beslemeli geri yayımlı bir ANN modeli uygulamışlardır. Girdi ve çıktı değişkenlerini $[0; 1]$ arasında normalize etmişler ve aktivasyon fonksiyonu olarak saklı tabakada sigmoid fonksiyonunu kullanmışlardır. Duyarlılık analizi ile katı madde taşınımı üzerinde rol oynayan 6 adet parametre belirlemiş, bunları modele girdi olarak vermişlerdir. Bu parametreler; kayma gerilmesi (ϕ), süspansiyon parametresi (ω/U_*), su derinliğinin dane çapına oranı (h/d_{50}), Froude sayısı (Fr), Reynolds sayısı (Re) ve su derinliğinin akarsu yüzey genişliğine oranı (h/B)'dir. Kurdukları modeli 4 farklı akarsuya uygulamış ve % 90 başarı ile gözlenmiş değerlere yaklaşmışlardır.

Tayfur (2002)'de havza erozyonu için 164 adet veri seti ile eğim ve yağış şiddetlerini girdi olarak kullanan bir ANN modeli geliştirmiş ve sonuçlarını fiziksel model sonuçları ile kıyaslamıştır. ANN ile kurulan model diğer nümerik yöntemlerden daha iyi sonuç vermiştir.

Yitian ve Gu (2003) yaptıkları çalışmada Çin'in Yangtze nehrinde hem günlük akımı, hem de günlük toplam sediment miktarını modellemişlerdir. Ağ yapısını, süreklilik ve depolama fonksiyonları ile birleştirerek kurmuşlar, akarsuya ait

topografik ve morfolojik bilgileri ANN'e girdi olarak vermişlerdir, böylece deneme-yanılma sürecini kısaltmışlardır.

Cıgızoğlu (2004) Philadelphia havzasına ait günlük akım ve günlük konsantrasyon değerlerini kullanmış, 3 tabakalı ileri beslemeli bir ANN ağı kurmuştur. 29 yıllık günlük akım ve konsantrasyon verilerinden 26 yılını eğitim aşamasında, 3 yılının da test aşamasında kullanmıştır. Verilerden memba ve mansap istasyonları arasında çapraz-korelasyonlar kurmuş ve mansap istasyonundaki sedimentin membadaki akım ve sediment değerlerinden etkilendiğini görmüştür. ANN modelinde Levenberg-Marquardt algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak da tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Kurulan modeller, hem zaman serileri modelleri, hem de sediment anahtar eğrisi yöntemi ile karşılaştırılmıştır. ANN'nin diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği determinasyon katsayısı ile ifade edilmiştir.

Bhattacharya ve diğerleri (2005) deneysel verileri kullandıkları çalışmalarında öncelikle yatak yükünün taşınımında etkin olan parametrelerin arasından ANN'e girdi olacak parametreleri belirlemişlerdir. Buna göre kurdukları ANN modelinde girdi parametreleri (V^2/gh , h/d , S) şeklindedir. Burada V akım hızını, g yerçekimi ivmesini, h akım derinliğini, d dane çapını ve S enerji eğimini temsil etmektedir. Aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant kullanıp, verileri [-1; 1] arasında normalize etmişlerdir. Aynı deney setine ANN ile klasik metotlardan Engelund-Hansen ve Van Rijn metotlarını uygulayıp sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçları ANN'in diğer iki modelden daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Kişi (2005) Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Kurumu (USGS) tarafından işletilen iki istasyona ait günlük akım ve sediment verilerini kullanarak ANN ve ANFIS modelleri kurmuş, bu iki yöntemle birlikte sediment anahtar eğrisi modelinin de karşılaştırmasını yapmıştır. Çalışmada araştırmacı, adaptif sinirsel bulanık sistemlerini üyelik fonksiyonu olarak, sadece üçgen üyelik fonksiyonunu kullanmış ve her bir katmanda 2 ya da 3 kurallı üçgen üyelik fonksiyonunun yeterli olduğunu belirtmiştir.

Cıgızoğlu ve Kişi (2006) askıda katı madde tahmininde ANN performansını artırmaya yönelik çalışmalarında, girdi değişkenlerini çoklu parçalara ayırmış ve eğitim çiftlerinde kemeleme analizine dayalı bir ANN modeli uygulamışlardır. Bu yöntemin (RDNN) diğer geleneksel ANN metotlarından daha üstün olduğunu söylemişlerdir.

Tayfur ve Güldal (2006) yaptıkları çalışmada günlük yağış verisini kullanarak günlük sediment konsantrasyon tahminleri yapmışlar ve bunu iki boyutlu sediment birim hidrograf modeli olan 2D-USGT yöntemi ile kıyaslamışlardır. Girdi ve çıktı değişkenleri [0.1; 0.9] arasında normalize edilmiş, ağ ağırlıkları da [-1.5; 1.5] arasında seçilmiştir. ğrenme katsayısı 0,04 ve momentum katsayısı 0,1 olarak alınmıştır. 7 tane farklı model denenmiş bunların içinden en iyi determinasyon katsayısını veren modelin 120 adet eğitim, 120 adet de test girdi verisine sahip olan model olduğu belirlenmiştir. 4 gün önceki yağışın günlük sediment konsantrasyonuna etkisi olduğu çapraz-korelasyonlarla belirlenmiş ve buna ait modelin determinasyon katsayısı da 0,91 olarak bulunmuştur.

Cıgızoğlu ve Alp (2006) alışmalarında ileri beslemeli geri yayınım metodu (FFBP) ile genelleştirilmiş regresyon tabanlı ANN (GRNN) modellerini kıyaslamışlar ve özelikle FFBP metodunun bazı dezavantajlarından bahsetmişlerdir.

Alp ve Cıgızoğlu (2007) alışmalarında Amerika Birleşik Devletlerinde Pennsylvania Eyaletindeki Juniata Nehrinin hidrometeorolojik günlük verilerini girdi değişkeni olarak kullanıp iki farklı ANN algoritması uygulamışlar ve bunların performansını karşılaştırmışlardır. Altı yıllık veri ile kurdukları algoritmalardan biri ileri beslemeli geri yayınım metodu (FFBP), diğer de radyal tabanlı (RBF) ANN'dir. Mevcut verileri üç farklı senaryo altında incelemişler, buna göre askıda katı maddenin yağış ve akım verileri ile bunların bir gün önceki değerlerinden oluşan senaryoda modelin başarısının yükseldiğini görmüşlerdir. Araştırmacılar tarafından sadece yağış verilerinin olduğu senaryoda modellerin başarısız olduğu belirtilmektedir.

Doğan ve diğerleri (2007) akarsulardaki toplam sediment miktarını bulmaya yönelik yaptıkları deneysel çalışmada akım debisi, yatak eğimi ve katı madde dane çapını yapay sinir ağları modelinde girdi verisi olarak kullanmışlardır. 60 farklı veri seti ile kurdukları yapay sinir ağı modelinden elde ettikleri sonuçları da Acaroğlu ve Graf denklemleri ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlardan, aşırı tahminde bulunan diğer iki klasik yöntemin birbiriyle uyum içinde olmadığı, bununla birlikte ANN sonuçlarının deney sonuçlarına daha çok yakınsadığını belirtmişlerdir.

Kişi ve diğerleri (2008) çalışmalarında Karadeniz Bölgesinde dört farklı akarsu üzerindeki istasyonlarda gözlenmiş günlük sediment verilerini kullanarak, adaptif sinirsel bulanık sistemle birlikte üç farklı yapay sinir ağı modeli uygulamış ve sonuçları, sediment anahtar eğrisi ve çoklu doğrusal regresyon sonuçları ile kıyaslamışlardır. Çalışma bulguları incelendiğinde adaptif sinirsel bulanık sistem modelin, diğer modellere kıyasla daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

Aytek ve Kişi (2008) Amerika Birleşik Devletleri Montana'da bulunan Tongue akarsuyundaki memba ve mansap istasyonlarında, günlük akıda katı maddenin tahmini çalışmalarında günlük akım değerlerini girdi olarak kullanıp, genetik algoritma ile modelleme yapmışlar, sonuçları klasik sediment anahtar eğrisi ve doğrusal regresyon metotları ile kıyaslamışlar, genetik algoritma ile yapılan modellemenin daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

1.3 Yapılan Tez Çalışmasının Amaç ve Kapsamı

Ege Bölgesine can veren Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes Havzaları'ndaki mevcut su kaynakları, hızlı nüfus artışı, kentleşme, endüstriyel gelişim ve yaşanan kuraklıklar sebebiyle hem miktar, hem de kalite açısından tehlike altındadır. Özellikle kurak dönemlerde mevcut su kaynakları, etkin olmayan kullanımlar nedeniyle, en büyük kullanıcı olan tarımsal faaliyetlerde büyük sıkıntılara yol açmaktadır.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), akarsular üzerindeki ölçüm istasyonlarında akım, askıda katı madde ve su kalitesi parametrelerinin ölçümlerini gerçekleştirmektedir. Akım ölçümlerinde kesit değerleri ve muline ile hız ölçümleri yapıp, akım anahtar eğrisine geçilmekte, limnigraf ölçümleri bu şekilde kalibre edilmektedir. Askıda katı madde ölçümleri ise, derinlik entegrasyonu yöntemi ile nehirlerde su seviyesinin düşük olduğu zamanlarda suya girerek USDH-48 ile, seviyenin yüksek olduğu zamanlarda ise teleferikten USD-49 ile gerçekleştirilmektedir. EİE kurumunun gerçekleştirdiği mevcut ölçüm pratiğinde toplanan anlık debi ve askıda katı madde konsantrasyonlarından yararlanılarak anlık sediment yükleri hesaplanmakta, daha sonra bu anlık debi ve sediment yükleri arasındaki regresyon ilişkisine dayanan sediment anahtar eğrileri elde edilmektedir. Sonrasında, sediment anahtar eğrisinden, akım anahtar eğrilerinden belirlenen günlük ortalama akıma karşılık gelen sediment yükü belirlenmektedir (EİE, 2006). Anahtar eğrilerinden faydalanılarak yapılan tahminler özellikle rezervuarların planlanmasında Türkiye’de başarısız kalmışlardır (Kişi ve diğ., 2003). Bu yüzden tez çalışmasında, bölgenin sorunları doğrultusunda, Ege Bölgesi havzalarında taşınan askıda katı maddenin çeşitli yöntemler kullanılarak en az parametre ile en doğru şekilde tahminlerinin yapılması ve tüm Ege Bölgesini temsil eden bir model oluşturulması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında Ege Bölgesinde yer alan Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes akarsularında askıda katı madde ölçümü gerçekleştirilen doğal yapısı fazla bozulmamış istasyonlarda, askıda katı madde yükünün çoklu regresyon metotları (MLR, NLMR) ve yapay zeka uygulamaları (ANN, ANFIS) ile modellenmesi, tüm bunların sediment anahtar eğrisi (SRC) ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca literatürde yer almış dört ampirik bağıntının uygulanıp içlerinden Ege Bölgesi için en uygun olanının belirlenmesi ve her istasyon için bu bağıntının Genetik Algoritma (GA) ile iyileştirmesinin yapılması öngörülmüştür. Tüm bu modeller Tablo 1.1’deki akış şemasında gösterilmiştir. Bunun yanı sıra 523-Acısü İstasyonu için eksik askıda katı madde gözlemleri günlük yağış ve akış verileri kullanılarak tamamlanmıştır. Tablo 1.1’in ikinci kısmında yer alan bölgesel çalışma kapsamında da üç akarsuda seçilen dört istasyonun verileri memba, mansap ve hepsi birlikte kategorilerinde değerlendirilmiş ve ham veri ile standartizasyonlu veri olmak üzere iki tip veri ile

çalışılmıştır. Son olarak askıda katı madde taşınımında hangi parametrenin daha etkin olduğunu bulmak üzere 523-Acısü İstasyonu yatak yükü dane çapı ile askıda katı madde dane çapı parametreleri için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Tez çalışmasının ilk bölümünde akarsularda katı maddenin taşınımı ve bunun önemi ile konuyla ilgili yapılmış çalışmalara değinilirken, ikinci bölümde ise katı maddeyi oluşturan iki bileşenin, akım ve katı maddenin genel karakteristikleri ile ölçüm yöntemleri tanıtılmaktadır. Üçüncü bölümde tezde uygulanmış yöntemler ve dördüncü bölümde de teze konu olan Ege Bölgesi havzaları, akarsuları ve istasyonlardan bahsedilmektedir. Beşinci bölümde ise istasyonlardan temin edilmiş numunelerin arazi ve laboratuvar çalışma bulguları ile modellerde dikkate alınan performans değerlendirme ölçütleri anlatılmıştır. Tablo 1.1’de özetlendiği gibi altıncı bölümde istasyon bazında yapılmış çalışmalar yer almakta, bu bölümde istasyonlara uygulanmış tüm modellerin performans değerlendirme ölçüt sonuçları ve grafikleri sunulmaktadır. Yedinci bölümde ise bölgesel çalışma ile duyarlılık analizine değinilmiştir. Sekizinci bölümde de tez çalışmasının sonuçları anlatılmaktadır.

Tablo 1.1 Tez çalışmasının adımları

Yöntemler		İstasyonlar						
		523- Acısu		518-M.	601-	701-		
		Veri Seti I	Veri Seti II	Köprüsü	Selçuk	Kayırlı		
İstasyon Bazında Yapılan Çalışmalar	Sediment anahtar eğrisi (SRC)	✓	✓	✓	✓	✓		
		Regresyon Metotları	Doğrusal (MLR)	✓	✓	✓	✓	
			Doğrusal olmayan (NLMR)	✓	✓	✓	✓	
	Yapay Zeka Metotları	ANFIS	✓	✓	✓	✓	✓	
		ANN	LM Algoritması	✓	✓	✓	✓	
			CG	SSL modeli	✓	✓	✓	✓
			Alg.	Eksik veri Tamamlama	✓			
	Ampirik Yaklaşımlar	Lane, Kalinske	✓		✓	✓	✓	
		Einstein	✓		✓	✓	✓	
		Brooks	✓		✓	✓	✓	
		Chang, Simons, Richardson	✓		✓	✓	✓	
		GA-Brooks	✓		✓	✓	✓	
	Bölgesel Çalışma	Yapay Zeka Metotları	Memba Yaklaşımı	✓			✓	
			Mansap Yaklaşımı			✓	✓	
			Tüm istasyonlar birlikte	✓		✓	✓	✓
Ampirik Brooks Metodu		Memba Yaklaşımı (Ham veri, std. veri)	✓				✓	
		Mansap Yaklaşımı (Ham veri, std. veri)			✓	✓		
		Tüm istasyonlar birlikte (Ham veri, std. veri)	✓		✓	✓	✓	
		Duyarlılık Analizi	✓					

BÖLÜM İKİ

AKARSULARDA KATI MADDE

2.1 Akarsularda Katı Madde Hareketi

Katı madde taşınımı konusu yerkürede yeşil alanların gittikçe yok olması, küresel iklim değişikliğinin temiz su kaynaklarına olumsuz etkisi, hızla artan sanayi ve endüstrileşme gibi çevresel etkilerden dolayı son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Erozyona maruz toprakların artışı akarsularda taşınan sediment miktarını artırırken, endüstriyel ve tarımsal atıkların akarsulara boşaltılması, tabandaki katı maddelerin toksitlerle kirlenmesine neden olmaktadır. Bu da, başta sulama olmak üzere çeşitli kullanım amaçlarıyla suları derlenen akarsularda su kalitesi sorununu gündeme getirmektedir (Nagy ve diğ., 2002).

Akarsularla ilgili pek çok mühendislik probleminde akarsularda taşınan sediment miktarının bilinmesi ön koşullardan birisidir. Bu nedenle, öncelikle akım ve sediment kavramlarını detaylı incelemek gerekmektedir. Akım su katı madde ve hava içeren, homojen olmayan bir karışımdır. Akarsu yatağı ve akım devamlı olarak birbirini etkileyen iki faktördür. Akarsularda su beraberinde katı maddeleri de taşır. Katı maddeyi akarsuya ulaştıran etkenler şunlardır:

- Akarsu havzasında yağmurlardan ve eriyen kardan meydana gelen yüzeysel akışın oluşturduğu erozyon,
- Akarsuyun kendi yatağında meydana gelen oyulma,
- Akarsu şevlerinde oluşan yer yer kütleli sökümler.

Akarsuyun katı maddeyi taşıma gücü, su hızının azaldığı yerde azalır ve katı madde o bölgede çökmeye başlar. Akarsuyun hızı göllerin ve baraj göllerinin girişinde ve akarsuyun denizle birleştiği nehir ağızlarında azalarak sığa doğru yaklaşır, akarsu tarafından taşınan katı madde de bu bölgelerde yığılarak alüvyal kesimleri oluşturur (Özbek ve Özcan, 2001).

Akarsulardaki katı maddenin sınıflandırılması taşıma şekline ve taşınan malzemenin kaynağına göre iki şekilde olur.

1) Akarsudaki taşıma şekline göre sınıflandırmada katı madde iki türlü hareket yapar:

a)Sürüntü ve sıçrama hareketi: Akarsuyun hızının artması ile tabandaki kayma gerilmeleri de artacağından tanelerin bazılarının harekete geçtiği görülür. Bu hareket düşük hızlarda tanelerin taban üzerinde kayma ve yuvarlanması şeklinde olur. Buna “sürüntü hareketi” denir. Sürüntü hareketi yapan tanelerin ağırlığını doğrudan doğruya kanal tabanı taşımaktadır. Akım hızının artmasıyla tanelerden bazıları yataktan kopup küçük sıçramalar yaparlar. Sürüntü ve sıçrama hareketini birbirinden ayırmak oldukça zordur. Tane yakınındaki basıncın değişmesi ya da başka bir tanenin çarpması sıçramanın nedeni olabilirken, su içindeki bu hareket akışkanın viskozitesi arttıkça azalacağından hesaplarda sıçrama hareketi dikkate alınmaz.

b)Askı hareketi: Akarsuda daha yüksek hızlarda tanelerin hareketi daha da şiddetlenir. Bazı taneler düşey türbülans nedeniyle tabandan uzakta hareketlerine devam eder. Buna “askı (süspansiyon) hareketi” denir. Askı hareketi yapan tanelerin ağırlığı akışkan aracılığıyla kanal tabanına iletilir. Akarsuda askı hareketi yaparak ilerleyen bir tanenin hızı o noktadaki akım hızına eşit olmaktadır.

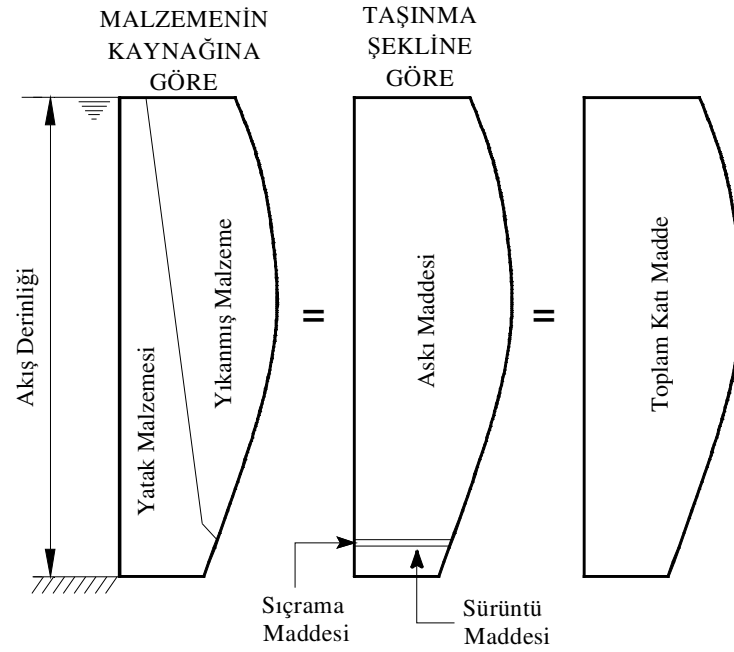
Katı madde taşınım teorisinde bu iki hareket şekli oldukça önemli olmakla birlikte, sürüntü ve askı hareketlerini birbirinden ayırmak oldukça zordur. Askı halinde taşınan malzeme genellikle çok ince taneli olmakla birlikte, yüksek eğimli, hızı ve türbülans şiddeti çok fazla olan bir akarsuda, iri tanelerin bile askıda taşındığı görülebilir (Bayazıt, 1971; Özbek ve Özcan, 2001).

2) Akarsularda katı madde kalzemenin kaynağına göre ise iki grupta toplanır:

a)Yatak malzemesi: Yatak yükü olarak da adlandırılan bu malzeme hareketli bir tabanı oluşturan malzemedir.

b)Yıkanmış malzeme: Yıkanmış malzemenin çoğunluğunu havza erozyonundan gelen ve yatak malzemesinden daha ince olan malzeme oluşturur.

Şekil 2.1’de katı maddenin taşıma şekline ve taşınan malzemenin kaynağına göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.1 Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımı (Bayazit, 1971)

2.2 Akım ve Katı Maddenin Özellikleri

Akarsuda su ve katı madde birlikte hareket ettiği için her iki maddenin de karakteristik özelliklerini bilmek gerekir.

2.2.1 Akımın Karakteristikleri

Akıma ait karakteristikler, özgül kütle, özgül ağırlık, elastisite modülü, yüzeysel gerilme, kinematik viskozite ve buharlaşma basıncıdır. Akıma ait karakteristikler ve bu karakteristiklerin 20°C’deki sayısal değerleri Tablo 2.1’de sunulmaktadır.

Tablo 2.1 Akım karakteristikleri (Özbek ve Özcan, 2001)

	Formülasyon	Değeri
Özgül kütle (20°C)	$\rho = m / V$	1000kg/m ³ =1 ton/m ³
Özgül ağırlık	$\gamma = g * \rho$	9810kg/m ² s ² (9,81 kN/m ³ ; 9,81 kPa/m)
Elastisite modülü (20°C)	$E = dP / (dV / V)$	2,1*10 ⁹ Pa
Yüzeysel gerilme	N/m	73 mN/m
Kinematik viskozite (20°C)	$\nu = \mu / \rho$	1,007 *10 ⁻⁶ m ² /s
Buharlaştırma basıncı (20°C)	kN/m ²	2,5 kN/m ²

2.2.2 Katı Maddenin Karakteristikleri

Dane çapı, dane şekli, özgül kütlesi, granülometri eğrisi, çökme hızı gibi özellikler katı maddeyi tanımlayan parametrelerdir.

a) **Dane çapı** (d); katı maddenin en önemli özelliklerindendir. Üç farklı dane çapı tanımlanır;

- Elek çapı ; danelerin geçebileceği elek çapıdır.
- Nominal çap ; hacmi küreninkine eşit olan dane çapıdır.
- Katı madde çapı ; aynı akışkan içerisinde çökme hızı ve özgül ağırlığı daneninkine eşit olan kürenin çapıdır.

b) **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 (Dietrich, 1982):

$$\text{ŞF} = c / \sqrt{ab} \quad (2.1)$$

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.

c) **Katı maddenin özgül kütlesi** (ρ_s); birim hacimdeki sedimentin özgül kütlesi olup, kum için 2650 kg/m^3 'tür. Sediment danesinin özgül ağırlığı (γ_s) ise birim hacim ağırlığıdır ve şu şekilde tanımlanır:

$$\gamma_s = g * \rho_s \quad (2.2)$$

Burada g , yerçekimi ivmesidir.

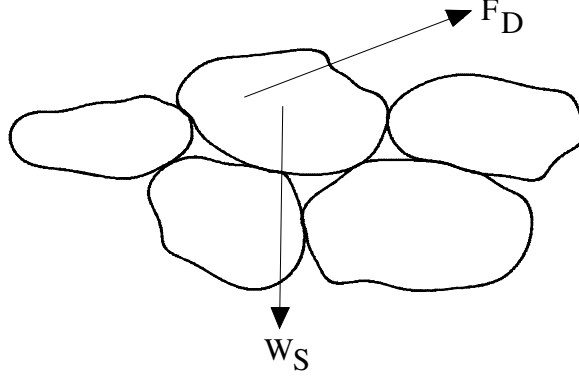
Sedimentin su içindeki özgül ağırlığı (Δ); sedimentin su içindeki özgül ağırlığının suyun özgül ağırlığına oranıdır.

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (2.3)$$

d) **Dane granülometri eğrisi**; malzeme çapı yatayda, elekten geçen malzemenin yüzdesi düşeyde gösterilerek malzemenin granülometri eğrisi çizilir. Granülometri eğrisi dane dağılımı histogramının kümülatif toplamından elde edilir. Katı madde taşınımında “ d_{90} ”, “ d_{65} ”, “ d_{35} ” ve “ d_{50} ” gibi çaplar önem taşır, bu bilgiler granülometri eğrisinden elde edilir.

e) **Danenin çökelme hızı** (ω); askı maddesi hareketinin incelenmesinde ve akarsularda katı madde yığılım problemlerinin çözümünde önemli bir parametredir. Su içerisine bırakılan bir danenin hızı gittikçe artar ve sabit bir değere ulaşır, bu sabit değere danenin çökelme hızı denir. Çökelme hızı, akarsuda askıda giden katı danelerin, dane çapı, biçim faktörü ve su sıcaklığı gibi farklı karakteristiklerine bağlı olarak değişir (Şentürk,1969; Bayazıt, 1971). Suyla sediment arasındaki yoğunluk farkı, akışkan viskozitesi, sediment tanesinin yüzey pürüzlülüğü, sediment çapı ve şekli, askı maddesi konsantrasyonu ve akımın türbülansı ile doğrudan ilişkilidir.

Şekil 2.2’de denge halindeki bir sediment danesine etkiyen kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Denge halindeki bir sediment danesi

Buna göre bir sediment danesine etkiyen sürüklenme kuvveti (Özbek ve Özcan, 2001; Yang, 1996);

$$F_D = C_D \rho A \frac{\omega^2}{2} \quad (2.4)$$

şeklindedir. Bu denklemden;

A ; parçacığın çökme yönündeki alanını,

ω ; çökme hızını,

C_D ; akımın sürüklenme katsayısını gösterir.

Danenin su içindeki ağırlığı ise (Özbek ve Özcan, 2001; Yang, 1996);

$$W_s = \frac{4}{3} \pi d^3 (\rho_s - \rho) g \quad (2.5)$$

olarak tanımlanır. Burada;

d ; sedimentin dane çapını,

ρ ;suyun özgül kütleini,

ρ_s ;sediment danesinin özgül kütleini,

g ; yerçekimi ivmesini gösterir.

Askıda bir dane için 2.4 ve 2.5 denklemleri birlikte çözümlerse, bu kuvvetlerin dengesinden çökme hızı (ω) bulunur. Denklemden yer alan sürüklenme katsayısı Reynolds (Re) sayısının bir fonksiyonudur. Sürüklenme katsayısı ile Re sayısı arasındaki ilişki çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiş ve farklı yaklaşımlar ortaya çıkmıştır (Goldstein, 1929; Oseen, 1927; Rubey, 1933). Literatürde çökme hızına ait Stokes Denklemi, Newton Denklemi ve Rubey Denklemi gibi birçok bağıntı vardır (Graf, 1984; Yang, 1996). Çökme hızıyla ilgili yeni çalışmalar Dietrich (1982) ile Jimenez ve Madsen (2003)'de bulunabilir. Bölüm 3.4'de ampirik bağıntıların uygulanmasında çökme hızı bağıntısı olarak Denklem (2.6) dikkate alınmıştır (Julien, 2002).

$$\omega = \frac{8v}{d} \left\{ \left[1 + \frac{(\gamma_s/\gamma - 1)g}{72v^2} d^3 \right]^{1/2} - 1 \right\} \quad (2.6)$$

Burada,

d ; askıda taşınan malzemenin dane çapını,

v ; kinematik viskoziteyi,

γ ; suyun özgül ağırlığını,

γ_s ; sedimentin özgül ağırlığını göstermektedir.

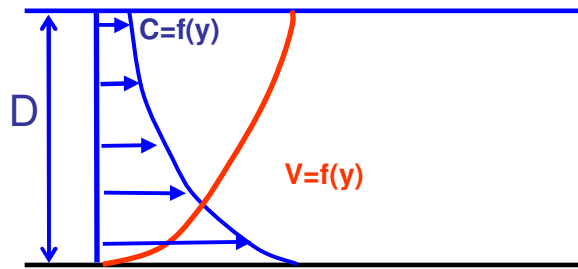
2.3 Askıda Katı Madde Ölçüm Teknikleri

Akarsularda taşınan sediment miktarının ölçülmesi, akarsudaki sediment yükünün düzgün bir şekilde belirlenebilmesi ve kurulan analitik ya da ampirik yaklaşımların kontrolü açısından son derece önem taşır. Bu ölçümler taşınmanın şekline göre askı malzemesi ya da yatak yükü olarak farklılık gösterir. Sediment miktarını ölçebilmek için tarih boyunca pek çok cihaz geliştirilmiş fakat bunların çok azı literatürde kabul görmüştür (Simons ve Şentürk, 1992). Akarsu enkesitinden geçen askıda taşınan katı madde ile yatak yükünün toplamı, akarsu da taşınan toplam sediment miktarını verir. Sediment yükü iki farklı şekilde hesaplanır:

1) Direkt metotlar; bir kesitten belirli bir zaman içerisinde geçen sedimentin ağırlığını hesap eder. Akarsuyun belirli kesimlerine kapanlar teşkil edilir. Yatak yükünü hesaplamaya uygundur. Ülkemizde askıda katı madde ölçümleri yapılmakta, yatak yükü ise ölçümü hesaplanan askıda katı madde miktarının belirli bir yüzdesi (genelde %10-20) olarak kabul edilmektedir (EİE, 2006). Yatak yükü hesapları, özellikle kanal stabilitesini ve kanal yatağını etkilediği için önem kazanır (Bayazıt, 1988).

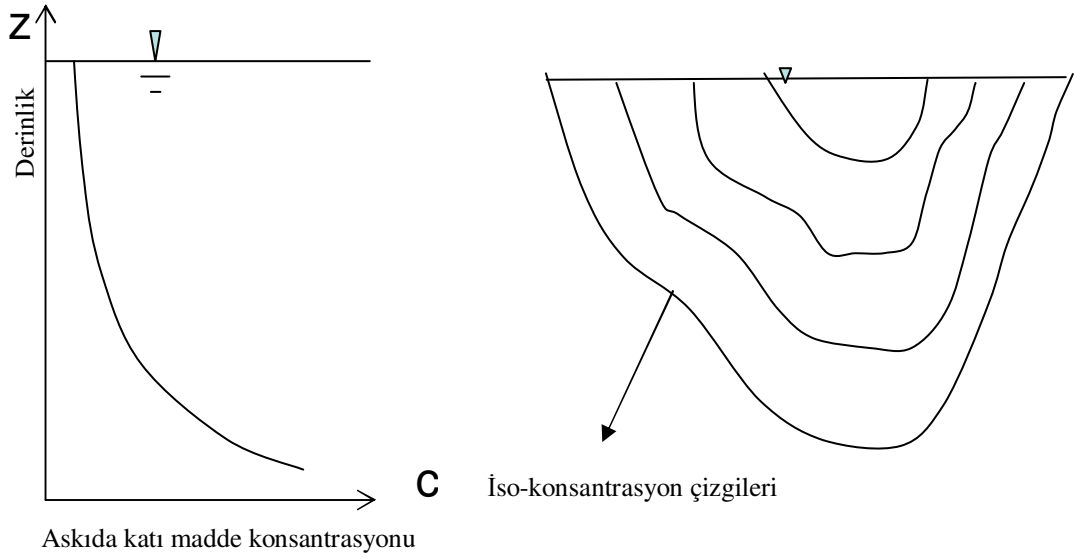
2) İndirekt metotlar; bu yöntemlerde sediment konsantrasyonu, hareket halindeki parçacıkların hızı ve ölçümün yapıldığı enkesit ile ilişkilendirilir. Bir akarsuda askıda katı maddenin ölçümü indirekt metotların kullanımı ile gerçekleşir ve bu da konsantrasyon ve hız ölçümlerini bir araya getirerek olur. Akarsuda o anda ölçülen hız, askıda taşınan katı maddenin de hızı olarak kabul edilir.

Derinlik boyunca konsantrasyon ve hız dağılımı birbirlerine göre durumları Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Enkesit boyunca derinliğin fazla olduğu yerde konsantrasyon da fazladır. Askıda katı maddenin akarsu boyunca düşey ve yataydaki değişimleri Şekil 2.4'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.3 Derinlik boyunca hız ve konsantrasyon dağılımı

Çalışmada söz konusu olan askıda taşınan malzeme olduğundan askıda katı maddenin ölçüm yöntemleri üzerinde durulacaktır.



Şekil 2.4 Askıda katı maddenin akarsu içindeki düşey ve yatay dağılımı

Askıda katı madde iki farklı şekilde ölçülmektedir.

1. **Nokta entegrasyonu yöntemi:** Bu yöntemde düşey ölçüm aksları üzerindeki noktalar üzerinden numuneler alınır. Tek noktalı yaklaşımda su yüksekliğinin % 60'ından ölçüm alınırken, iki noktalı yaklaşımda ya su yüzeyinden ve tabandan ölçüm alınıp Denklem 2.7'de gösterildiği gibi ortalama alınır ya da su derinliğini % 20 ve % 80'ninden ölçüm yapılarak ortalama konsantrasyon bulunur (Denklem 2.8).

$$\bar{C} = \frac{C_{\text{taban}} + C_{\text{yüzey}}}{2} \quad (2.7)$$

$$\bar{C} = \frac{3}{8}C_{80} + \frac{5}{8}C_{20} \quad (2.8)$$

Denklemlerde,

\bar{C} ; ortalama konsantrasyonu,

C_{taban} ; tabandan alınan konsantrasyonu,

$C_{\text{yüzey}}$; yüzeyden alınan konsantrasyonu,

C_{80} ; su derinliğinin %80'indeki konsantrasyonu,

C_{20} ; su derinliğinin %20'sindeki konsantrasyonu göstermektedir.

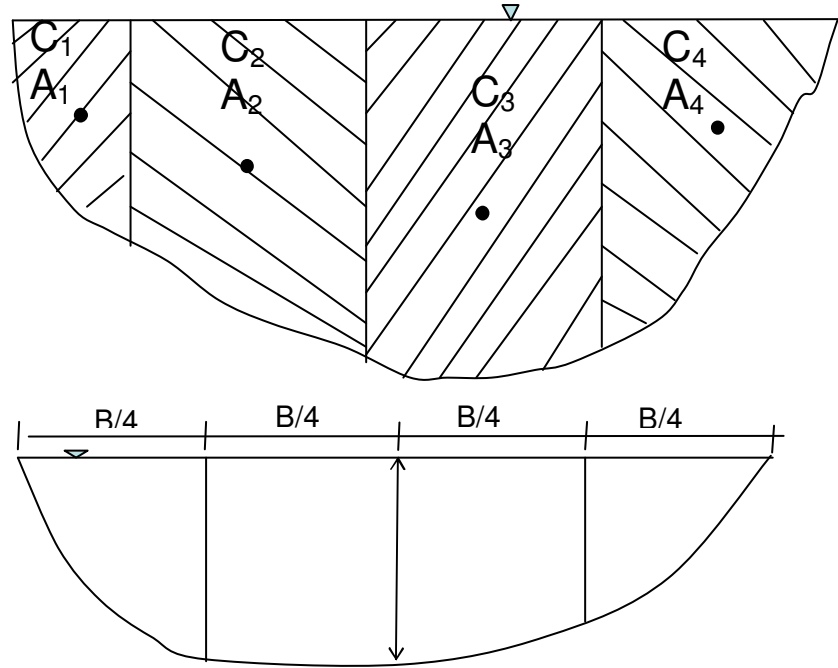
Üç noktalı yaklaşımda ise, su yüzeyinden, su derinliğinin orta noktasından ve su tabanından numune alınarak ortalama konsantrasyona geçilir (Denklem 2.9).

$$\bar{C} = \frac{C_{\text{taban}} + C_{\text{ort}} + C_{\text{yüzey}}}{3} \quad (2.9)$$

Burada,

C_{ort} ; su derinliğinin orta noktasından alınan örnekteki konsantrasyonu gösterir.

2. Derinlik entegrasyonu yöntemi: Ortalama su hızına bağlı olarak belirlenecek bir zaman dilimi içinde numune alma aletinin su yüzünden dibe indirilip çıkarılması ile ölçüm gerçekleştirilir. Düşey kesit boyunca numunenin homojenliği sağlanmış olacağından derinlik entegrasyonu yöntemi akarsu enkesitini en iyi temsil edebilen, en çok tercih edilen ve EİE tarafından akarsularda kullanılan yöntemdir. Derinlik entegrasyonu yönteminden önce akarsu kesitlere ayrılır. Akarsuyun genişliğine göre genelde 3, 6 ya da 10 parçaya ayrılır. Ve bu kesitlerdeki su yüksekliği okunup, alan hesap edilir. Şekil 2.5’de akarsuyun kesitlere ayrılması görülmektedir (Alışık, 1995; DSİ, 2007; Özbek ve Özcan, 2001).



Şekil 2.5 Akarsuyun kesitlere ayrılması

Derinlik entegrasyonu yönteminde kullanılan 2 tip ölçüm aleti mevcuttur. USDH-48 elden sediment numunesi alma aleti olarak adlandırılır ve sığ sularda akarsuya girerek numune almaya yarar. Alet esas itibariyle 33 cm uzunluğunda ve 1,6 kg ağırlığındadır. İçine şişe yerleştirilebilen alüminyum bir muhafazadan ibarettir. Pirinçten imal edilen giriş ağızlığı aletin baş kısmına vidalanır (Şekil 2.6). Numune alınırken alet tabana sabit bir hızla indirilmeli ve yukarıya doğru yine sabit hızla çekilmelidir. Numune şişesinin 3/4 ünün dolu olmasına dikkat edilir.

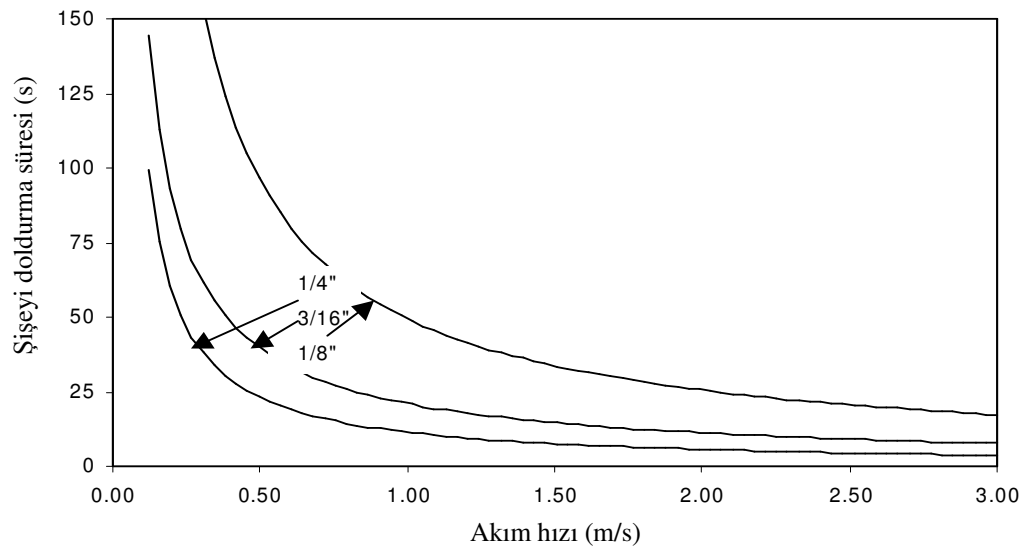


Şekil 2.6 Gediz Nehri'nde USDH-48 ile gerçekleştirilen bir ölçüm

USD-49 ise derinliği 4-5 metreyi geçmeyen sulardan askı maddesi almaya yarar. Şekil 2.7'de görülen ölçüm aleti 28 kg civarında olup, balık şeklindedir ve içinde 395cc.'lik numune alma şişesinin yerleştirilebilmesi için bir boşluk vardır. Aleti akış istikametinde tutmaya yarayan kuyruk kısmı ile hava çıkış deliği bir bütün olarak dökülmüştür. Giriş ağızlıkları 3/16, 1/4 ve 1/8 inch çapındadır. Giriş ağızlıklarına ve akım hızına göre şişeyi doldurma süresi Şekil 2.8'de verilmiştir. Bu alet tipinde de USDH-48 de olduğu gibi numune şişesinin 3/4 ünün dolu olmasına dikkat edilir. Okumalardan ortalama bir konsantrasyon elde edilmiş olur. Burada önemli olan aletin ağzının akım doğrultusuna dik durmasıdır (Alışık, 1995; DSİ, 2007).



Şekil 2.7 USD-49 Askıda katı madde numune alma aleti (USD-49)



Şekil 2.8 Giriş ağızlıkları ve akım hızına göre şişeyi doldurma süresi

USDH-48 ya da USD-49 kullanılarak Şekil 2.5'deki gibi akarsu enkesiti boyunca ölçüm gerçekleştirildikten sonra laboratuvara giden numunelerin sediment konsantrasyonu Denklem 2.10 ile hesaplanır ve genellikle bir milyondaki parçacıklar [parts per million (ppm)] olarak ifade edilir. Yani kuru ağırlığın, toplam sediment ve su karışımının ağırlığına oranı şeklindedir;

$$C(ppm) = \frac{\text{Kuru sediment ağırlığı} * 10^6}{\text{Su + sediment ağırlığı}} \quad (2.10)$$

2.11 denklemleri ile enkesiti temsil eden ortalama bir konsantrasyon hesaplanır;

$$\bar{C} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3 + C_4 A_4 + \dots + C_i A_i}{\sum A} \quad (2.11)$$

Burada

A_i ; ayrılan kesitlerin her birinin alanını,

C_i ; bu kesitlerde hesaplanan sediment konsantrasyonunu göstermektedir.

Alınan bu numuneler ile akarsuyun belirli bir debisindeki süspanse sediment konsantrasyonu belirlenmiş olur. Akarsuyun taşıdığı sediment yükü (süspanse sediment miktarı) ise, o anda ölçülmüş debi ile ortalama konsantrasyonun çarpılması ile oluşur (EİE, 2006);

$$SSL(t) = \bar{C} * Q(t) * 0,0864 \quad (2.12)$$

Denklemdaki,

$Q(t)$; akarsudaki akım (m^3/s),

$SSL(t)$; akarsuda taşınan askıda katı madde yükü ($ton/gün$),

\bar{C} ; ortalama sediment konsantrasyonunu (ppm) ifade eder. Denklemdaki $0,0864$ katsayısı $ton/gün$ birimine geçiş yapabilmek içindir.

Debi değerleri yatay ekseninde ve o debiye tekabül eden sediment yükü değerleri dişey ekseninde noktalanırsa, bu noktaların belirlediği eğri ile sediment anahtar eğrileri elde edilir. Her istasyon için oluşturulan bu eğrilerden her yıl için taşman sediment miktarları (*ton/yıl*) elde edilir. Bu sonuçlardan yararlanılarak, her istasyonun havzasının birim alanından gelen havza sediment verimi değerleri (*ton/yıl/km²*) hesaplanır (Alışık, 1995; DSİ, 2007; Vanoni, 1977).

BÖLÜM ÜÇ

ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 Sediment Anahtar Eğrisi (SRC)

Akarsuda taşınan katı maddeyi akımla ilişkilendiren ve EİE tarafından Türkiye’de tüm akarsularda sediment modeli olarak kullanılan, Sediment Anahtar Eğrisi (SRC) modeli regresyona dayalı bir denklem şeklinde ifade edilir (EİE, 2006; Julien, 2002):

$$SSL_{(t)} = aQ_{(t)}^b \quad (3.1)$$

Burada,

a ile b ; akım karakteristiklerine bağlı regresyon katsayılarıdır.

Regresyon katsayıları genellikle, akım ve askıda katı madde yükünün logaritmik dönüşümü ile bulunur. EİE kurumu genellikle bu yöntemi aynı havza içinde askıda katı madde ölçüm verisi olmayan istasyonlarda taşınan katı maddeyi bulmada kullanır. Bu yöntem, çoğunlukla en büyük yüklerin olduğundan daha az ve en küçük yüklerin ise olduğundan çok daha fazla tahmin edilmesine yol açmaktadır (Asselman, 2000; Ülke ve diğ., 2009; Walling ve Webb, 1988).

3.2 Regresyon Metotları

Ege Bölgesi akarsularında katı madde tahmin çalışmalarında doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon olmak üzere iki farklı regresyon modeli uygulanmıştır.

3.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)

Y bağımlı değişkeninin $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ gibi bağımsız değişkenlerden etkilendiği kabul edilir ve aralarındaki ilişki için doğrusal bir denklem seçilirse y' nin regresyon denklemi şu şekilde yazılır:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m \quad (3.2)$$

Bu denklemde y , bağımsız değişkenler $X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_m = x_m$ değerlerini aldığımda Y değişkeninin beklenen değerini göstermektedir. a, b_1, b_2, \dots, b_m regresyon katsayıları, gözlem noktalarının regresyon denkleminin gösterdiği düzlemden olan e_{yi} uzaklıklarının kareleri toplamını minimum yapacak şekilde hesaplanır (Bayazıt ve Oğuz, 1998):

$$\sum_{i=1}^N e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a - b_1x_{1i} - b_2x_{2i} - b_mx_m)^2 \quad (3.3)$$

3.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR)

Askıda katı madde taşınımı nonlineer bir olay olduğundan, bu çalışmada çoklu nonlineer regresyon modelleri de dikkate alınmıştır. Literatür araştırıldığında Polynomial doğrusal olmayan regresyon modellerinin çokça kullanıldığı görülmüştür (Jain ve Indurthy, 2003). Bu yüzden, bu çalışmada da polynomial modeller dikkate alınmıştır. Çoklu doğrusal olmayan regresyon denklemleri şöyle ifade edilebilir;

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + \dots \quad (3.4)$$

Bu çalışmada beş farklı polynomial model çalışılmış eğitim setinde en iyi sonucu (en iyi determinasyon katsayısını) veren model diğer senaryolarda denenmiş ve test setine uygulanmıştır. Denklemlerdeki X_i değişken değerini göstermek üzere;

$$1_ SSL = b_0 + b_1X_1^2 + b_2X_2^2 + b_3X_3^2 \dots \quad (3.5)$$

$$2_ SSL = b_0 + b_1X_1^3 + b_2X_2^3 + b_3X_3^3 \dots \quad (3.6)$$

$$3_ SSL = b_0 + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_3 + b_6X_3^2 \dots \quad (3.7)$$

$$4_ SSL = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_1^3 + b_3 X_2 + b_4 X_2^3 + b_5 X_3 + b_6 X_3^3, \dots \quad (3.8)$$

$$5_ SSL = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_1^2 + b_3 X_1^3 + b_4 X_2 + b_5 X_2^2 + b_6 X_2^3, \dots \quad (3.9)$$

3.3 Yapay Zeka Yöntemleri

Verilerinin tamamı doğa olayları olan hidroloji bilim alanında, klasik yöntemlerle her zaman iyi modeller oluşturulamamaktadır. Çünkü, doğal olaylar birçok rastgele değişkenden etkilenmektedir ve aralarındaki lineer olmayan ilişkilerden dolayı söz konusu probleme son derece bağımlıdır. Karşılaşılan tüm bu zorluklardan dolayı araştırmacılar lineer olmayan problemlerin çözümü için farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Literatürde yapay zeka yöntemleri olarak bilinen bu grup içerisinde yapay sinir ağları, bulanık mantık, sinirsel bulanık sistemler ve genetik algoritma gibi yöntemler vardır.

Bu çalışmada askıda katı madde tahmini için yapay zeka yöntemlerinden yapay sinir ağları ve adaptif sinirsel bulanık sistemler kullanılmıştır.

3.3.1 Yapay Sinir Ağları (ANN)

Yapay sinir ağları (ANN), insan beyninin çalışma mekanizması taklit edilerek geliştirilen ve biyolojik olarak insan beyninin yaptığı işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçlayan bir programlama tekniğidir. ANN, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan karmaşık sistemlerdir. Böylece biyolojik beynin en önemli özelliklerinden biri olan öğrenme olayı matematiksel modellerce taklit edilmektedir.

Öğrenilen her yeni bilgi, beyin fonksiyonlarını da etkileyerek davranışlarda kendini gösterir. Sinir ağlarının geliştirilmesinde insan beyninin bu özelliği dikkate alınmaktadır (Ham ve Kostanic, 2001; Haykin, 1999).

Yapay sinir ağıları, bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkararak, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritmadır (Keskin ve Terzi, 2001). İnsan beyninin çalışma şeklinin matematiksel modellere aktarılması, Mcculloch ve Pitts'in 1940'larda, bir biyolojik nöronun temel fonksiyonlarını basit bir eşik cihazı olarak modellenebileceğini göstermeleriyle başlamıştır. Widrow ve Hoff 1960 yılında bu basit nöron modelini kullanarak öğrenebilen ilk Adaline adı verilen adaptif sistemler üzerinde çalışmış ve delta kuralı diye bilinen; gerçek çıkış ile istenen çıkış arasındaki farka eşit bir hata terimi kullanarak bağlantı ağırlıklarının değiştirildiği bir öğrenme kuralını ortaya koymuşlardır. Rumelhart 1986 yılında "Parallel Distributed Processing" adlı kitabında, ileri beslemeli (feed-forward) ağlarda yeni bir öğrenme modeli olan hatanın geriye yayılım algoritmasını (backpropagation algorithm) geliştirerek daha önce bu konuda iddia edilen aksaklıkların aşılabileceğini göstermiştir (ASCE, 2000b; Ham ve Kostanic, 2001; Haykin, 1999).

Sınıflandırma, regresyon ve zaman serilerinin tahmini gibi değişik alanlarda kullanılan ANN uygulamalarının en büyük avantajı, karmaşık modellere gereksinim duymaksızın yalnızca ağı eğitimi ile problemlere çözüm getirebilmesidir. ANN, sahip olduğu özelliklerden dolayı alışılmış bilgi işleme yöntemlerinden farklılık gösterir. Bu özellikler paralellik, hata toleransı, öğrenilebilirlik ve gerçekleştirme kolaylığıdır. ANN'de bilgilerin işlenmesi paralel olarak gerçekleştirildiğinden taşınan bilgiler birbirinden bağımsızdır. Paralel çalışma prensibinden dolayı herhangi bir birimde meydana gelen hata, tüm sistemde belirgin bir hataya neden olmamaktadır. Sadece hücrenin ağırlıkları oranında bir etkilenme gerçekleşmektedir. Böylece genel sistem yerel hatalardan en az şekilde etkilenmektedir. (ASCE, 2000 a, b). Yapay sinir ağlarının en önemli dezavantajı ise eğitim aşamasının uzun sürebilmesidir, bunun nedeni de eğitim sırasında, uygun ağ yapısının belirlenmesinde kesin kuralların olmayışı ve gizli katman ile buradaki nöron sayısının deneme-yanılma yoluyla saptanmasıdır. ANN'de iki tip öğrenme şekli vardır; danışmanlı ve danışmansız öğrenme. Danışmanlı öğrenmede ağı bulması beklenen doğru sonuçlar sisteme verilir, istenilen çıkışla ağ çıkışı arasındaki farka göre, nöronlar arası

bağlantıların ağırlıkları düzenlenir. Bu yüzden danışmanlı öğrenme algoritmasının bir öğretmene veya danışmana ihtiyacı vardır. Danışmansız öğrenme de ağın istenilen çıkış değerini bilmesine gerek yoktur. Sadece giriş verileri ağa uygulanır. Girişe göre de bağlantı ağırlıkları ayarlanır. Aynı özellikleri gösteren örneklerde aynı çıkışlar, farklı özellikleri gösteren örneklerde de yeni çıkışlar oluşur.

ANN'nin genel amacı;

$$Y^m = f(X^n) \quad (3.10)$$

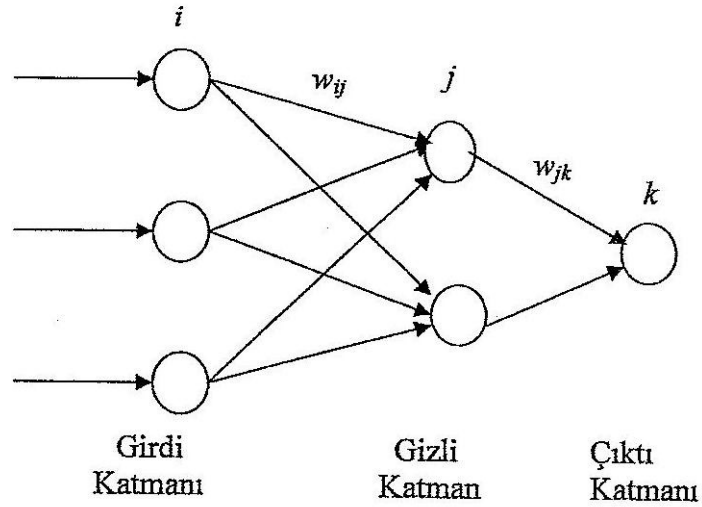
şeklindeki bir ilişkiyi genelleştirmektir. Burada \mathbf{X}^n , $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ değişkenlerinden oluşan n boyutlu girdi vektörü, \mathbf{Y}^m $(y_1, y_2, y_3, \dots, y_m)$ de tepki değişkenlerinden oluşan m boyutlu çıktı vektörüdür. Burada genelleştirme terimi, denklemdeki fonksiyonu açıkça göstermek değil, var olan ilişkinin, ağ yapısının parametreleri ile temsil edilmesidir (Sudheer ve diğ., 2002). Hidrolojide X değerleri yağış, sıcaklık, geçmiş akımlar, su seviyeleri, buharlaşma, havza karakteristikleri, rakım, eğim, kirlilik değeri ve meteorolojik veriler gibi bağımsız değişkenlerdir. Y değerleri ise akarsu akışı, hidrograf ordinatları, havzadaki yağış yükseklikleri, hidrolik iletkenlik, kirlilik konsantrasyonu ve bunlar gibi havzanın verdiği tepkilerdir.

3.3.1.1 Üç Katmanlı Bir Yapay Sinir Ağı ve Nöronların İşleyişi

Yapay sinir ağları, eğitim aşamasında kendisine verilen örnekler üzerinde kendini eğiterek bir çözüm sistemi geliştirmektedir. ANN'ler çok sayıda birbirine paralel işlemci eleman ve aralarındaki bağlantılardan oluşmaktadır, üç temel bileşeni vardır:

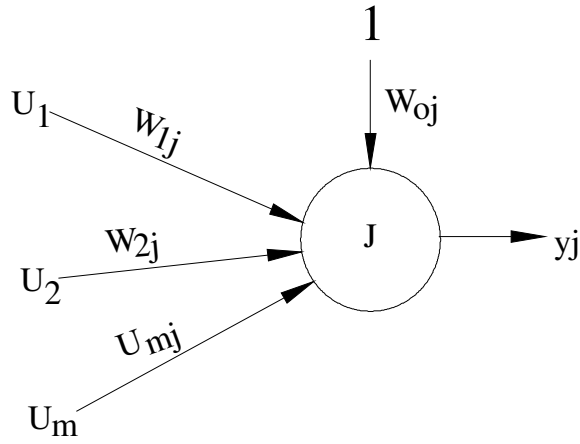
- Nöronlar
- Ağırlıklar (Bağlantı Gücü)
- Aktivasyon (Transfer) Fonksiyonu

Tipik bir üç katmanlı ileri beslemeli ANN mimarisi Şekil 3.1’de gösterildiği gibi bir girdi katmanı, bir gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşur. Buradaki i , j , k ifadeleri sırasıyla girdi, gizli ve çıktı katmanlarını gösterirken, w de nöronlar arası bağlantı gücünü gösterir. Sinyaller, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilirler. Nöronlar bir katmandan diğer katmana bağlantı kurarken, aynı katman içerisinde bağlantılı değildir.



Şekil 3.1 Üç katmanlı ileri beslemeli bir ANN mimarisi

Gizli katmandaki tipik bir nöronun işleyişi ise Şekil 3.2.’de görülmektedir. j nöronuna gelen girdiler bir önceki katmandan gelen çıktıların ağırlıklarla çarpılmış halidir. Bu değerlere bir de değeri 1 olan nöron eklenir. Bu da bias olarak adlandırılan bir ağırlık değeri ile çarpılır. j nöronuna gelen tüm bu çarpım değerleri Denklem 3.11’de gösterildiği gibi toplanarak hücreye gelen net bilgi bulunur. Bu net bilgi daha sonra bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek hücrenin çıktısı hesaplanır.



Şekil 3.2 Yapay sinir hücresi

$$net_j = \sum_{i=0}^m w_{ij} u_i \quad (3.11)$$

$$y_j = f(net_j) = \frac{1}{1 + e^{(-net_j)}} = \log sig(net_j) \quad (3.12)$$

Burada,

w_{ij} ; i ve j nöronları arasındaki ağırlık,

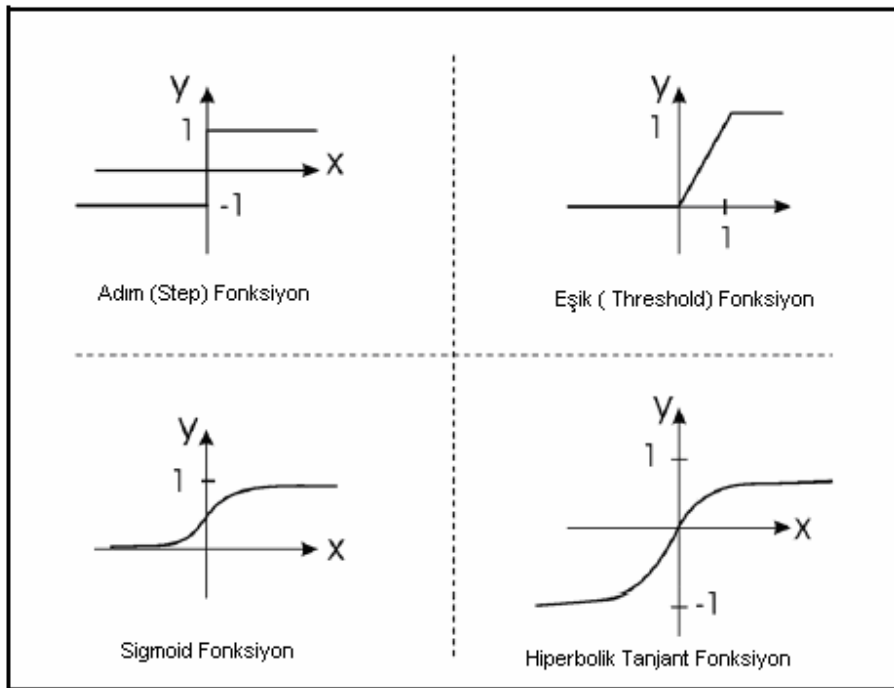
u_i ; bir önceki katmanından gelen, i nöronunun çıktısı,

m ; j nöronuna gelen girdilerin toplam sayısı,

y_j ; j nöronunun aktivasyon fonksiyonundan geçirilmiş çıktı halidir.

Aktivasyon fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Çıktıyı hesaplamak için kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından bazıları adım (step), eşik (threshold), sigmoid ve tanjant hiperbolik fonksiyondur. Ancak hidroloji biliminde en yaygın olarak kullanılan sigmoid fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonu, Denklem 3.12'de tanımlanmaktadır. Burada y_j , transfer fonksiyonu kullanılarak elde edilen j nöronundaki çıktı katmanıdır.

Sigmoid fonksiyonu, derecelendirilmiş, nonlinear cevabı sağlayan monoton, sabit, sınırlı bir fonksiyondur. Sigmoid transfer fonksiyonu bir önceki adımda hesaplanmış olan S_j değerlerini lineer olmayan bir şekilde $[0; 1]$ arasında sınırlandırıp gizli katmana, oradan da çıktı katmanına göndererek ANN'in çıkış üretmesini sağlar. Fonksiyonun en önemli özelliği, nonlinear eşleşme yapması ve eğitim aşamasında kullanılacak türevinin basit olmasıdır (ASCE, 2000b; Ham, ve Kostanic, 2001; Haykin,1999). Şekil 3.3'de ANN'da en çok kullanılan transfer fonksiyonları görülmektedir.



Şekil 3.3 ANN'de en çok kullanılan transfer fonksiyonları

3.3.1.2 Geri Yayınım (Back-Propagation) Algoritması

ANN'in eğitim aşamasında en çok kullanılan algoritması olan geri yayınım algoritması danışmanlı öğrenme stratejisine göre çalışır. Bu ağlara eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık üretilmesi gereken çıktılar gösterilir. Geri yayınım algoritmasının öğrenme kuralı, en küçük kareler yöntemine dayalı Delta Öğrenme Kuralı'nın genelleştirilmiş halidir. Geri yayınım algoritmasının iki temel adım vardır. Bunlardan ilki ileri besleme safhası (aktivasyon fazı), ikicisi hatanın geri yayılmasıdır. İleri besleme safhasında, ağdaki giriş sinyalleri işlenerek çıktı

katmanına ulaşılır, ANN'in ürettiği sonuçlar gerçek değerlerle kıyaslanarak şu şekilde hata miktarı bulunur (ASCE, 2000 a ; Ham ve Kostanic, 2001; Haykin, 1999);

$$E = \sum_P \sum_p (y_j - t_i)^2 \quad (3.13)$$

Burada,

E ; hata miktarı

t_i ; gerçek çıktı,

y_j ; ANN çıktısı,

p ; çıktı katmanındaki nöronların sayısı,

P ; eğitim setindeki örnek sayısıdır.

Bu hata ağda her bir nörona geri yayılır ve ona göre bağlantı ağırlıkları (3.14) denkleminde göre tekrar uyarlanır (ASCE, 2000 a ; Ham ve Kostanic, 2001; Haykin, 1999);

$$\Delta W_{ij}(n) = -\varepsilon * \frac{\partial E}{\partial W_{ij}} + \alpha * \Delta W_{ij}(n-1) \quad (3.14)$$

Denklemden,

$\Delta W_{ij}(n)$; i ve j nöronları arasındaki (n) iterasyondaki ağırlık değişimi,

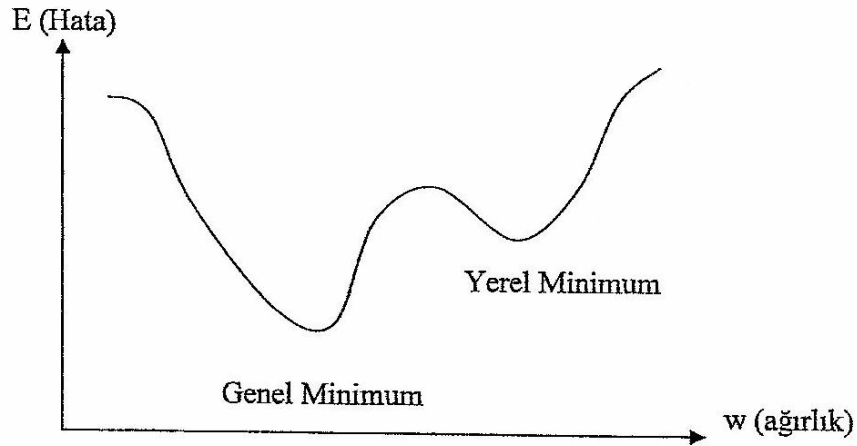
$\Delta W_{ij}(n-1)$; i ve j nöronları arasındaki (n-1) iterasyondaki ağırlık değişimi,

ε ; öğrenme katsayısı,

α ; momentum katsayısıdır.

Böylelikle çıktı tabakasındaki hata miktarı, ağırlıklar vasıtasıyla girdi katmanına doğru geri yayılarak yeni çıktıların oluşması için ağırlıkların güncellenmesi sağlanır. Bu işlem, hata kabul edilebilir hata seviyesine indirgenene kadar devam eder. Bir ANN ağında gizli katman bulunmuyorsa, hata yüzeyi parabolik bir dağılım

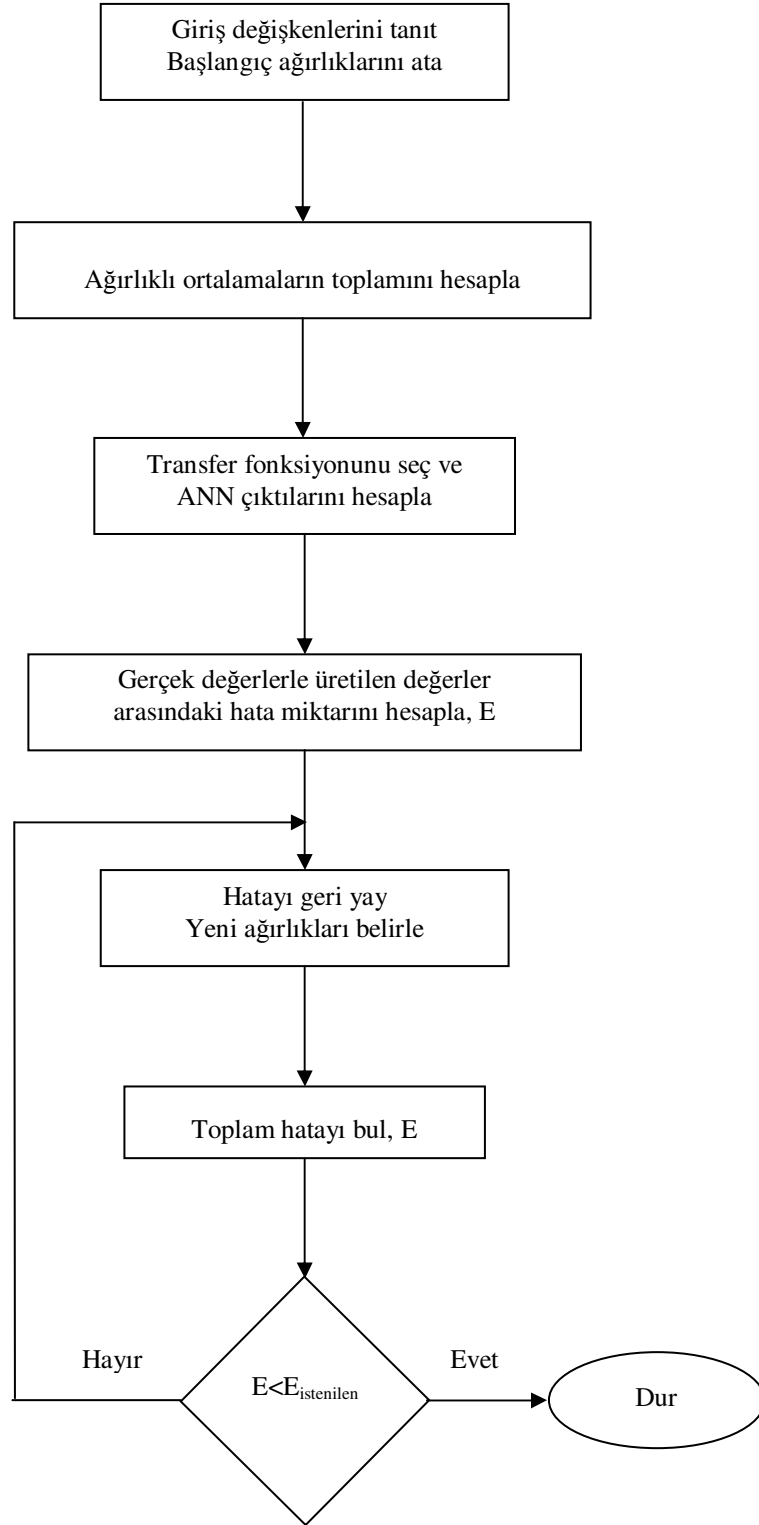
gösterdiğinden, her iterasyonda hatanın yavaş yavaş azalarak genel minimum hata değerine ulaşması kesindir. Fakat ağda gizli katmanlar varsa, hata yüzeyi parabolik olmayacağı için ağırlıkların ayarlanması sırasında Şekil 3.4’de gösterildiği gibi yerel minimumlara takılabilir. Hata değerleri gerçek ve hesaplanan değerler arasındaki farktır ve modelin performansını gösterir. Ağ, minimum hata pozisyonuna ulaşmaya çalışırken sıklıkla zikzak bir yolu izler bu da eğitim sürecini yavaşlatabilir. Başarılı ve hızlı bir eğitim süreci için, ϵ ve α değerlerinin seçimi önemlidir. Geri yayılım algoritması, bu iki katsayıdan fazlaca etkilenir (Ham ve Kostanic, 2001; Haykin, 1999).



Şekil 3.4 ANN modelinde ağırlık (w) ve hata grafiği (E)

Şekil 3.5’de bir geri yayılım algoritmasının akış şeması görülmektedir. Öncelikle girdi ve çıktı değerleri ağa tanıtılmalı, daha sonra gizli katman, bu katmandaki nöron sayıları ile ağın iterasyon sayısı belirlenmelidir. Geri yayılım algoritmaları başlangıç ağırlıklara duyarlı olduğundan ağırlıkların ilk değerleri ağ tarafından rastgele atanarak, sistemin istenmedik bir şekilde yakınsaması engellenmiş olur.

ANN’in istenen sonuca yakınsamasını (converge) sağlayacak uygun girdi vektörünün seçimi oldukça önemli bir iştir. Fiziksel modellerin aksine sistemi etkileyen değişkenler önceden bilinmez (Kumar ve diğ., 2005).



Şekil 3.5 Geri yayılım algoritmasının akış şeması

Doğrusal olmayan bir olgunun tanımlanması açısından ANN bir kara kutu modeli gibi düşünülebilir (Dawson ve Wilby, 2001). ANN'in başarılı bir şekilde

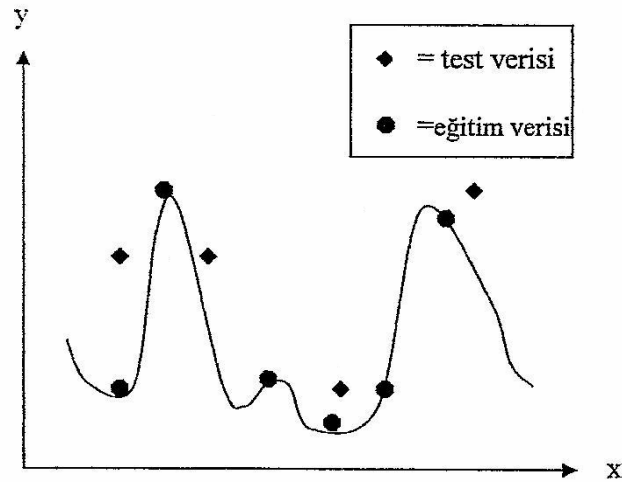
uygulanabilmesi için ilgilenilen hidrolojik sistemin çok iyi bir şekilde anlaşılması gerekir. Örneğin, probleme fiziksel bir ön çalışma ile başlanırsa düzgün eşleşme için girdi değişkenleri daha iyi seçilebilir. Bu, girdi değişkenlerinin ihmal ile sonuçlanacak bilgi kaybından veya fazla girdi değişkeninden kaçınmamıza yardımcı olur. Yeterli veri mevcut olduğunda, ilgili önemli değişkenlerin belirlenmesinde duyarlılık analizi kullanılıp girdi değişkenlerinde azaltma yapıp daha özlü bir ağ yapısına ulaşılabilir (ASCE, 2000 a). Ya da başlangıç olarak az sayıda girdi değişkeni ile başlayıp, sonra değişkenleri artırarak, parametreler açısından tutumlu bir model elde edilebilir (Kumar ve diğ., 2005).

En uygun ağ yapısının tasarlanmasında kurulan ağ yapısı küçükse, yani saklı tabakadaki nöron sayısı azsa, yapay sinir ağları veriler arasındaki ilişkiyi yakalayacak serbestliğe sahip olmaz, yeterince iyi öğrenemez diğer yandan ağ büyük olursa ya yakınsama sağlanamaz ya da aşırı eğitilmiş olur, eğitim aşamasında her noktayı yakalamaya çalışır. En uygun ağ yapısını kurabilmek için en iyi yöntem deneme yanılma yöntemidir (Imrie ve Durucan, 2000; Shamseldin, 1997). Ağ kurulumunda 2 ya da daha fazla saklı tabakanın daha iyi yakınsadığı belirtilmektedir. Fakat 2'den fazla saklı tabakaya sahip ağda yakınsama yeteneği yavaş yavaş azalır ve ağda birçok yerel minimum oluşur. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak üzere Minns ve Hall (1996), çalışmalarında alternatif bir düşünce öne sürmüşler ve ağa saklı tabaka eklemektense, tek saklı tabaka yerleştirip, buradaki nöron sayısını artırmışlardır.

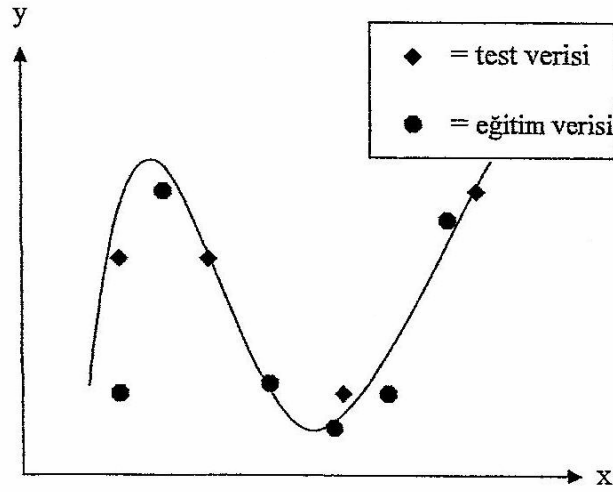
3.3.1.3 Eğitim ve Test

Bir ANN modelinde eğitim üç aşamadan oluşur. Birincisi, ANN parametrelerinin (gizli tabaka hücre sayısı, aktivasyon fonksiyonunun şekil ve parametreleri vs.) belirlenmesi amacıyla yapılan eğitim (*training*) aşaması, ikincisi parametreleri belirlenen ANN modelinin eğitiminin kontrolü aşaması (*cross-training*) ve sonuncusu da test aşamasıdır. Eğitimin amacı problemin ANN tarafından algılanmasıdır. ANN mimarisinin herhangi bir problemi yeterli düzeyde modelleyebilmesi için eğitim safhasında kullanılacak veri sayısı yeterli miktarda olmalıdır. Eğer eldeki veri sayısı yeterli değilse, veri seti üç yerine eğitim ve test

olmak üzere iki kısma da ayrılabilir. Mevcut verinin eğitim ve test aşamaları için kısımlara ayrılmasında, dikkat edilmesi gereken şey, eğitim aşamasında kullanılacak verinin geniş bilgi içeriğine sahip olması ve bu ayırımın toplumu yansıtacak şekilde yapılmasıdır (Dawson ve Wilby, 1998). Eğitim esnasında, ağırlıklar hatalara bağlı olarak güncellenir; bu düzenleme hata düzeyini istenen değere indiren ağırlık matrisi bulununcaya kadar devam eder. Bir ANN modelinde ağırlık değerleri, eğitim veri grubunda ağa verilen değerlere çok bağlı kalıyor ve genelleştirme yeteneğinde azalmalar oluyorsa, bu ağda eğitimin fazla yapıldığını, ezberlemenin söz konusu olduğunu gösterir (overtrain). Eğitim veri grubundaki olası hatalı değerler sistem tarafından mutlak doğruymuş gibi algılanacağından eğitim kalitesi düşük olacaktır. Şekil 3.6'da aşırı öğrenme diye adlandırılan durum gösterilmektedir. Bu ANN modelinde eğitim veri grubunda hemen hemen hiç hata vermezken, test veri grubunda ezberlemeden dolayı çok büyük hatalar vermektedir. Bu durumdan kaçınmak için ezberleme olmadan eğitim durdurulmalıdır. Şekil 3.7'de uygun bir ANN mimarisi görülmektedir. Eğitim grubunun performansı Şekil 3.6'ya göre biraz daha düşük olmakla birlikte test grubunun performansı çok daha yüksektir.

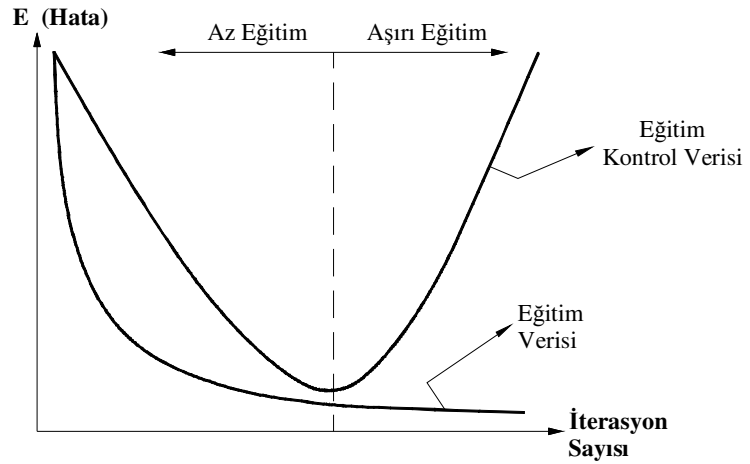


Şekil 3.6 Genelleştirme yeteneği olmayan ANN mimarisi



Şekil 3.7 Genelleştirme yeteneği olan ANN mimarisi

ANN ile oluşturulmuş bir modelde genel olarak eğitim ve test veri gruplarındaki hata değerlerinin paralel olması o modelin iyi tasarlanmış, uygun bir model olduğunun göstergesidir. Şekil 3.8’de eğitim ve test veri gruplarının hata değerlerinin iterasyon sayısı ile değişimi gösterilmektedir. Bir ANN modelinin ezberlemeye başladığı an, eğitim grubunun hataları azalmaya devam ederken, eğitim kontrol veri grubunun hatalarının arttığı andır. İyi bir ANN modelinin elde edilmesi için o anda eğitimin durdurulması gerekir.



Şekil 3.8 Eğitim ve test verilerine göre hatanın dağılımı

3.3.1.4 Verilerin Ölçeklendirilmesi

Bir ANN modelinde problemin girdi verileri birbirinden farklı ölçekler kullanan ortamlardan toplanmış olabilir, böyle bir durumda hepsinin aynı ölçek üzerine indirgenmesi gerekir. Bütün girdi değerlerinin belirli aralıkta ölçeklendirilmesi hem farklı ortamdaki gelen bilgilerin aynı ölçekte değerlendirilmesine, hem de yanlış girilen çok büyük ya da çok küçük değerlerin etkisinin kalkmasına neden olur (Öztemel, 2003). Aktivasyon fonksiyonundan çok büyük veya çok küçük değerler geçirilince fonksiyonun asimptotik yapısından dolayı model sabit bir çıktı üretir; örneğin, sigmoid aktivasyon fonksiyonu durumunda ağ çıktısı 0 ya da 1 olur. Ölçeklendirme kullanılan aktivasyon fonksiyonuna göre farklılık gösterir. Tablo 3.1’de aktivasyon fonksiyonuna göre literatürde en çok kullanılan ölçeklendirme denklemleri ve bunların hangi aralıkta ölçeklendirme yaptığı gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Aktivasyon fonksiyonlarına göre literatürde kullanılan ölçeklendirme denklemleri

Aktivasyon Fonksiyonu	Denklem	Ölçeklendirme Aralığı
Sigmoid	$X = \frac{(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$	[0; 1]
Sigmoid	$X = 0,1 + \frac{0,8(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$	[0,1; 0,9]
Sigmoid	$X = 0,1 + \frac{0,75x_i}{x_{\max}}$	[0,1; 0,85]
Tanjant hiperbolik	$X = \left[\frac{1,8(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \right] - 0,9$	[-0,9; 0,9]

Denklemlerdeki,

x_i ; ölçeklendirme yapılacak verinin kendisini,

x_{\min} ; ölçeklendirme yapılacak veri setindeki en küçük değeri,

x_{\max} ; ölçeklendirme yapılacak veri setindeki en büyük değeri,

X ; ölçeklendirme sonucu değişkenin aldığı değeri gösterir.

Tez çalışmasında, ANN modellerinin kurulumunda tek gizli tabaka ile ağ kurulmuş, gizli tabakada 3 ile 14 arasında değişen sayılarda nöron denenmiştir. Askıda katı madde yükü hep pozitif değerler alacağından sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmış, ölçeklendirmede de $X = 0,1 + \frac{0,8(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$ denklemi dikkate alınmıştır. Matlab programlama dilinde ANN toolbox kullanılarak kurulan modellerde, farklı eğitim fonksiyonları (*traingd*, *traingda*, *traingdm*, *traingdx*, *trainscg*, *trainlm*) kullanılmıştır (ASCE, 2000a, b; Demuth ve Beale, 2001; Ham ve Kostanic, 2001, Haykin, 1999). Bu eğitim fonksiyonları, öğrenme oranı ve momentum parametrelerini kullanma konusunda birbirinden farklılık gösterir (Ülke ve diğ., 2007a, b). Farklı eğitim fonksiyonları için farklı iterasyon sayıları kullanılarak ağ yapıları oluşturulmuştur. Eğitim fonksiyonunun belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda *trainscg* (*Scaled Conjugate Gradient*) ve *trainlm* (*Levenberg-Marquardt*) fonksiyonlarının performans değerlendirme kriterlerinin daha iyi olduğu görülmüş ve modellerde bu fonksiyonlar kullanılmıştır.

3.3.2 Adaptif Sinirsel Bulanık Sistemler (ANFIS)

Yapay zeka grupları içerisinde yer alan ANFIS, esasında bir bulanık mantık tekniğidir. Bulanık mantığın net olarak çözümlenemeyen problemleri çözebilme yeteneğinin altında yatan temel teori, problemin çözümüne insan mantığıyla yaklaşp, yorumlayabilme yeteneğidir. Veri girişindeki, olayı çözümlenme ve mantıklı sonuçlara varmaktaki kolaylıkları ve üstünlüklerinden dolayı hidroloji alanında sıklıkla kullanılmaktadır (Şen, 2004). Yapay sinir ağları ve bulanık mantık teknolojileri birbirini tamamlayan iki teknolojidir. Sinir ağları veriden öğrenebilir, fakat sinir ağları ile sunulan bilgiyi anlamak zordur. Bulanık sistemler ise sözel terimler ve eğer-ise kuralları kullandıkları için kolayca anlaşılabilir, ama öğrenme algoritmaları yoktur, sunulan sayısal örneklerden çıkarım yapar. Hem sinir ağları hem de bulanık sistemler girdi-çıkı fonksiyonlarını öngören dinamik ve paralel işlem sistemleridir. Bunlar, herhangi bir matematiksel model olmaksızın bir fonksiyonu öngörmektedir.

Bulanık sistemler genel olarak iki kısımda incelenebilir. İlki hem öncül, hem de sonuç bulanık değer kullanan “eğer-o halde” kurallarının toplamına dayanan sözel modellerdir. Bu model, bulanık akıl yürütme kullanır ve sistem davranışı doğal dil terimleri ile tanımlanabilir. Mamdani Modeli bu gruptadır. İkinci kategori Sugeno Modellerinden oluşur. Mamdani modeli genelde uzman sistemlerin geliştirilmesi için kullanılırken, veriden hareketli yaklaşımda ise Sugeno Modeli daha çok uygulanmaktadır. Mamdani metodunda sözel bulanık önermeler “eğer-o halde” kuralları ile tanımlanırken Sugeno bulanık modeli sonuç kısmında kesin bir fonksiyon bulunmaktadır. Bu nedenle sözel modelle matematiksel regresyonun bir kombinasyonu olarak görülebilir. Mamdani ve Sugeno modelleri arasındaki en belirgin fark, Sugeno modelinin fonksiyon kullanıyor olmasıdır.

Bulanık mantık ile sinir ağlarının bütünleştirilmesi için pek çok araştırma yapılmıştır. Genel olarak bulanık sinir ağları ve sinirsel bulanık sistemler olmak üzere iki yaklaşım söz konusudur. Bulanık sinir ağı ile bilgi işleme yeteneğinde bulanık bir sinir ağı ifade edilirken, sinirsel bulanık sistemler ise, sinir ağı yetenekleri ile zenginleştirilmiş bulanık çıkarım sistemleridir. Bulanık sistemin esneklik, hız, uyarlanırlık gibi özellikleri sinir ağları ile arttırılmıştır. Jang’ın ANFIS (Adaptive Neural Fuzzy Inference System) sistemi sinirsel bulanık sistemler kategorisindeki en eski ve en sık başvurulan sistemlerden birisidir (Jang, 1993). Bu sistemler bulanık akıl yürütme işlemini gerçekleştirmek için tasarlanırlar. Burada ağı bağlantı ağırlıkları, bulanık akıl yürütmenin parametrelerine karşılık gelir. Sinirsel bulanık sistem, geri yayılım tipi öğrenme algoritması kullanarak bulanık kuralları tanımlayabilir ve bulanık akıl yürütmenin üyelik fonksiyonlarını öğrenebilir. Sıradan sinir ağlarında, düğümler aynı işlevselliğe sahiptir ve komşu katmanlardaki düğümler birbirlerine tamamen bağlıdır. Fakat sinirsel bulanık sistemlerde düğümler farklı işlevselliklere sahip olup, komşu katmanlardaki düğümler tamamen birbirine bağlı değildir. Yani bazı düğümler girdi değişkenlerinin sözel terimlerini ifade eder, bazı düğümler çıktı değişkenleri içindir ve bazı düğümlerle bağlantılar da bulanık kuralları temsil etmek için kullanılır.

ANFIS'in temeli Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım sistemidir. Burada kuralın sonuç kısmı bulanık bir küme değil, kesin girdilerin ağırlıklı doğrusal bileşkesidir. x ve y sözel girdi değişkenleri, $i=1,\dots,n$ için A_i ve B_i bunlara karşılık gelen bulanık kümeler f_i her kuralın çıktısı, p_i, q_i ve r_i doğrusal parametreler olmak üzere birinci basamak Takagi- Sugeno-Kang modeli için 2 tane "eğer- o halde" kurallı genel bir kural kümesi;

Kural-1: Eğer x A_1 ise ve y B_1 ise o halde $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

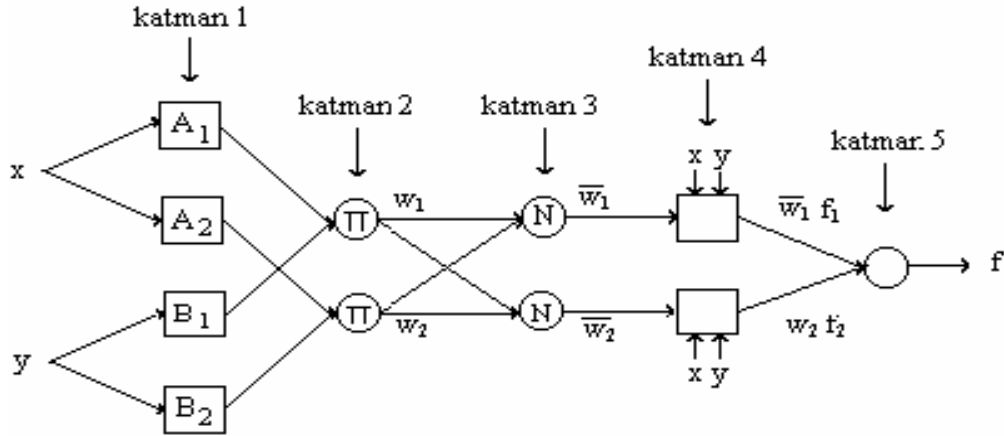
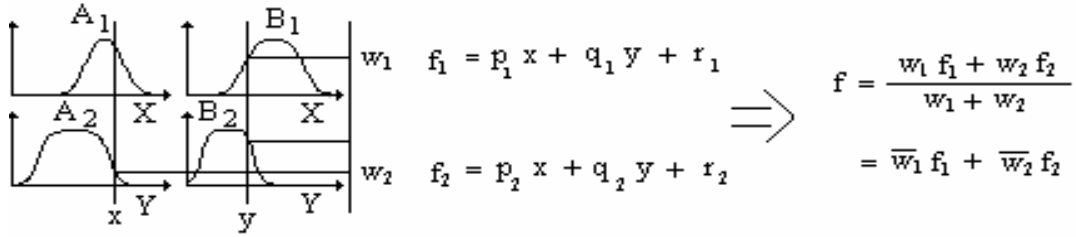
Kural-2: Eğer x A_2 ise ve y B_2 ise o halde $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

şeklinde ifade edilir. Şekil 3.9a'da bu Sugeno bulanık modeli için bulanık akıl yürütme mekanizması gösterilmektedir. İşlemsel olarak ilk adım, eğer parçasının üyelik derecesini bulmaktır. Sonra eğer parçasındaki öncül koşullar "ve" işlemcisi ile bağlanır ve her kuralın ateşleme gücü çarpım işlemi kullanılarak bulunur. Toplam çıktı da ağırlıklı ortalama ile elde edilir. Bu yapı ANFIS'in işlemsel olarak eş değeridir. Bu yapıya karşılık gelen, eşdeğer ANFIS mimarisi Şekil 3.9b'de gösterildiği gibidir. Söz konusu bu ANFIS mimarisi için aynı katmanda bulunan düğümler, aşağıda da gösterildiği üzere aynı düğüm fonksiyonlarına sahiptirler (Burada l . katmandaki i . düğümün çıkışı $O_{l,i}$ şeklinde belirtilmiştir). Şekilde kare şeklindeki düğümler uyarlamalı düğümlerdir ve yuvarlak düğümlerde sabit olan ya da olmayan parametrelere sahiptir. Düzenli sinir ağlarından farklı olarak bağlantılarda ağırlık ilişkisi bulunmamaktadır. Burada beş katman ayırt edilebilir.

Katman-1:

İlk katman öncül parametreler olup, A_i ve B_i nin (düşük yada yüksek gibi) sözel etkilere sahip olduğu uyarlamalı düğümlere sahiptir. Katman çıktısı, niceleyicileri sağlayan girdilerin değerlerini belirleyen üyelik fonksiyonu derecesidir.

Bu katmanda yer alan her bir i düğümü, çıkışı aşağıdaki gibi tanımlanan, adaptif bir düğümdür.



Şekil 3.9 (a) Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı “Sugeno Bulanık Modeli”

(b) Eşdeğer ANFIS yapısı.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) , i = 1, 2 \text{ yada} \quad (3.15)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) , i = 3, 4 \text{ için} \quad (3.16)$$

Burada x (ya da y) düğümün girişini, A_i (yada B_{i-2}) ise söz konusu düğümüne ait bulanık kümeyi ifade etmektedir. Bir başka ifadeyle, bu katmanın çıkışları, kuralların şart yada öncül kısımlarına ait üyelik değerlerini oluştururlar. Burada A_i ve B_i için söz konusu üyelik fonksiyonları, uygun bir biçimde parametrelendirilmiş herhangi bir üyelik fonksiyonu (μ) olabilir. Örneğin A_i aşağıda belirtilen genelleştirilmiş çan eğrisi fonksiyonu (gbellmf) ile ifade edilebilir.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (3.17)$$

Burada yer alan $\{a_i, b_i, c_i\}$ kümesi, parametre kümesidir. Bu katmanın parametreleri, şart yada giriş parametreleri olarak ifade edilirler.

Katman-2:

Bu katmandaki her bir düğüm, kendisine gelen sinyallerin çarpımını çıkış olarak üreten, Π ile etiketlenmiş sabit bir düğümdür. Örneğin;

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), i = 1, 2 \quad (3.18)$$

Her bir düğümün çıkışı, her bir kural için gerçekleştirme derecesini oluşturur.

Katman-3:

3. katmanda yer alan her bir düğüm, N ile etiketlenmiş, sabit bir düğümdür. Katmandaki i . düğüm, i . kuralın gerçekleştirme derecesinin, bütün kuralların gerçekleştirme dereceleri toplamına oranını hesaplar.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \quad (3.19)$$

Katman-4:

Bu katmana ait her i düğümü, düğüm fonksiyonu aşağıdaki gibi olan, adaptif bir düğümdür.

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.20)$$

Burada,

\bar{w}_i ;katman 3'ün çıkışı

$\{p_i, q_i, r_i\}$;bu katmanda bulunan düğümlerin parametrelerinden oluşan, parametre kümesidir.

Bu katmanın parametreleri, sonuç yada çıkış parametreleri olarak ifade edilir. Bu katmanda, üçüncü katman çıktısına birinci sıra Takagi-Sugeno-Kang bulanık kuralları uygulanır.

Katman-5:

Son katman olan bu katmanda, Σ ile etiketlenmiş olan ve toplam çıkışı hesaplamak üzere, kendisine gelen sinyallerin tümünü toplayan, sabit tek bir düğüm yer alır.

Toplam çıkış;

$$O_{5,i} = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (3.21)$$

Böylece, tamamıyla Sugeno bulanık modelinin işleyişine sahip, adaptif bir ağ yapısı inşa edilmiş olur (Baykal ve Beyan, 2004; Jang, 1993; Kişi, 2005).

Bulanık mantıkla yapılan modellemelerde üyelik fonksiyonlarının ayarlanması oldukça zor ve zaman alan bir süreçtir. Sinir ağları öğrenme teknikleri bu süreci otomatik bir şekilde yapabilmektedir. Bu sistemler, üyelik fonksiyonu parametrelerinin güncellenmesi için iki tip öğrenme algoritması kullanabilir. Bunlardan birincisi geri yayılım tipi öğrenme algoritmasıdır. Sinirsel bulanık sistem bu algoritmayı kullanarak bulanık kuralları tanımlayabilir ve bulanık akıl yürütmenin üyelik fonksiyonlarını öğrenebilir. İkincisi ise hibrid yöntemidir. Bu yöntemde girdilerin üyelik fonksiyonları ile parametrelerin birleştirilmesi için geri yayılım algoritması, çıktı üyelik fonksiyonlarının parametrelerle birleştirilerek sonuç elde edilmesi için ise en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ANFIS ağına ait parametrelerin güncellenmesinde, iki aşamalı bir öğrenme algoritması olan, hibrid öğrenme algoritması kullanılmıştır. Çeşitli üyelik fonksiyonları denenmiş (*trimf*, *trapmf*, *gbellmf*, *gaussmf*, *sigmf*, *dsigmf*, *psigmf*), bunlardan üçgen (*trimf*), genelleştirilmiş çan eğrisi (*gbellmf*) ve gauss (*gaussmf*) üyelik fonksiyonlarında karar kılınmıştır.

3.4 Askıda Katı Madde Tahmininde Ampirik Yaklaşımlar

Ampirik yaklaşımlar, askıda katı madde tahmininde yaygın olarak kullanılan ve deneysel çalışmalara dayanan bir yöntemdir. Ampirik formüller fiziki olayın değişkenleri üzerine kuruludur. Dolayısı ile, değişken (akım hızı, nehir taban eğimi vs) ve parametrelerin (pürüzlülük, dane çapı vs) çıktı üzerindeki (askıda katı madde yükü) etkilerini araştırmaya ve yorumlamaya izin verdiği için mühendisler tarafından tercih edilirler. Literatürde yer etmiş dört adet ampirik bağıntı söz konusudur; 1) Lane ve Kalinske yaklaşımı (1941), 2) Einstein yaklaşımı (1950), 3) Brooks yaklaşımı (1963) ve 4) Chang, Simons & Richardson yaklaşımı (1965) (Graf, 1984; Julien, 2002; Simons ve Şentürk, 1992; Yang, 1996). Bu bağıntılar laboratuvarlarda gerçekleştirilen deneylere dayanmaktadır ve dolayısı ile deneyin yapıldığı koşullara göre değişiklik göstermektedir. Arazi koşulları için bu ampirik formüllerin kalibre edilmesi gerektiği literatürden bilinmektedir. Örneğin, Yang ve diğ. (1996) akarsu birim güç (unit stream power) formülünü Çinde bulunan Sarı Nehir (Yellow River) için modifiye etmişlerdir (Yang ve diğ., 1996).

Tez çalışmasının bu bölümünde ilk aşamada, yukarıda belirtilen dört bağıntı arasından en uygun ampirik bağıntı belirlenmiş, ikinci aşamada ise, belirlenen ampirik formülün modifikasyon işlemi tüm akarsular için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Ampirik bağıntı çarpan bir katsayı kullanılarak modifiye edilmiş ve bu katsayının optimal değeri genetik algoritma ile hesaplanmıştır. Modelin ne kadar başarılı olduğunu bulmak için, söz konusu bağıntının sonuçları, esnek modelleme yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Aşağıda verilen dört bağıntıda da suyun momentum difüzyon katsayısı ile sedimentin momentum difüzyon katsayısının eşit ($\beta=1$) ve Von Karman sabiti (k)'nin da 0,4 olduğu kabul edilmiştir.

3.4.1 Lane ve Kalinske Yaklaşımı (1941)

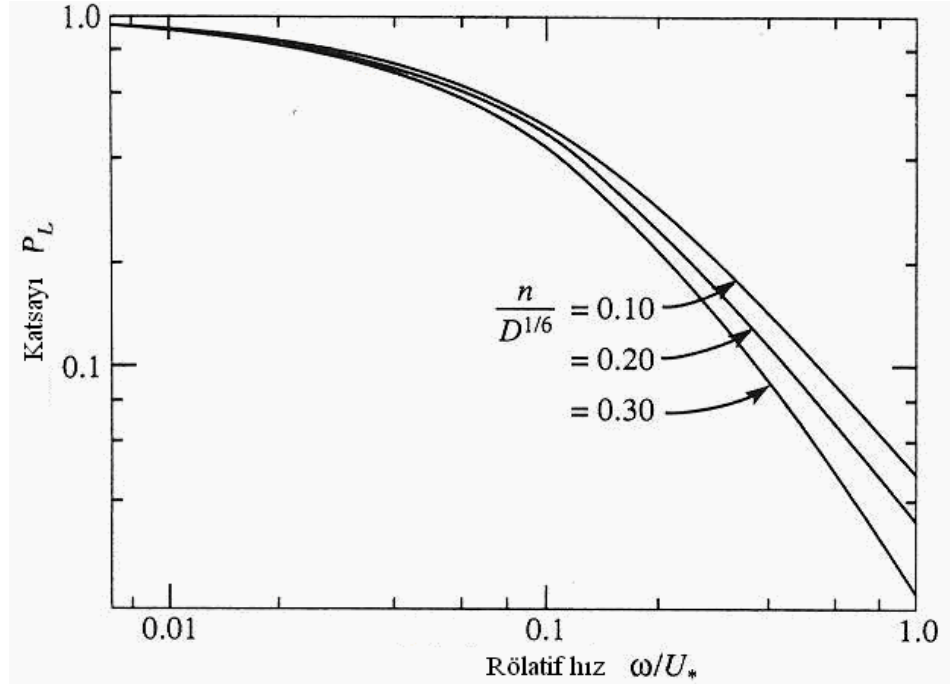
1941 yılında Lane ve Kalinske tarafından geliştirilen bu yaklaşım aşağıdaki denklemde gösterildiği gibidir (Yang, 1996):

$$q_{sw} = qC_a P_L \exp\left(\frac{15\omega a}{U_* D}\right) \quad (3.22)$$

Denklemde;

- q_{sw} ;birim genişlikte askıda katı madde yükünü,
- q ;birim genişlik debisini,
- C_a ;yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyonu,
- U_* ;kayma hızını,
- ω ;çökme hızını,
- a ; $2*d_{b50}$ (yatak yükü dane çapının 2 katını),
- D ;su derinliğini
- P_L ; \bar{c}/C_a oranını temsil etmektedir,
- \bar{c} ;y derinliğindeki ortalama konsantrasyondur.

P_L ile ω/U_* arasındaki ilişki Şekil 3.10'da verilmektedir. Grafikteki n Manning Pürüzlülüğünü göstermektedir.



Şekil 3.10 Kesit pürüzlülüğüne bağlı olarak P_L İle ω/U_* arasındaki ilişki (Yang, 1996)

3.4.2 Einstein Yaklaşımı (1950)

1950 yılında H. Albert Einstein tarafından geliştirilen denklem şu şekildedir (Yang, 1996):

$$q_{SW} = 11,6.U_* C_a a \left[\left(2,303 \log \frac{30,2D}{\Delta} \right) I_1 + I_2 \right] \quad (3.23)$$

Burada,

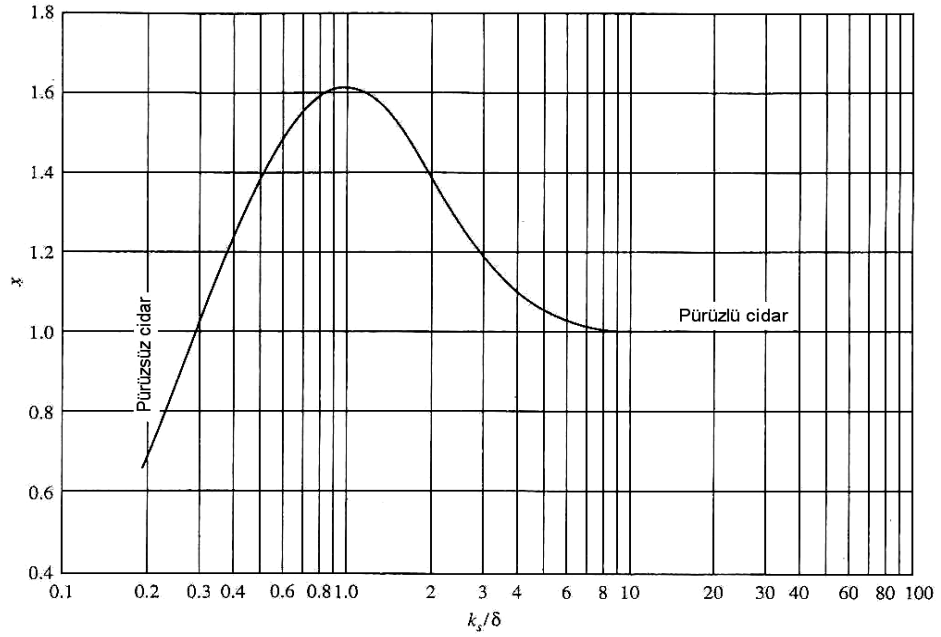
a ; $2*d_{b65}$ (yatak yükü dane çapının iki katı),

v ; suyun kinematik viskozitesi,

Δ ; $\frac{d_{b65}}{X}$ oranı,

X ; Şekil 3.11'den $\frac{K_s}{\delta} = \frac{U_* d_{b65}}{11,6v}$ bağıntı değerine bağlı olarak okunan katsayıdır.

I_1 ile I_2 de sırasıyla Şekil 3.12 ve 3.13'den $A=2d_{b65}/D$ değerinin çeşitli z ($z = \omega / kU_*$) değerleri için okunan katsayılarıdır.



Şekil 3.11 K_s/δ değerine göre X 'in alacağı değer (Logaritmik hız dağılımındaki düzeltme faktörü) (Yang, 1996)

3.4.3 Brook's Yaklaşımı (1963)

Bu formülasyonda kesit ortasında ($y=D/2$) bir referans konsantrasyon hesabı (C_{md}) gerekmektedir. Denklem 3.24 ile C_{md} hesaplanmaktadır (Yang, 1996):

$$\frac{C_{md}}{C_a} = \left(\frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right)^{z_1} \quad (3.24)$$

$$z_1 = z/\beta \quad (3.25)$$

Burada;

y ; su derinliğini,

β ; suyun momentum difüzyon katsayısının, sedimentin momentum difüzyon katsayısına oranını gösteren parametredir.

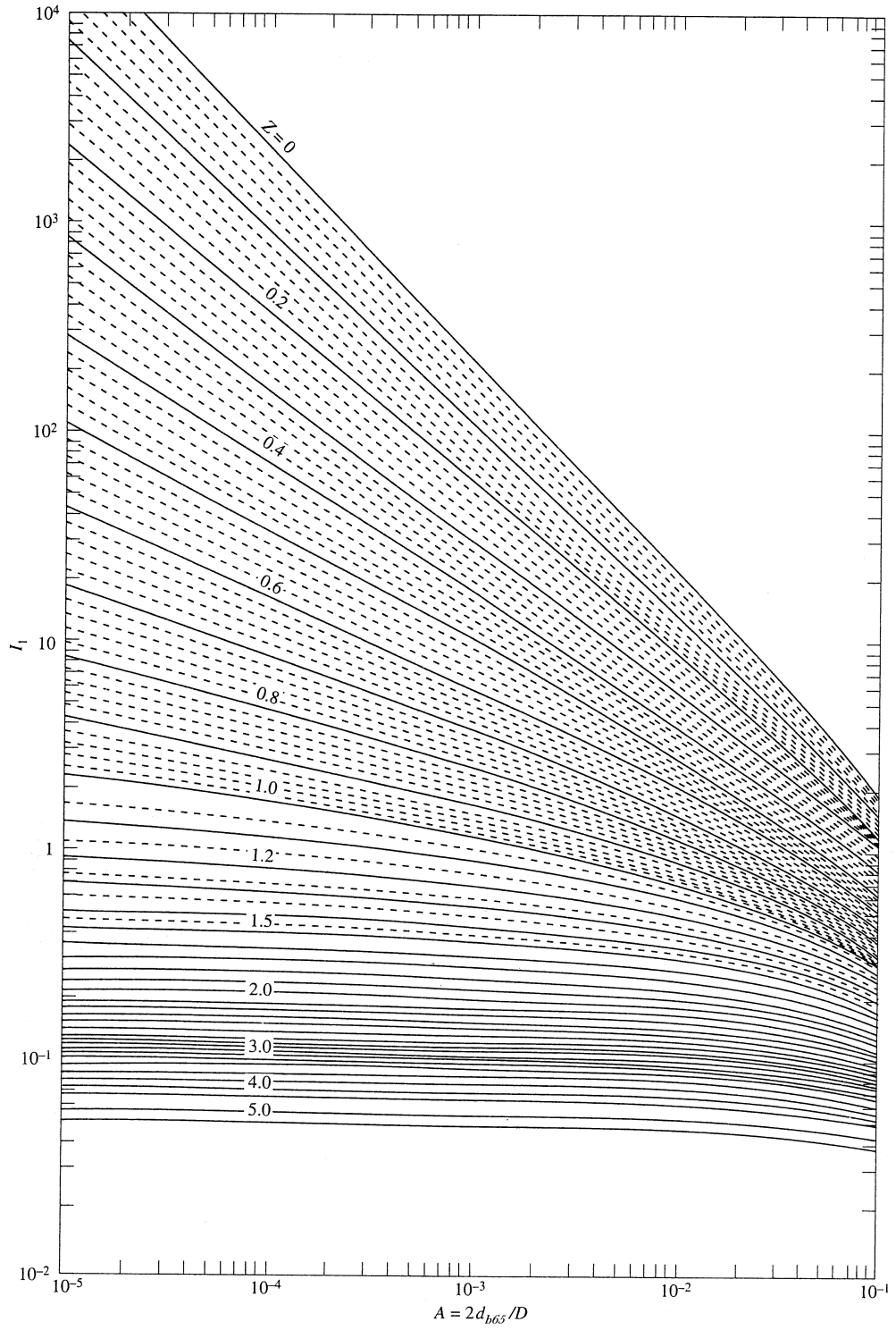
Şekil 3.14'den kV/u_* ve z_1 değerlerine bağlı olarak $q_{SW}/(qC_{md})$ oranı, buradan da q_{SW} değeri belirlenmektedir. Buradaki V akımın hızını göstermektedir.

3.4.4 Chang, Simons ve Richards Yaklaşımı

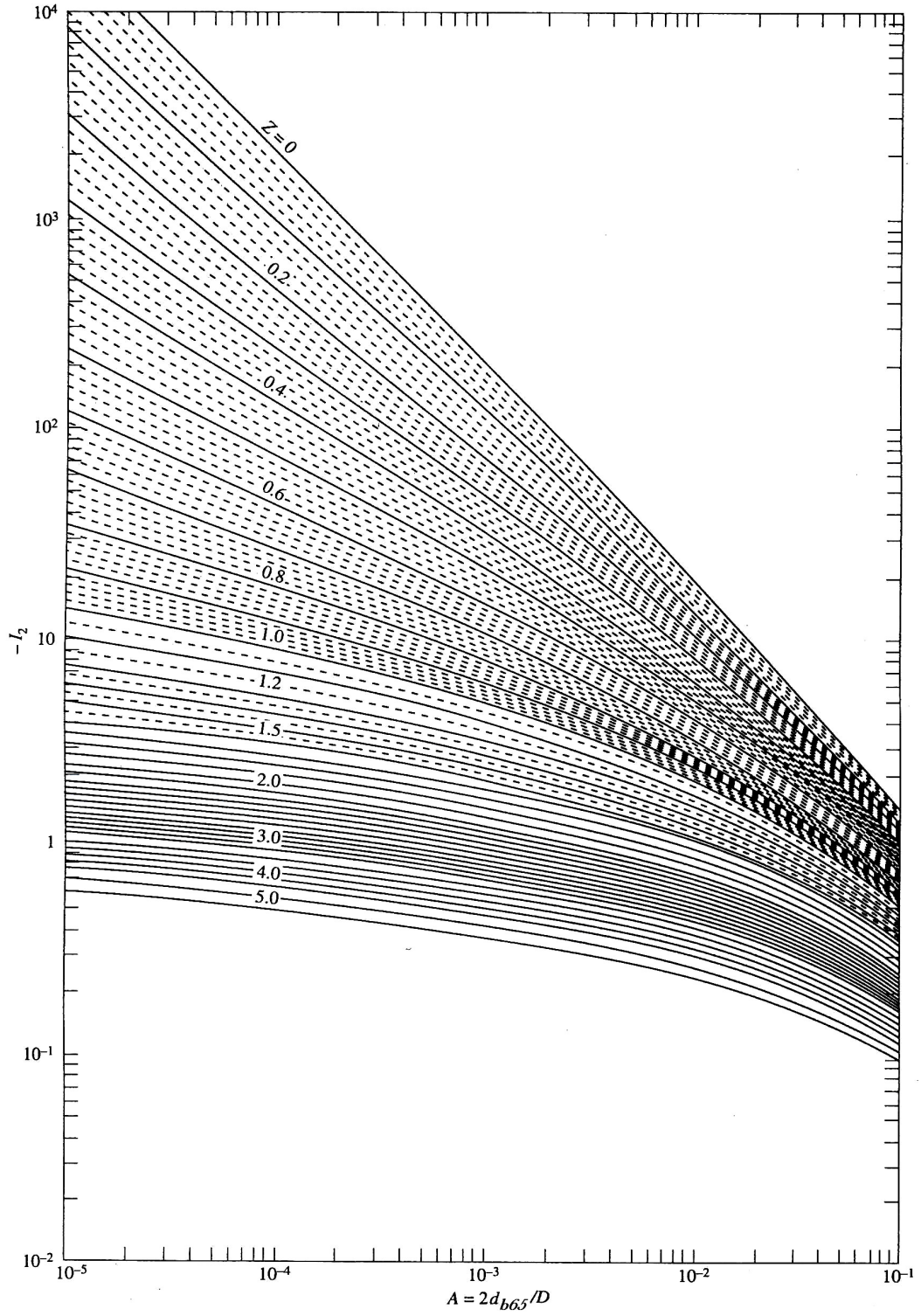
Bu yaklaşıma göre askıda katı madde yükü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır (Yang, 1996):

$$q_{SW} = \gamma D C_a \left(V I_1 - \frac{2U_*}{k} I_2 \right) \quad (3.26)$$

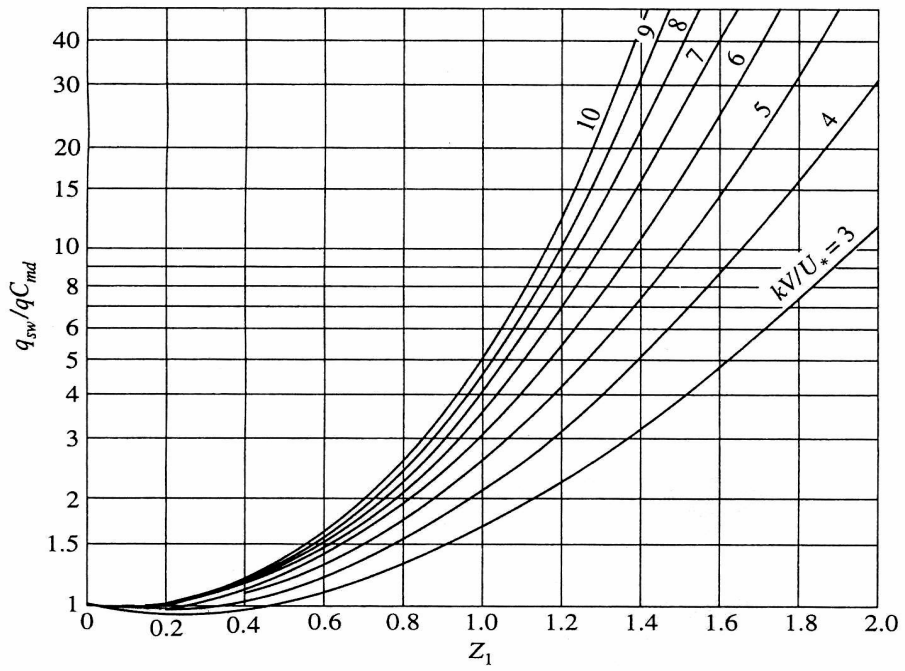
Bağıntıdaki I_1 ve I_2 değişkenleri sırasıyla Şekil 3.15 ve 3.16'dan yatak malzemesinin kalınlığını temsil eden $\xi_a = a/D$ ve z_2 ($z = 2\omega/\beta k u_*$) değerlerine bağlı olarak bulunur.



Şekil 3.12 Z 'nin değişik değerlerinde $2d_{b65}/D$ 'ye bağlı I_1 'in alacağı değerler (Yang, 1996)

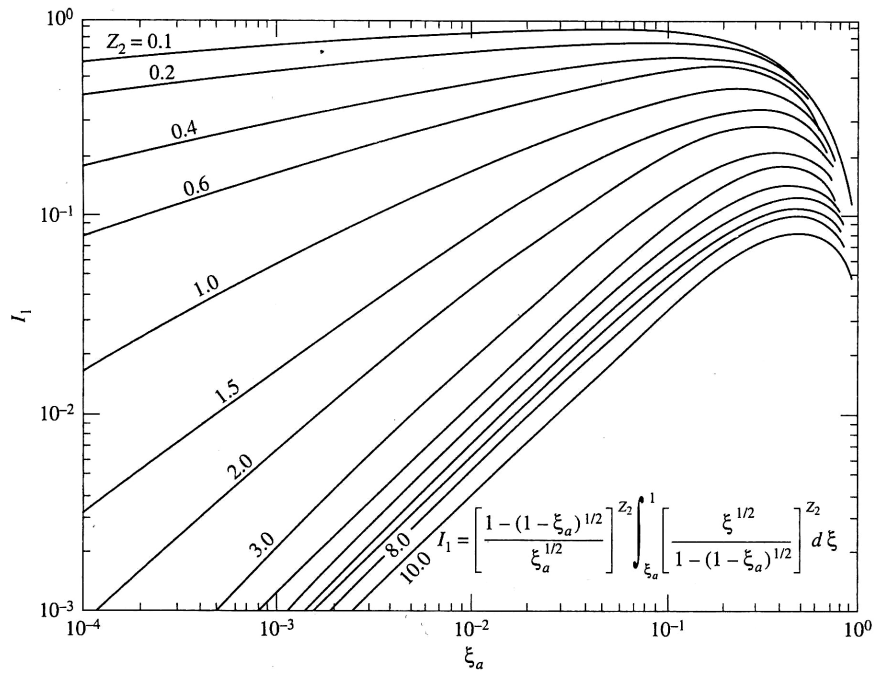


Şekil 3.13 Z 'nin değişik değerlerinde $2d_{b65}/D$ 'ye bağlı I_2 'nin alacağı değerler (Yang, 1996)

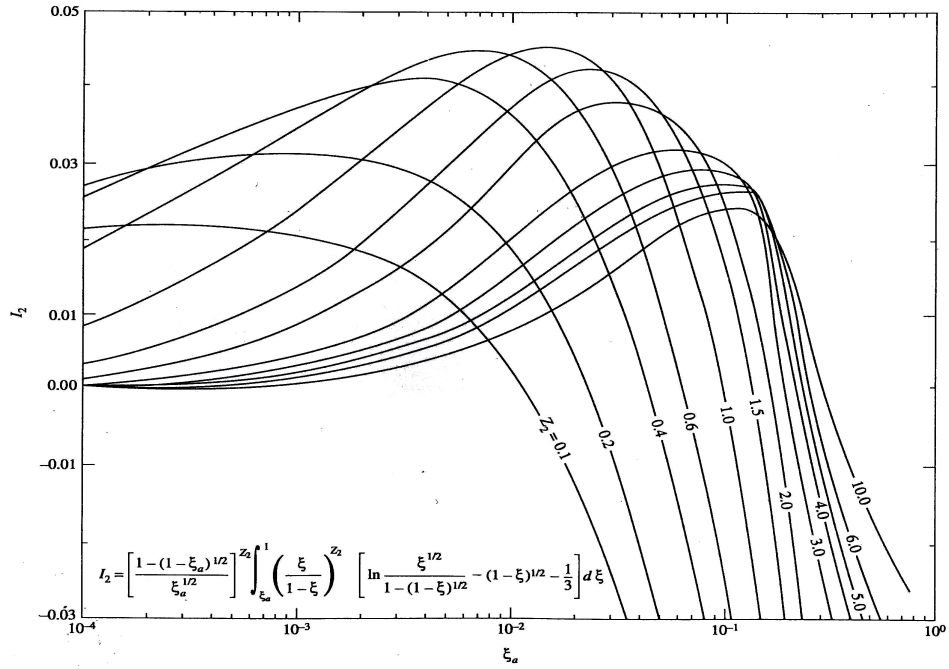


Şekil 3.14 Z_1 'in ve $k \frac{V}{u_*}$ 'nin değişik değerlerinde, $\frac{q_{sw}}{qC_{md}}$ 'nin aldığı değerler

(Yang, 1996)



Şekil 3.15 Farklı ξ_a ve Z_2 değerlerinde elde edilen I_1 değerleri (Yang, 1996)



Şekil 3.16 Farklı ξ_a ve Z_2 değerlerinde elde edilen I_2 değerleri (Yang, 1996)

Ampirik bağıntılarda yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyon (Ca), çökme hızı (ω) ve kayma hızı (U_*) değerlerine ihtiyaç vardır. Yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyon (Ca) Denklem 3.27'den hesaplanırken yatak yükü (q_{BW}) Meyer-Peter'in 1934 yılında sediment taşınımı üzerine yaptığı birtakım laboratuvar çalışmalarına dayanarak taban malzemesi için metrik birimlerde geliştirdiği Denklem 3.28 ile hesap edilmiştir (Yang, 1996).

$$C_a = \frac{i_{BW} q_{BW}}{11,6aU_*} \quad (3.27)$$

Burada $i_{BW} \cdot q_{BW}$ yatak yükünün oransal ağırlığını temsil eder.

$$\frac{0,4q_{BW}^{2/3}}{d_b} = \frac{q^{2/3}S}{d_b} - 17 \quad (3.28)$$

Denklemden S nehir yatağının boyuna eğimidir. Bu çalışmada çökme hızı (ω) bağıntısı olarak 2. Bölümde anlatılan Denklem 2.6 dikkate alınmıştır.

Ampirik bağıntılarda yer alan diğer bir parametre olan kayma gerilmesi hızı (U_*) ise danenin harekete başladığı andaki hızıdır, Denklem 3.29'a göre hesap edilmiştir (Yang, 1996):

$$U_* = (g.R.S)^{1/2} \quad (3.29)$$

Denklemden yer alan R hidrolik yarıçapı göstermektedir. Yukarıda verilen bütün ampirik bağıntıların detayları literatürden bulunabilir (Bayazıt, 1971; Graf, 1984; Julien, 2002; Simons ve Şentürk, 1992; Şentürk, 1969; Yang, 1996).

BÖLÜM DÖRT

EGE BÖLGESİ HAVZALARI TANITIMI

Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinden biri olan Ege Bölgesi, 85,000 km²'lik yüzölçümüyle, Türkiye topraklarının yaklaşık %11'ini kaplar. Kuzeyde Marmara Bölgesine, doğuda İç Anadolu Bölgesi'ne, güneydoğuda Akdeniz Bölgesine komşu olan bu bölge, batıdan da Ege Denizi ile çevrilidir. Ege bölgesi genellikle yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Ege denizi kıyıları boyunca tam bir Akdeniz yağış rejimi görülür, yıllık ortalama yağış miktarı 500 ile 1000 mm arasındadır. Bölgede en soğuk ay genellikle Ocak, en sıcak ay ise Temmuz ayıdır. Bölgede kış ayları sıcaklık ortalaması 7⁰C-9⁰C arasında yaz sıcaklık ortalaması ise 27⁰C -29⁰C arasında değişmektedir. Bölgede tarım ve endüstri oldukça gelişmiştir. Zeytin, incir, pamuk narenciye ve tütün bölgede yetiştirilen başlıca tarım ürünleridir. Sanayi bakımından Marmara Bölgesinden sonra ikinci sırada gelen Ege Bölgesi'nde dokuma, boya, ilaç, çimento ve kimya endüstrisi gelişmiştir. Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes olmak üzere bölgede üç büyük su toplama havzası vardır. Modellemede havzalardaki akım ve sediment gözlem istasyonlarından, en uzun veri dizisine sahip olan ve homojenliği bozulmamış, barajlara ve insan etkisine uzak olan istasyonlar tercih edilmiştir.

4.1 Gediz Havzası

Batı Anadolu'da bulunan Gediz Havzası, Ege Denizi, Küçük Menderes ve Bakırçay havzaları arasında yer almaktadır. Havza kuzey, güney ve de doğudan yükseklikleri 2000 m'yi bulan dağlar, batıdan da Ege Denizi tarafından çevrilmiştir. Gediz havzası Türkiye'deki 26 ana akarsu havzası içinde drenaj alanı açısından 20inci, su potansiyeli açısından da 21inci sırada yer alır. Gediz Havzası 38°01'-39°13' kuzey enlemleri ile 26°42'-29°45' doğu boylamları arasındadır. Gediz Havzasında yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağmurlu tipik bir Ege iklimi hüküm sürmektedir. Ortalama hava sıcaklığı 15,6°C'dir. Yıllık yağış değerleri bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Ortalama olarak 635 mm'dir. Yıllık yağış değerlerinin %75'i Kasım ve Mayıs ayları arasındaki beş aylık dönemde oluşur.

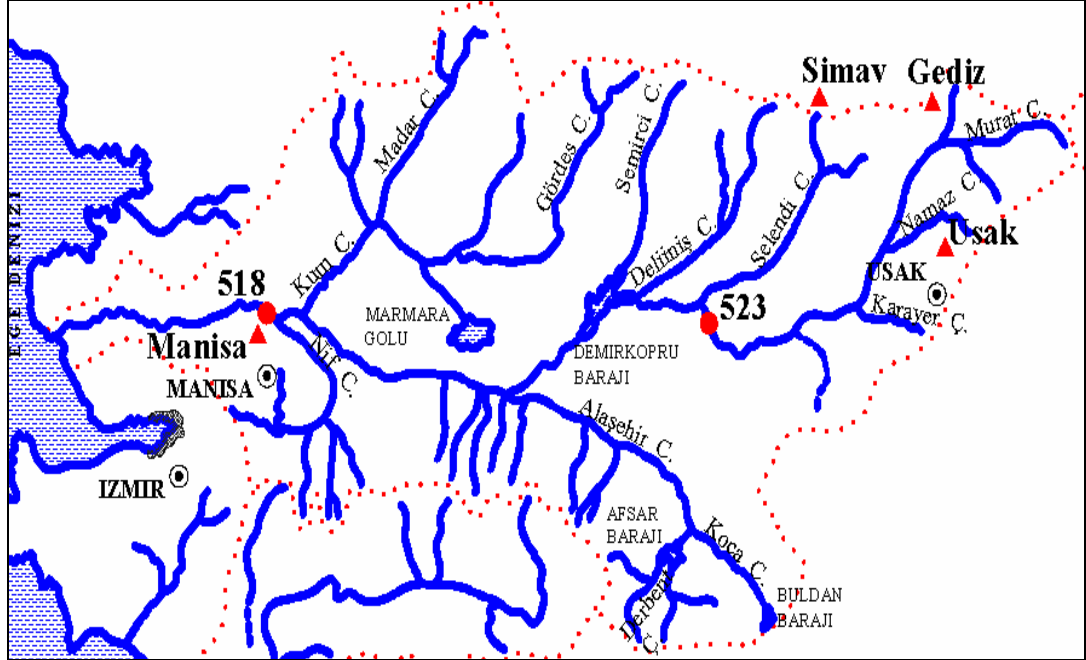
Havzada Ege Bölgesinin 4 ili, Kütahya, Uşak, Manisa, İzmir ve bu dört ile bağlı toplam 18 ilçe merkezi yer almaktadır. Gediz Nehri, Anadolu'dan Ege Denizine dökülen Büyük Menderes nehrinden sonra ikinci büyük akarsudur. İç Batı Anadolu'daki Murat (2312m) ve Şaphane dağlarından inen suların birleşmesiyle oluşan Gediz Nehri, batıya doğru ilerlerken, kuzeyden Kunduzlu, Selendi, Deli İniş ve Demirci çaylarını, güneyden ise Kulu volkanik yöresinden gelen küçük dereleri sularına katar. Nehir, Salihli ilçesinin kuzeydoğusundan Gediz Ovasına girer ve güneyden Kemalpaşa Ovasından gelen Nif çayını, kuzeyden Kumçay'ı alarak Foça tepelerinin güneydoğusundan İzmir Körfezine dökülür (Şekil 4.1). Gediz Nehrinin toplam uzunluğu 401 km ve su toplama havzasının alanı 17.500 km²'dir. Taşkın dönemlerinde sık sık yatak değiştiren Gediz Nehri, yaklaşık 40.000 ha.'lık bir delta oluşturmuştur. Zaman içerisinde İzmir körfezindeki bazı adalar da kara ile birleşmiş ve delta ovası içerisinde kalmıştır. 19.yy. sonlarında Gediz Nehri Çilazmak dalyanının hemen doğusundan Ege Denizine dökülmekte iken, körfezin hızla dolması ve İzmir Limanının denize ulaşımının kapanması tehlikesi nedeniyle kanallar açılarak nehrin yatağı değiştirilmiştir.

Havzada EİE'ye ait üç adet akım gözlem istasyonunda sediment ölçümü gerçekleştirilmektedir. Bunlardan ikisi Gediz nehri ana kol üzerinde bulunurken diğeri Gördes Çayı üzerinde yer almaktadır. Gördes Çayı üzerinde yer alan 527 no'lu Darıbükü İstasyonunun ölçümlerine 1995 yılında başlandığından modellemede bu istasyon dikkate alınmamıştır.

4.1.1 Gediz Nehri 523-Acısü İstasyonu

Gediz nehri üzerinde, Demirköprü Barajının membasında kalan 523 no'lu Acısü istasyonu 28°43'12'' D ile 38°38'26'' K koordinatları arasında Kula-Selendi karayolu üzerindeki Gediz Köprüsü'nün 2 km akış aşağısındaki Acısü yakınlarındadır. İstasyonun yükseltisi 373 m ve net yağış alanı 3.272 km²'dir. Bu istasyonda akım ölçümlerinin yanı sıra 1971 yılından bu yana askıda katı madde gözlemleri de yapılmaktadır. İstasyondaki ortalama akım 9,88 m³/sn, ve ortalama sediment dağılımı % 55,9 kum, % 44,1 de kil ve silt şeklindedir. Bu istasyonda

ölçülen ortalama yıllık sediment miktarı 235.092 ton ve km^2 başına yılda taşınan sediment miktarı da 72 ton'dur (EİE, 2006).



Şekil 4.1 Gediz Havzası, Gediz Nehri ile 523-Acısu ve 518-Manisa Köprüsü Akım Gözlem İstasyonları ve Simav Gediz, Uşak, Manisa Meteoroloji Ölçüm İstasyonları

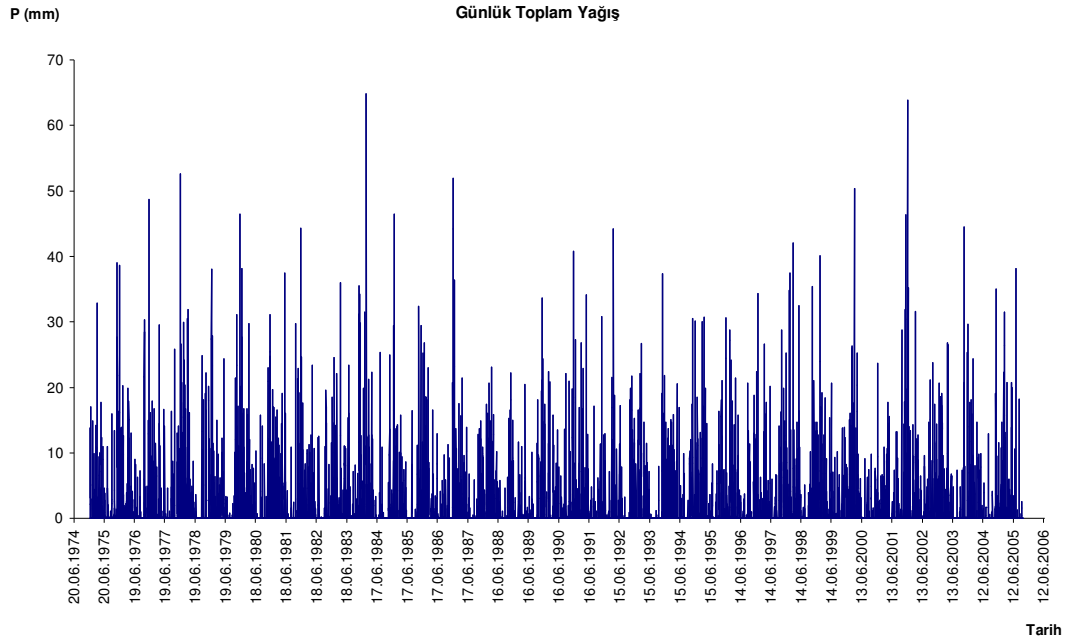
EİE'nin Gediz Nehrindeki 523 no'lu akım istasyonuna en yakın meteoroloji istasyonları Selendi, Kula ve Güre olmakla birlikte, 1990'lı yıllarda Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ)'nin küçük klima niteliği taşıyan tüm istasyonları kapatması nedeniyle bu istasyonların verileri kullanılamamış, biraz uzak kalan diğer DMİ istasyonları verilerinden yararlanılmıştır. Bu meteoroloji istasyonları 919 m yükseltiye sahip Uşak, 809 m yükseltiye sahip Simav ve 825 m yükseltiye sahip Gediz istasyonlarıdır. Şekil 4.1'de havzadaki meteoroloji istasyonlarının yeri görülmektedir. İstasyonlara ait ortalama yıllık yağış miktarı 624 mm'dir. Alansal ortalama yağış yükseklikleri için, her bir istasyonun çevresinde kalan alanın yüzdesini o istasyondaki yağışa ağırlık olarak veren Thiessen Metodu kullanılmış bir çalışmadan, Tablo 4.1'deki değerlere ulaşılmıştır (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2001).

Tablo 4.1 Yağış verilerinin alansal ortalaması

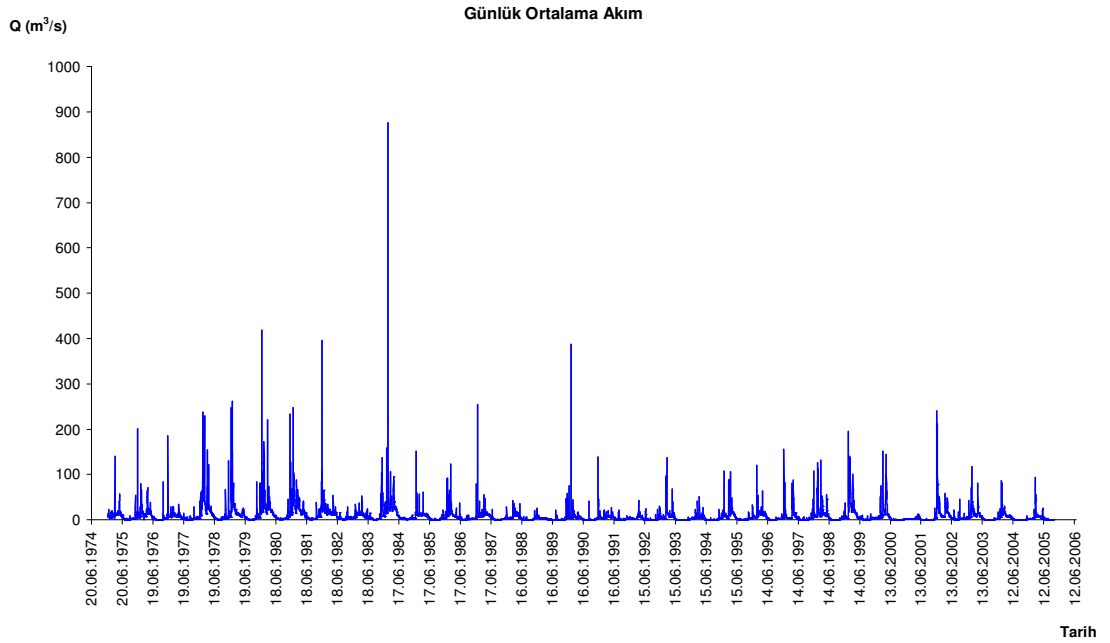
İstasyon	Yükseltisi (m)	İstasyon ağırlığı (%)
Uşak (17188)	919	39,8
Gediz (17750)	825	46,1
Simav (17748)	809	14,1

Kurulan modelde üç meteoroloji istasyonuna ait yağış verilerinin alansal ortalaması ile 523 no'lu istasyonda ölçülmüş günlük akım verileri kullanılarak ayda bir veya iki defa ölçülmüş askıda katı madde tahmini yapılmıştır. Çalışmada havzadaki meteoroloji istasyonlarına ait günlük toplam yağış yükseklikleri ile 523 no'lu EİE istasyonunun akım ve askı maddesi gözlemlerinin en uzun ortak ölçüm zamanı olan 01.01.1975 ile 30.09.2005 tarihleri arasındaki 350 veri çiftinin değerleri dikkate alınmıştır.

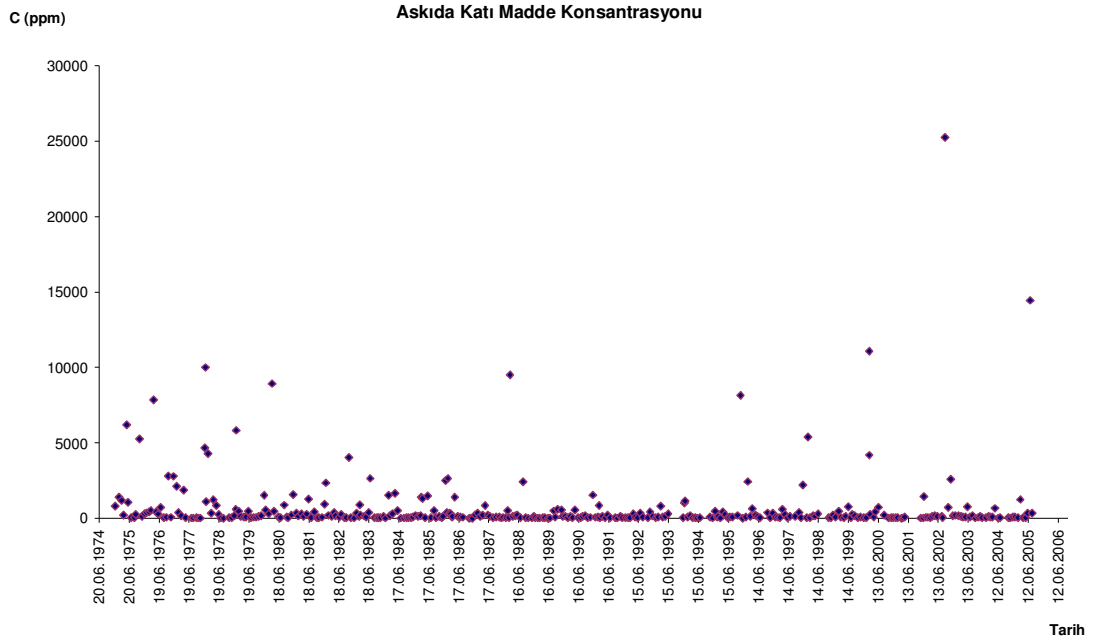
Şekil 4.2'de 1975-2005 yılları arasında ölçülmüş Thiessen Metodu ile alansal ortalaması hesap edilmiş günlük toplam yağış değerleri görülmektedir. Şekil 4.3'de 523 akım gözlem istasyonunda 1975-2005 yılları arasında gözlenmiş günlük ortalama akım değerleri, Şekil 4.4 ve 4.5'de sırasıyla aynı süre içinde gözlenmiş askıda katı madde konsantrasyonu ve askıda katı madde yükü grafikleri yer almaktadır. Tablo 4.2'de model çalışmalarında kullanılan tüm verilerin ortalama (x_{ort}), standart sapma (Sx), çarpıklık (Cs_x), değişkenlik katsayısı (Cv) gibi temel istatistikleri ile verilerin hangi aralıkta değiştiğine dair en büyük ($max.$) ve en küçük ($min.$) gözlem değerleri yer almaktadır. Tablo 4.3'de de girdi verilerinin, modellemede senaryo kurulumuna yardımcı olan oto-korelasyon ve çapraz korelasyon değerleri sunulmaktadır. Bölüm 6.1'de bu değerlerden yararlanılarak Gediz Nehri 523-Acisu İstasyonu için model senaryoları oluşturulmuş ve modelleme bu şekilde yapılmıştır.



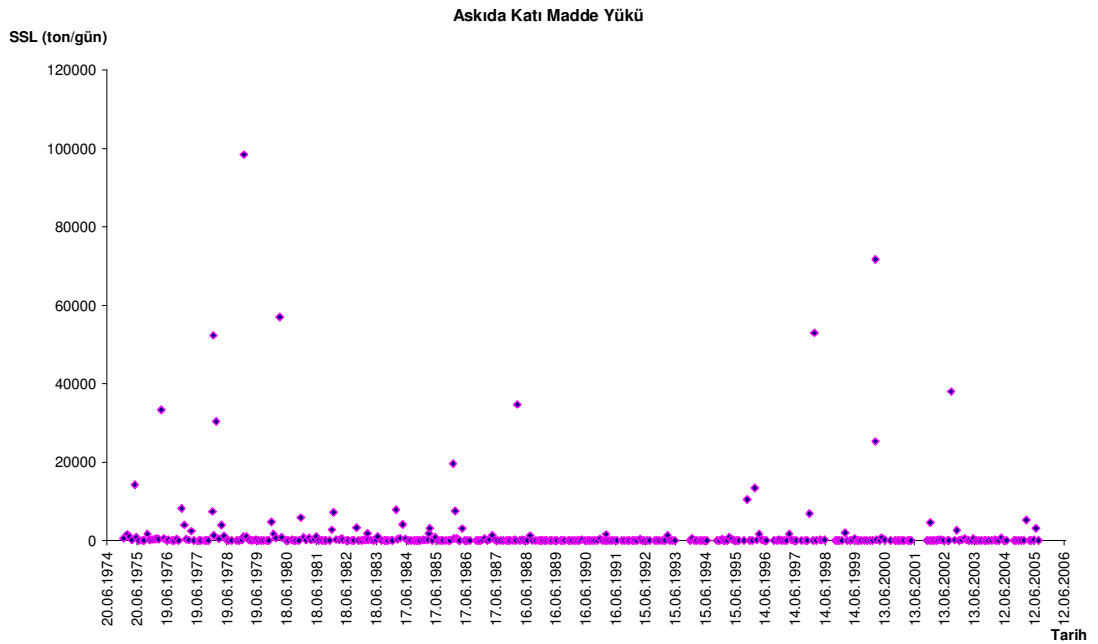
Şekil 4.2 Uşak, Simav ve Gediz (DMİ) istasyonlarının Thiessen Metodu ile belirlenen alansal ortalama günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi



Şekil 4.3 523-Acısı (EİE) İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 4.4 523-Acısü (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi



Şekil 4.5 523-Acısü (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi

Tablo 4.2 523-Acısü (EİE) İstasyonu'na ait verilerin temel istatistikleri

	Veri tipi	X _{ort}	S _x	C _v	C _{sx}	X _{max}	X _{min}
Tüm Veri	P (mm)	1,70	4,47	2,63	3,56	29,71	0
	Q (m ³ /s)	10,47	17,57	1,68	5,18	195	0,03
	SSL (ton/gün)	2.026,82	9.102,73	4,49	6,92	98.409,17	0,14

Tablo 4.3 523-Acısü (EİE) İstasyonu'na ait verilerin çapraz ve oto-korelasyonu

	Oto-korelasyonlar		Çapraz Korelasyonlar		
	P-P	Q-Q	P- SSL	Q-SSL	P- Q
$r_{x,y,0}$	-	-	0,61	0,82	0,54
$r_{x,y,1}$	0,26	0,67	0,42	0,61	0,46
$r_{x,y,2}$	0,09	0,49	0,19	0,37	0,32
$r_{x,y,3}$	0,06	0,42	0,12	0,11	0,32

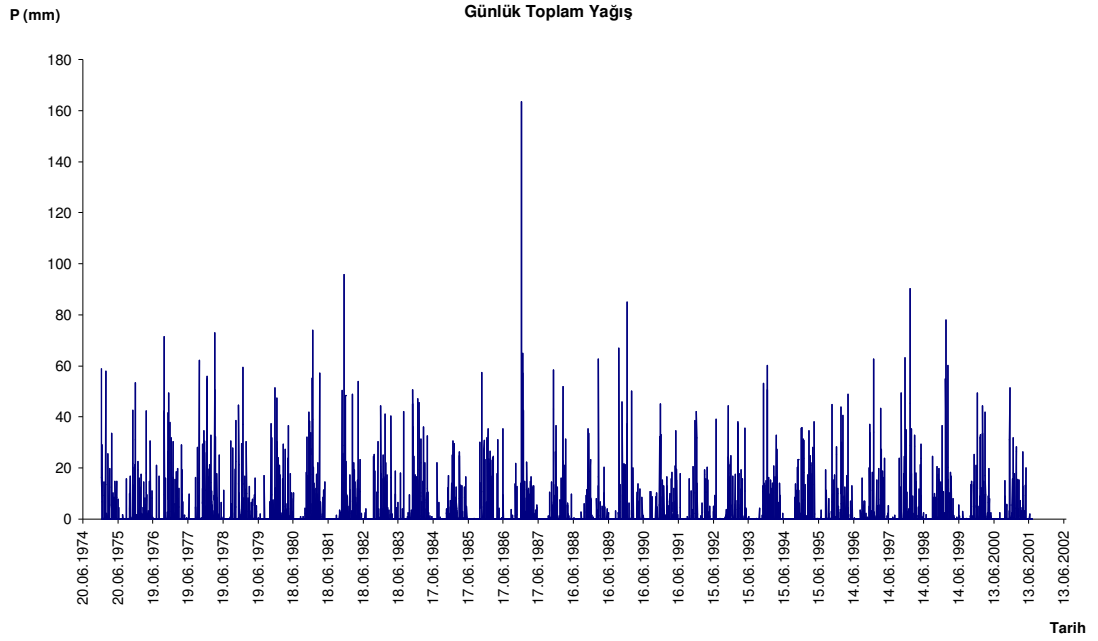
Not:Tablolardaki P; yağışı, Q; akımı, SSL; askıda katı madde yükünü ve r; korelasyon katsayısını göstermektedir.

4.1.2 Gediz Nehri 518- Manisa Köprüsü İstasyonu

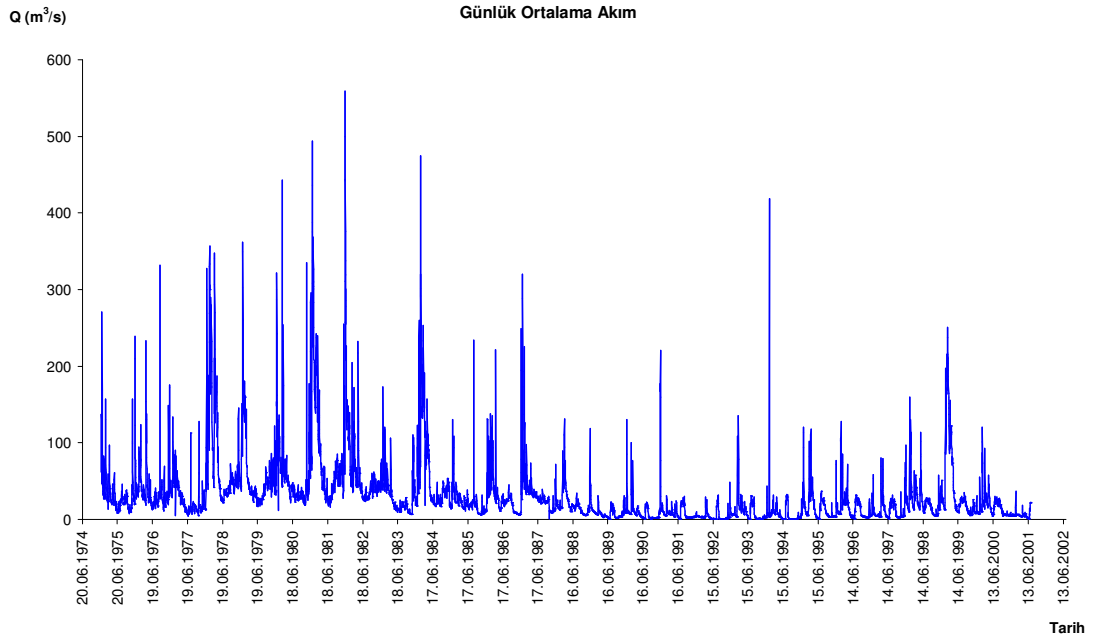
Gediz Nehri üzerindeki 518 no'lu Manisa köprüsü akım gözlem istasyonu 27° 26'36'' D ile 38°38'41'' K koordinatları arasında Manisa-Akhisar 3.km'sindeki köprünün 100 metre mansabındadır (Şekil 4.1). Şekilde DMİ'ye ait Manisa (17186) meteoroloji istasyonu da görülmektedir.

EİE 518-Manisa Köprüsü İstasyonunun yükseltisi 23 m ve net yağış alanı 15614,4 km²'dir. Bu istasyon Demirköprü Barajının mansabındadır, dolayısıyla sürekli bir düzenlemenin etkisi altındadır. 1971-2001 yılları arasında istasyonda askıda katı maddenin ölçümü yapılmıştır. İstasyondaki ortalama akım 41,1 m³/sn, ve ortalama sediment dağılımı % 58,1 kum, % 41,9'da kil ve silt şeklindedir. Bu istasyonda ölçülen ortalama yıllık sediment miktarı 387.728 ton ve km² başına yılda taşınan sediment miktarı da 58 ton'dur. Askıda katı madde gözlemlerine 2001 yılında son verilmiştir (EİE, 2006). Şekil 4.6'da 1975-2001 yılları arasında ölçülmüş Manisa DMİ'ye ait günlük toplam yağış değerleri görülmektedir. Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9 da sırasıyla 518-Manisa Köprüsü İstasyonunun aynı yıllar arasında gözlenmiş günlük

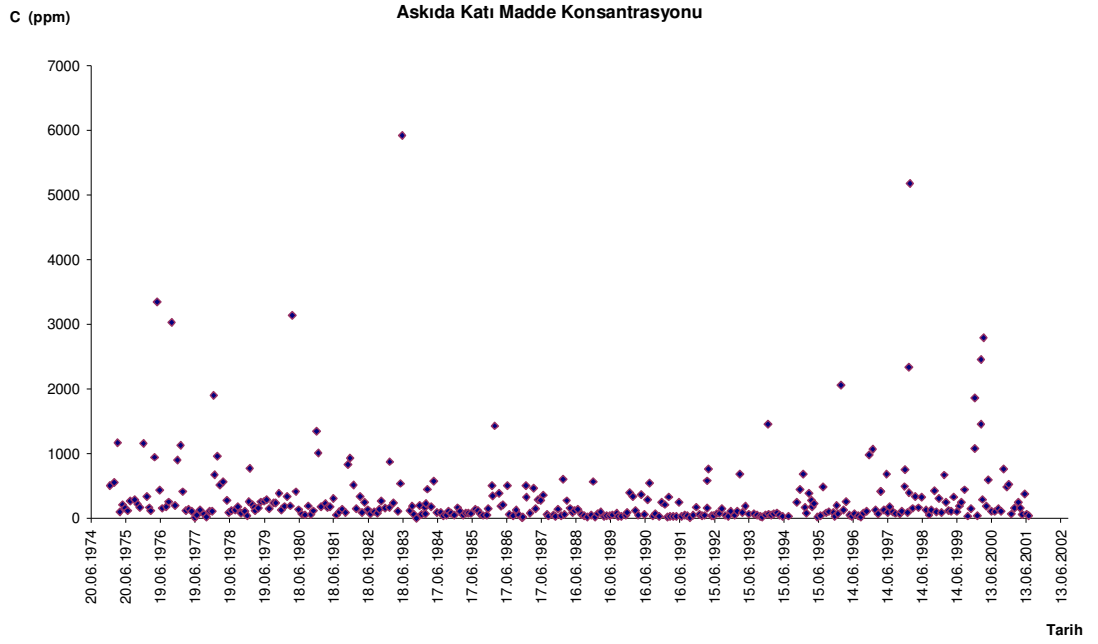
ortalama akım, askıda katı madde konsantrasyonu ve askıda katı madde yükü grafikleri yer almaktadır. Tablo 4.4'de istasyona ait verilerin temel istatistikleri ile Tablo 4.5'de oto-korelasyon ve çapraz korelasyon değerleri yer almaktadır. Kurulan model senaryoları da Bölüm 6.2'de uygulama kısmındadır.



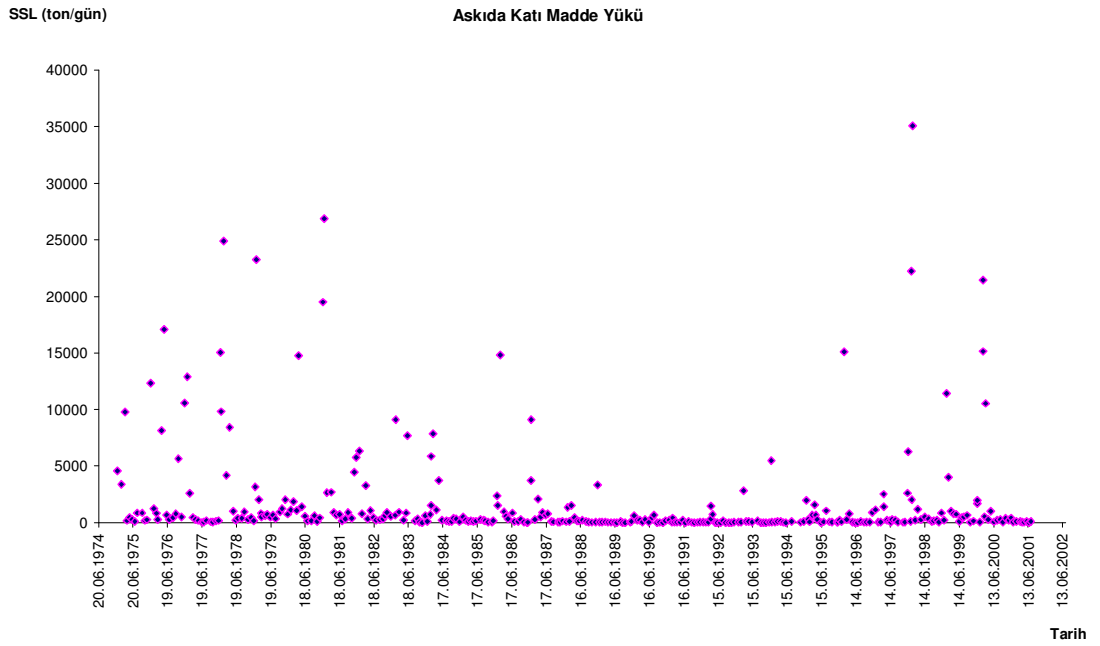
Şekil 4.6 Manisa (DMİ) İstasyonu'nda gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi



Şekil 4.7 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 4.8 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonun zamana bağlı değişimi



Şekil 4.9 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi

Tablo 4.4'de 518 Manisa Köprüsü istasyonuna ait tüm verilerin tüm verilerin ortalama (x_{ort}), standart sapma (S_x), çarpıklık (C_{s_x}), değişkenlik katsayısı (C_v) gibi temel istatistikleri ile verilerin hangi aralıkta değiştiğine dair en büyük ($max.$) ve en küçük ($min.$) gözlem değerleri yer almaktadır.

Tablo 4.4 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'na ait verilerin temel istatistikleri

	Veri tipi	X_{ort}	S_x	C_v	C_{s_x}	X_{max}	X_{min}
Tüm Veri	P (mm)	2,527	8,59	3,4	5,837	77,9	0
	Q (m ³ /s)	36,534	50,917	1,394	3,297	349	0,08
	SSL (ton/gün)	1.734,472	4.425,278	2,551	4,109	35.060,304	0,317

Tablo 4.5 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'na ait verilerin çapraz ve otokorelasyonu

	Oto-korelasyonlar		Çapraz Korelasyonlar		
	P-P	Q-Q	P- SSL	Q-SSL	P- Q
$r_{x,y,0}$	-	-	0,32	0,689	0,202
$r_{x,y,1}$	0,2534	0,914	0,605	0,514	0,339
$r_{x,y,2}$	0,083	0,847	0,283	0,494	0,305
$r_{x,y,3}$	0,076	0,799	0,281	0,404	0,244
$r_{x,y,4}$	0,07	0,762	0,179	0,344	0,213
$r_{x,y,5}$	0,02	0,734	0,125	0,317	0,185

Not:Tablolardaki P; yağışı, Q; akımı, SSL; askıda katı madde yükünü ve r; korelasyon katsayısını göstermektedir.

4.2 Küçük Menderes Havzası

Ödemiş ilçesinin arkasında Bozdağlar'dan doğan Küçük Menderes Nehri, birleşen kollarla büyüyerek güneye doğru iner, Beydağ ilçesi yakınlarında, Boz ve Aydın Dağları'nın arasındaki geniş havzasında batıya doğru akar. Nehrin en önemli kolları Çamlı, Keleş çayları, Koca Havran, Eğri, Uzun, Gelinbay, Rahmanlar, Aktaş, Kılma, Kürkdere ve Hamidiye dereleridir. Torbalı yakınlarında güneye doğru dönerek Selçuk ilçesi önünden Ege Denizi'ne delta yaparak dökülür. Ortalama uzunluğu 175 km olan nehir kış aylarında sağanak yağışlarda yatağından taşarak, geçici bataklıklar oluşturur. Yaz aylarında ise suları çok azdır, kendisini besleyen dereler tamamen

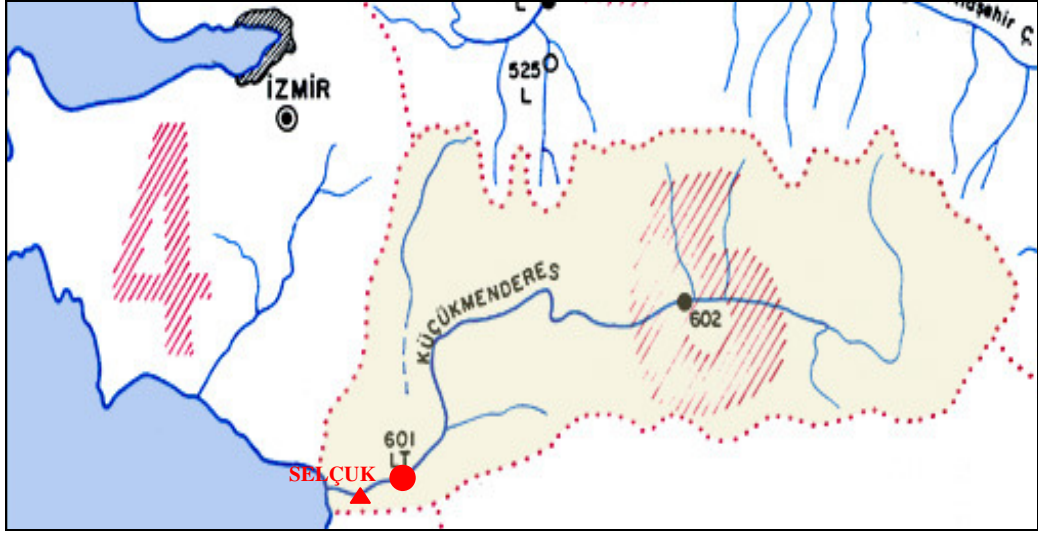
kurur. Havzadaki arazilerin % 33'ü tarım arazisi, % 9'u otlak mera, % 47'si orman ve fundalık, % 13'ü ise diğer alanları içermektedir. Havza ülkemizin en verimli topraklarından bir bölümüne sahip olup başlıca tarım ürünleri zeytin, pamuk, buğday, patates, tütündür. Hayvancılık da önemli bir geçim kaynağıdır. Küçük Menderes Nehri'nin Beydağ, Ödemiş, Tire, Bayındır, Selçuk ilçelerinden geçerek geçtiği yerleşim alanlarının, evsel ve sanayi atıklarını, tarımsal ilaçlar ve kimyasal gübrelere kaynaklanan kirliliği Ege Denizi'ne taşımaktadır.

4.2.1 Küçük Menderes Nehri 601-Selçuk İstasyonu

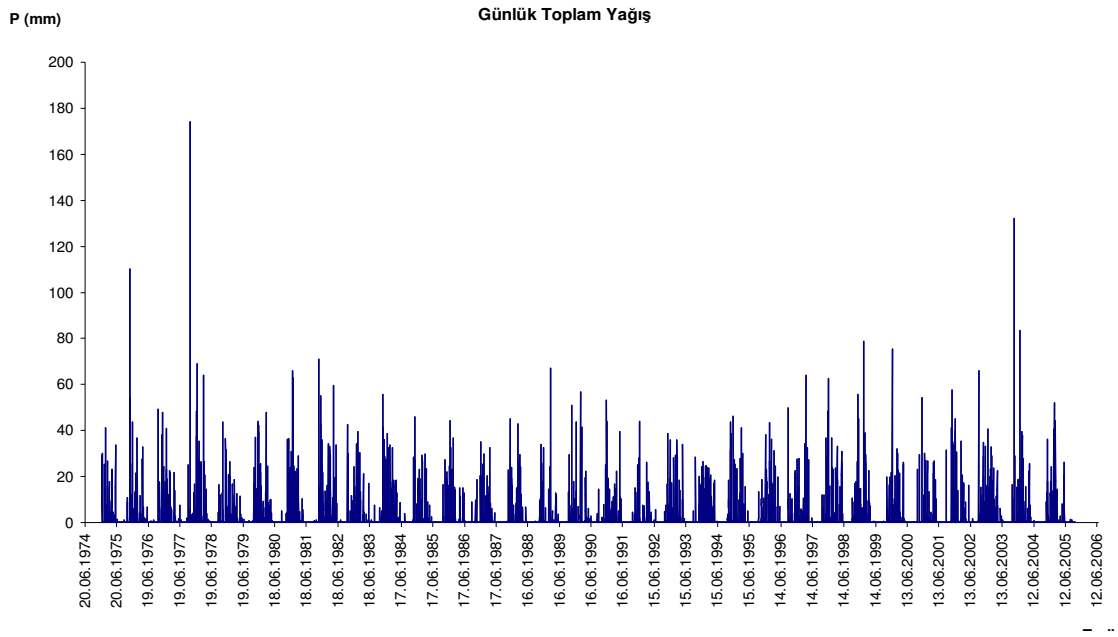
Küçük Menderes Akarsuyu üzerinde yer alan EİE'ye ait 601 no'lu Selçuk akım gözlem istasyonu $27^{\circ} 22'45''$ D ile $37^{\circ}58'45''$ K koordinatları arasında, Selçuk-İzmir karayolunun 3.km sindeki Devlet Demiryolları köprüsünün 80 metre mansabındadır (Şekil 4.10). Şekil 4.10'da yağış verilerinin temin edildiği, DMİ' ye ait Selçuk (17854) Meteoroloji istasyonu da gösterilmektedir.

EİE 601-Selçuk İstasyonun yağış alanı $3255,2 \text{ km}^2$ ve istasyonun yaklaşık kotu 4 metre'dir. 1972 yılından bu yana istasyonda askıda katı maddenin ölçümü de yapılmaktadır. İstasyondaki ortalama akım $10,2 \text{ m}^3/\text{sn}$, ve ortalama sediment dağılımı % 62,2 kum, % 37,8'de kil ve silt şeklindedir. Bu istasyonda ölçülen ortalama yıllık sediment miktarı 196.935 ton ve km^2 başına yılda taşınan sediment miktarı da 60 ton'dur (EİE, 2006).

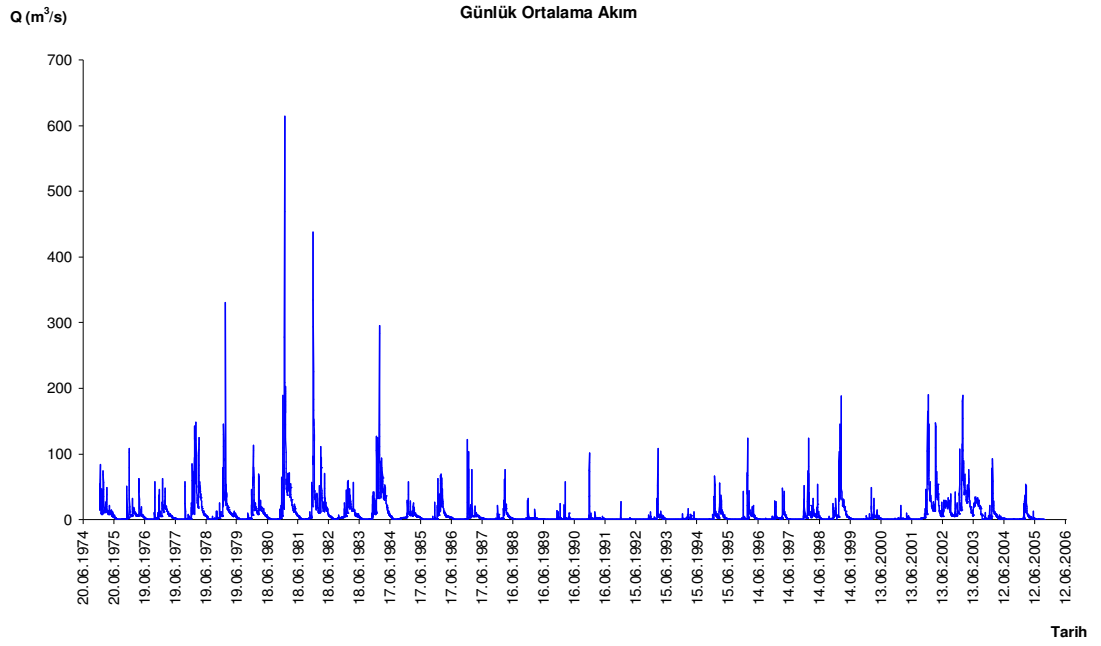
Şekil 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'de sırasıyla 1975-2005 yılları arasında ölçülmüş Selçuk DMİ'ye ait günlük toplam yağış değerleri, 601-Selçuk İstasyonunun aynı yıllar arasında gözlenmiş günlük ortalama akım, askıda katı madde konsantrasyonu ve askıda katı madde yükü grafikleri yer almaktadır. Tablo 4.6'da istasyona ait tüm verilerin temel istatistikleri ile Tablo 4.7'de oto-korelasyon ve çapraz korelasyon değerleri yer almaktadır. Kurulan model senaryoları da Bölüm 6.3'de uygulama kısmındadır.



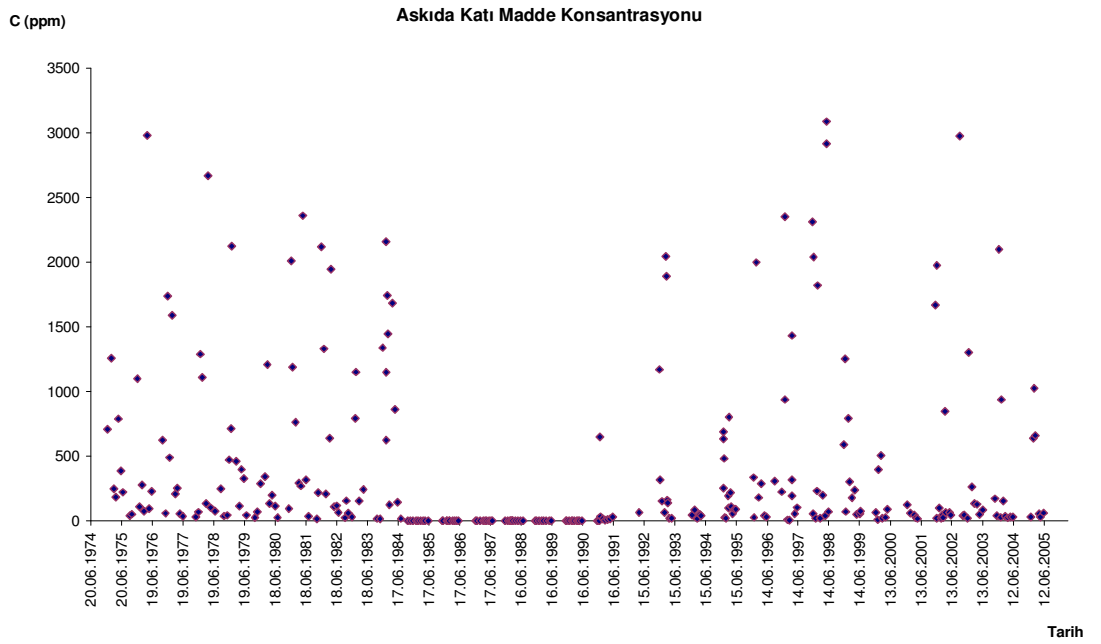
Şekil 4.10 Küçük Menderes Havzası, Küçük Menderes Nehri ve 601-Selçuk Akım Gözlem İstasyonu ile Selçuk Meteoroloji Ölçüm İstasyonları



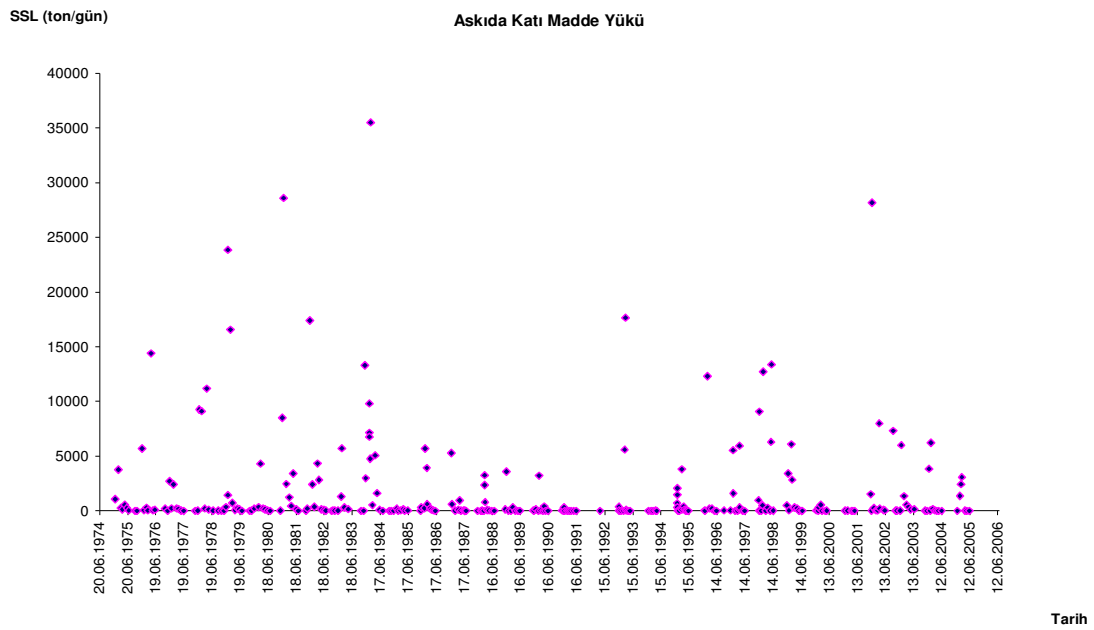
Şekil 4.11 601-Selçuk (DMİ) İstasyonu'nda gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi



Şekil 4.12 601-Selçuk (EİE) İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 4.13 601-Selçuk (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi



Şekil 4.14 601-Selçuk (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi

Tablo 4.6 601-Selçuk (EİE) İstasyonu'na ait verilerin temel istatistikleri

	Veri tipi	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	X_{max}	X_{min}
Tüm Veri	P (mm)	4,92	10,79	2,193	2,908	64,1	0
	Q (m ³ /s)	18,439	33,622	1,823	4,454	284,00	0,039
	SSL (ton/gün)	1.777,573	4.525,18	2,546	4,209	35.505,907	0,298

Tablo 4.7 601-Selçuk İstasyonu'na ait verilerin çapraz ve otokorelasyonu

	Oto-korelasyonlar		Çapraz Korelasyonlar		
	P-P	Q-Q	P- SSL	Q-SSL	P- Q
$r_{x,y,0}$	-	-	0,349	0,889	0,22
$r_{x,y,1}$	0,247	0,893	0,384	0,723	0,311
$r_{x,y,2}$	0,093	0,778	0,460	0,456	0,302
$r_{x,y,3}$	0,091	0,704	0,244	0,334	0,255

4.3 Büyük Menderes Havzası

Türkiye'nin tarımsal potansiyel bakımından önce gelen alanlarından olan Büyük Menderes Havzası, Denizli'den başlayarak Ege Denizi kıyılarına uzanan çok geniş ovaları kapsar. Büyük Menderes Nehri Batı Anadolu'nun en büyük nehridir ve Büyük Menderes Havzası'nın ana sulama kaynağıdır. Afyon ili Dinar ilçesi yakınlarında Suçukan mevkiinde doğar. Işıklı ve Küfi Çayları'nı biriktiren Işıklı Barajı'ndan çıkıp, Çivril, Çal ve Baklan Ovaları'nı geçer. Çal Ovasının doğusundan kuzeye dönerek, Güney ilçesine doğru derin bir yatakta akar. Adıgüzel Barajı'nda Uşak'tan gelen ve Büyük Menderes'in en büyük kollarından biri olan Banaz Çayı ile birleşip, Sarayköy Ovası'na iner. Denizli hudutları içindeki Çürüksu ve Gökpınar Çayları ile beslenerek batı yönünde akar. Akçay ve Çine çaylarını da alarak Nazilli, Aydın ve Söke ovalarını besleyip 584 km uzunluğundaki yolculuğunu Söke ilçesi Dipburun Mevkii'nde Ege Denizi'ne dökülerek tamamlar. Büyük Menderes Nehri'nin oluşturduğu havza Denizli, Uşak, Afyon, Aydın, Muğla illerini içine alır. Havzada üretilen başlıca tarım ürünü pamuk, incir ve zeytindir. Tekstil ve deri sanayi havzada önde gelen endüstri kollarındandır. Büyük Menderes Havzasında EİE'ye ait, 701 (1967-2005), 706 (1985-2006), 707 (1967-1983), 713 (1972-1985), 726 (1985-1989), 734 (1999-2005) ve 735 (1989-1998) no'lu sediment gözlem istasyonları yer almaktadır, parantez içindeki yıllar istasyona ait gözlem süreleridir. Havzadaki uygulamalarda veri uzunluğunun fazla olması ve membada yer alması nedeniyle 701 no'lu istasyondan yararlanılmıştır.

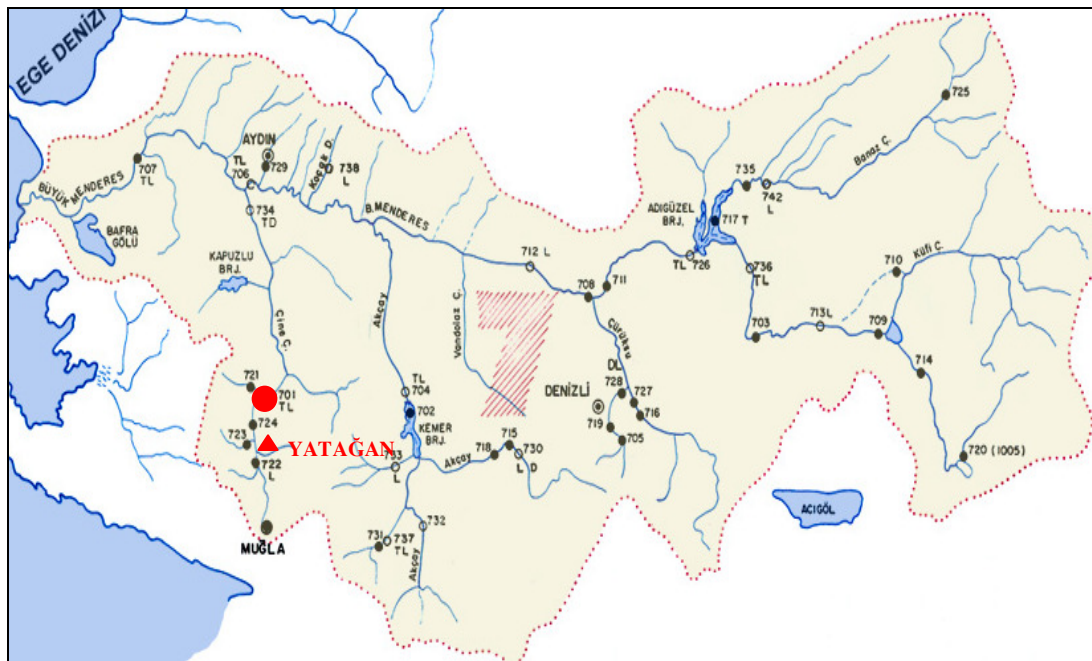
4.3.1 Büyük Menderes Nehri 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu

Büyük Menderes nehri üzerindeki 701 no'lu Çine çayı Kayırlı istasyonun yükseltisi 262 m ve net yağış alanı 948 km²'dir. Büyük Menderes Akarsuyu'nun Çine Çayı üzerinde yer alan EİE'ye ait 701 no'lu akım gözlem istasyonu 28°07'53"D -37°25'19"K koordinatları arasında, eski Yatağan- Aydın karayolunun 15. Km.'sindeki köprüünün akış aşağısındadır (EİE, 2006). 1967 yılından bu yana istasyonda askıda katı maddenin ölçümü yapılmaktadır. İstasyondaki ortalama akım 6,47 m³/sn, ve ortalama sediment dağılımı % 50,4 kum, % 49,6'da kil ve silt

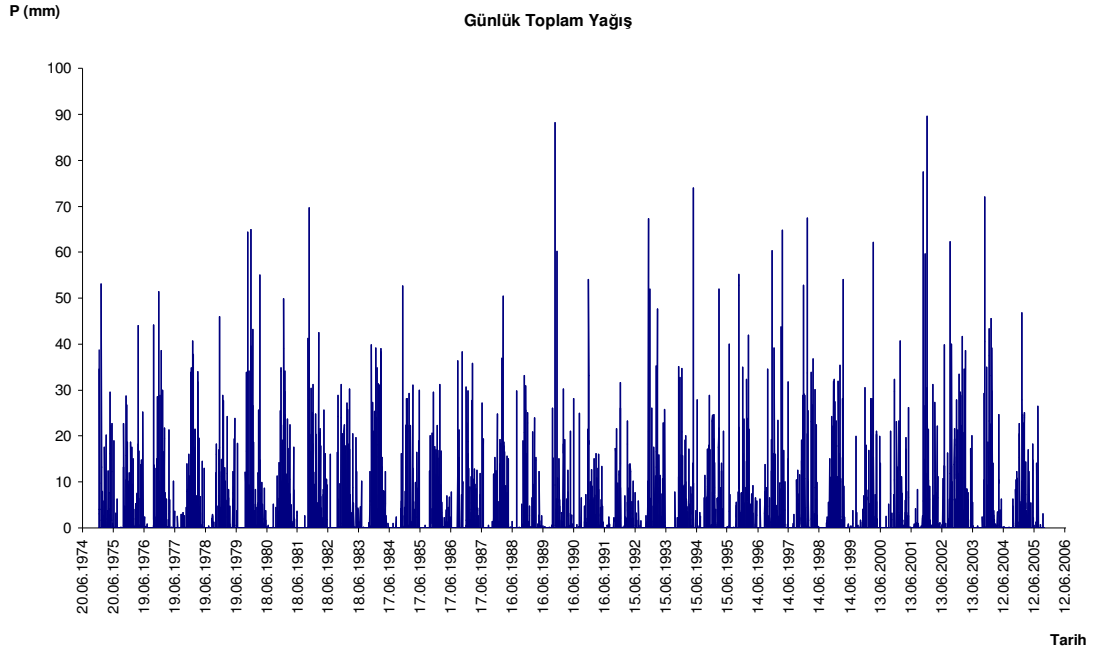
şeklinde. Bu istasyonda ölçülen ortalama yıllık sediment miktarı 26.663 ton ve km^2 başına yılda taşınan sediment miktarı da 28 ton'dur (EİE, 2006). Şekil 4.15'de EİE 701 no'lu akım gözlem istasyonu ve Yatağan (DMİ-17886) meteoroloji istasyonu görülmektedir.

Şekil 4.16- 4.19'da sırasıyla 1975-2005 yılları arasında ölçülmüş Yatağan DMİ'ye ait günlük toplam yağış değerleri, 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonunun aynı tarihler arasında gözlenmiş günlük ortalama akım, askıda katı madde konsantrasyonu ve askıda katı madde yükü grafikleri yer almaktadır.

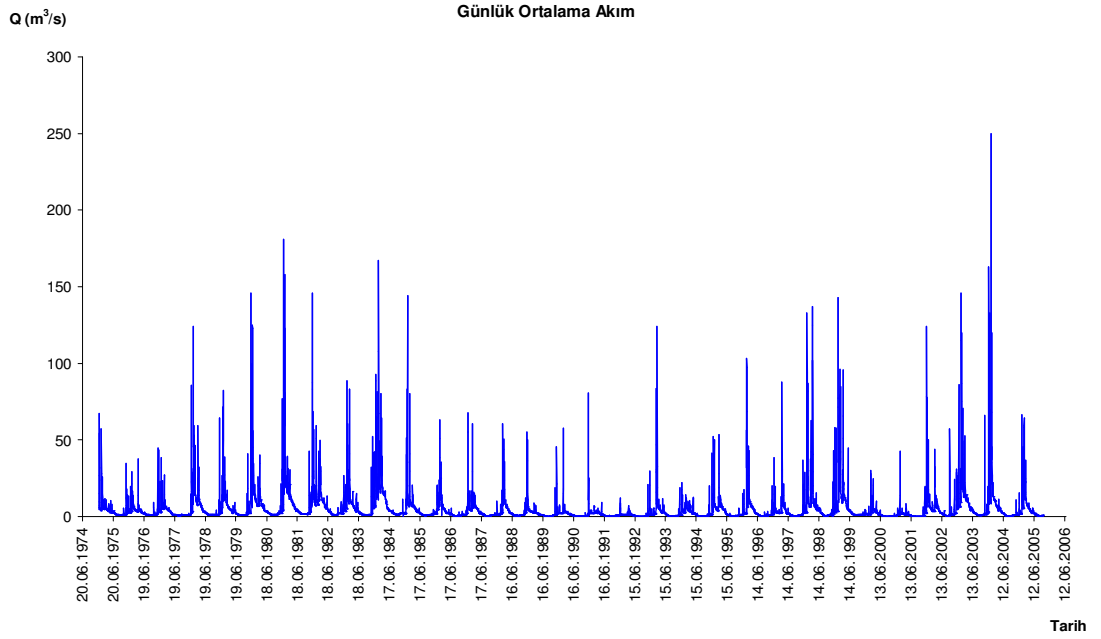
Diğer istasyonlarda olduğu gibi Tablo 4.8'de istasyona ait verilerin temel istatistikleri ve Tablo 4.9'de oto-korelasyon ile çapraz korelasyon değerleri yer almaktadır. Kurulan model senaryoları ise Bölüm 6.4'de uygulama kısmındadır.



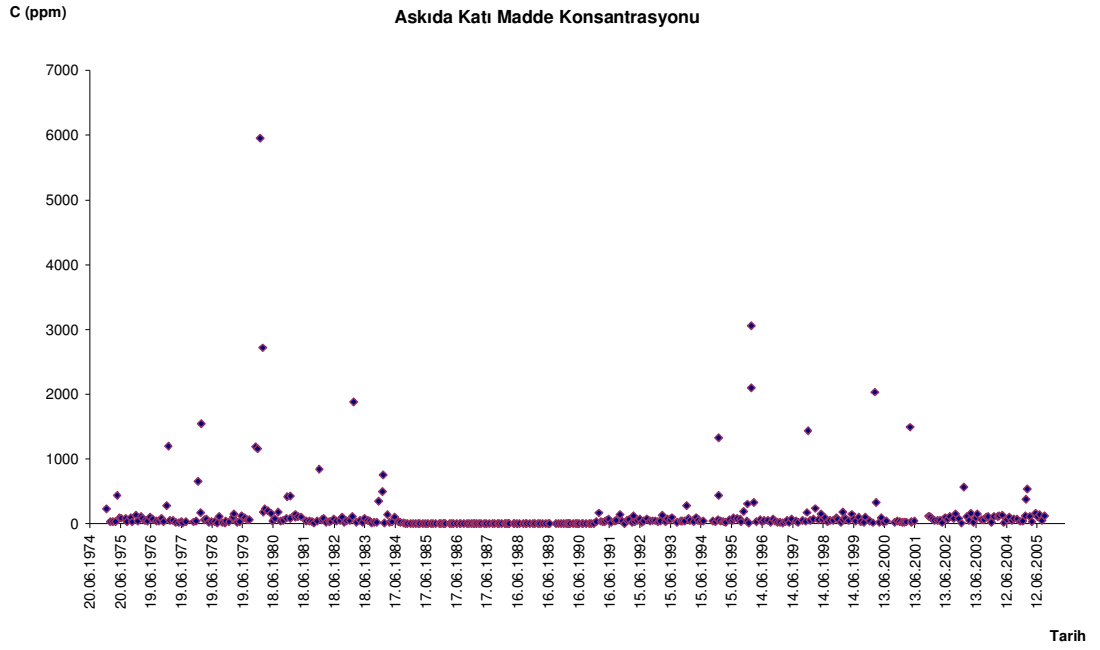
Şekil 4.15 Büyük Menderes Havzası, Büyük Menderes Nehri ve 701-Çine Çayı Kayırlı Akım Gözlem İstasyonu ile Yatağan Meteoroloji Ölçüm İstasyonu



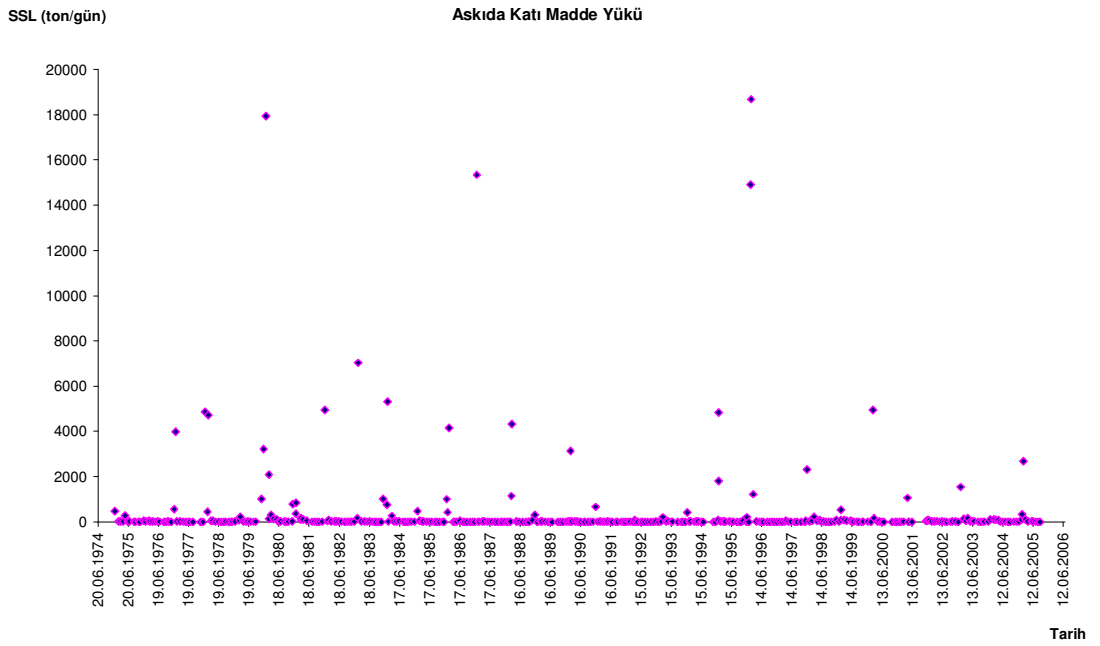
Şekil 4.16 Yatağan (DMİ) İstasyonu'nda gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi



Şekil 4.17 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 4.18 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonun zamana bağlı değişimi



Şekil 4.19 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi

Tablo 4.8 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'na ait verilerin temel istatistikleri

	Veri tipi	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	X_{max}	X_{min}
Tüm Veri	P (mm)	3,27	8,13	2,49	3,13	59,0	0
	Q (m ³ /s)	7,04	13,12	1,86	3,81	103,0	0,05
	SSL (ton/gün)	406,592	1.902,351	4,679	7,316	18.681,702	0,150

Tablo 4.9 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'na ait verilerin çapraz ve otokorelasyonu

	Oto-korelasyonlar		Çapraz Korelasyonlar		
	P-P	Q-Q	P- SSL	Q-SSL	P- Q
$r_{x,y,0}$	-	-	0,520	0,735	0,546
$r_{x,y,1}$	0,241	0,658	0,118	0,267	0,310
$r_{x,y,2}$	0,085	0,447	0,088	0,147	0,209
$r_{x,y,3}$	0,066	0,402	0,083	0,085	0,167

BÖLÜM BEŞ

LABORATUVAR ANALİZİ VE

PERFORMANS DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ

5.1 Arazi ve Laboratuvar Çalışması

Sediment anahtar eğrisi, regresyon ve yapay zeka modellerinde, model girdisi olarak yağış, akım ve askıda katı madde verileri kullanılmış, yağış verileri Devlet Meteoroloji İşlerinden, akım ve askıda katı madde verileri de Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) kurumundan temin edilmiştir. Ampirik bağıntılarda ise akım ve askıda katı madde verilerinin yanı sıra askıda katı maddenin ölçüldüğü tarihlere ait akarsu enkesit bilgileri, havzalara ait boyuna eğim değerleri, Manning pürüzlülük katsayısı (n) değerleri ile taşınan askıda katı madde dane çapı ile yatak yükü dane çapı değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Enkesit bilgileri EİE Aydın şubesinden alınmış, havzalara ait boyuna eğim değerleri EİE’de olmadığından sayısal haritalardan elde edilen yükselti modelinden bulunmuştur. Diğer veriler için arazi ve laboratuvar çalışması yapılmıştır.

16-20.11.2007’de su yılının başında yağın ilk yağmurların ardından EİE Aydın Şube Ekipleri ile Gediz Havzasındaki 523-Acısü ve 518-Manisa Köprüsü istasyonlarına, 06-17.02.2009’da da Küçük ve Büyük Menderes Havzalarındaki 601-Selçuk ve 701-Çine Çayı Kayırlı istasyonlarına gidilmiş, askıda katı madde ile yatak yükü malzeme numunesinin standart prosedürde alımları yapılmıştır. Bu tarihlerin özellikle yağışlı dönemlere denk gelmesine dikkat edilmiştir. Bu arazi çalışmasının amacı katı madde danelerinin birim hacim ağırlıklarını ve askıda taşınan katı madde ile yatak yüküne ait dane çaplarının belirlenmesidir. Araziden alınan örnekler özgül ağırlık, elek analizi, kıvam limitleri ve askıda katı madde dane çapının belirlenmesi olmak üzere dört başlık altında DEÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvar’ında incelenmiştir. Askıda katı madde dane çapı ise DEÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Malvern dane çapı analizi (Mastersizer-2000) deney cihazında, bölüm öğretim üyelerinden Doç. Dr. Azize Ayol tarafından gerçekleştirilmiştir.

Cihazın dane çapı belirlemedeki hassaslığı %1 olarak verilmiştir (<http://www.malvern.com/>). Laboratuvar çalışmalarında etüvde kurutulan yatak yükü malzeme örneklerine öncelikle ASTM-D854 standardına göre özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. 523-Acısü, 518-Manisa Köprüsü, 601-Selçuk ve 701-Çine Çayı Kayırlı istasyonlarına ait deney sonuçları sırasıyla Tablo 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'de verilmektedir.

Tablo 5.1 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin özgül ağırlık deneyi

ÖZGÜL AĞIRLIK					
İşin Adı	Gediz Nehri 523 no'lu istasyon			G=	2,756
Tarih	01.11.2007				
Yapan	Aslı Ülke				
Deney No				[1]	[2]
Piknometre No				E	
Piknometre Hacmi (20*)			cm³	500	
Hava Alma Yöntemi			-	Vakum	
Kuru Örnek Ağırlığı		a	g	50,00	
Piknometre + Su + Örnek Ağırl.		b	g	672,32	
Sıcaklık			°C	20	
Piknometre + Su Ağırl.		c	g	640,46	
Kap + Kuru Örnek Ağırl.			g		
Kap Ağırl.			g		
Kuru Örnek Ağırlığı		a	g	50	
Özgül Ağırlık			$G = \frac{a}{a + c - b}$	-	2,756
Sıcaklık Düzeltmesi,			A	-	1,0000
Özgül Ağırlık,			G x A	-	2,756
			Sıcaklık,	A	
			T_t(°C)		
			18	1,0040	
			19	1,0020	
			20	1,0000	
			22	0,9996	
			24	0,9991	
			26	0,9986	
			28	0,9980	

Tablo 5.2 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin özgül ağırlık deneyi

ÖZGÜL AĞIRLIK					
İşin Adı	Gediz Nehri 518 no'lu istasyon			G=	2,710
Tarih	01.11.2007				
Yapan	Aslı Ülke				
Deney No				[1]	[2]
Piknometre No				E	
Piknometre Hacmi (20*)			cm³	500	
Hava Alma Yöntemi			-	Vakum	
Kuru Örnek Ağırlığı		a	g	50,00	
Piknometre + Su + Örnek Ağırl.		b	g	672,01	
Sıcaklık			°C	20	
Piknometre + Su Ağırl.		c	g	640,46	
Kap + Kuru Örnek Ağırl.			g		
Kap Ağırl.			g		
Kuru Örnek Ağırlığı		a	g	50	
Özgül Ağırlık			$G = \frac{a}{a + c - b}$	-	2,710
Sıcaklık Düzeltmesi, A			-	1,0000	
Özgül Ağırlık, G x A			-	2,710	
			Sıcaklık, T_i(°C)	A	
			18	1,0040	
			19	1,0020	
			20	1,0000	
			22	0,9996	
			24	0,9991	
			26	0,9986	
			28	0,9980	

Tablo 5.3 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin özgül ağırlık deneyi

ÖZGÜL AĞIRLIK						
İşin Adı	Küçük Menderes Nehri 601 no'lu istasyon			G=	2,735	
Tarih	12.02.2009					
Yapan	Aslı Ülke					
Deney No				[1]	[2]	
Piknometre No				E		
Piknometre Hacmi (20*)			cm³	500	500	
Hava Alma Yöntemi			-	Vakum	Vakum	
Kuru Örnek Ağırlığı		a	g	50,08	50,04	
Piknometre + Su + Örnek Ağırl.		b	g	717,02	729,62	
Sıcaklık			°C	20	20	
Piknometre + Su Ağırl.		c	g	685,5	697,63	
Kap + Kuru Örnek Ağırl.			g			
Kap Ağırl.			g			
Kuru Örnek Ağırlığı		a	g	50,8	50,04	
Özgül Ağırlık		$G = \frac{a}{a + c - b}$		-	2,698	2,772
Sıcaklık Düzeltmesi, A			-	1,0000	1,0000	
Özgül Ağırlık, G x A			-	2,698	2,772	
			Sıcaklık, T_i(°C)	A		
			18	1,0040		
			19	1,0020		
			20	1,0000		
			22	0,9996		
			24	0,9991		
			26	0,9986		
			28	0,9980		

Tablo 5.4 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin özgül ağırlık deneyi

ÖZGÜL AĞIRLIK						
İşin Adı	Büyük Menderes Nehri 701 no'lu istasyon			G=	2,702	
Tarih	19.02.2009					
Yapan	Aslı Ülke					
Deney No				[1]	[2]	
Piknometre No				E		
Piknometre Hacmi (20*)			cm³	500	500	
Hava Alma Yöntemi			-	Vakum	Vakum	
Kuru Örnek Ağırlığı		a	g	100,01	100,02	
Piknometre + Su + Örnek Ağırl.		b	g	748,12	761,0	
Sıcaklık			°C	21	21	
Piknometre + Su Ağırl.		c	g	685,5	697,63	
Kap + Kuru Örnek Ağırl.			g			
Kap Ağırl.			g			
Kuru Örnek Ağırlığı		a	g	50,08	50,04	
Özgül Ağırlık		$G = \frac{a}{a + c - b}$		-	2,675	2,729
Sıcaklık Düzeltmesi, A			-	1,0000	1,0000	
Özgül Ağırlık, G x A			-	2,675	2,729	
			Sıcaklık, T_i(°C)	A		
			18	1,0040		
			19	1,0020		
			20	1,0000		
			22	0,9996		
			24	0,9991		
			26	0,9986		
			28	0,9980		

İkinci tip analizde istasyonlardan getirilip, etüvde kurutulan yatak yükü malzeme örneklerine ASTM-D422 standardına göre elek analizi yapılmıştır. 523 no'lu istasyondan alınan örneklerde, No:200 eleğin altına geçen kısım olmazken (Tablo 5.5), 518 no'lu istasyonda örneklerin % 42,5, 601 no'lu istasyonda örneklerin % 26,75'i ve 701 no'lu istasyonda da örneklerin % 28,31'i No:200 eleğin altına geçmektedir (Tablo 5.6, 5.7 ve 5.8). 200 no'lu eleğin altına geçen ince kısma da hidrometri deneyi yapılmıştır. Elek analizi ile hidrometri deney sonuçları aynı grafik düzleminde karşılaştırılmıştır. 518-Manisa Köprüsü istasyonunun Demirköprü barajının mansabında yer alması ve 601-Selçuk istasyonunun da havzanın mansabında ve denize yakın olması nedeniyle, ince daneli malzemenin fazla oluşu makul görünmektedir. 518-Manisa Köprüsü istasyonu konumu gereği fazlaca organik madde içerdiğinden hidrometri deneyinin çok başarılı sonuç vermediği görülmüş, Şekil 5.1'den de görüldüğü gibi elek analizi ile hidrometri deney sonuçları çakışmamıştır, bunun da başlıca nedeni akarsuda organik maddenin çok fazla oluşu nedeniyle hidrometri deneyinin sağlıklı yapılamaması şeklinde açıklanabilir. Diğer istasyonlarda böyle bir problemle karşılaşılmamıştır (Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4). Bununla birlikte 518 ve 601 no'lu istasyonlardan alınan numunelerde laboratuvar çalışması esnasında, havzadaki yerleşim birimlerinin kanalizasyon atıkları söz konusu akarsulara döküldüğünden oldukça ağır bir koku hissedilmiştir.

Tablo 5.5 EİE, Gediz 523-Acısı İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin elek analizi deneyi



İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı

**Zemin Mekaniği
Laboratuvarı
ELEK ANALİZİ
(SIEVE ANALYSIS)**

FORM: ZML - 1.3.1

İşin Adı (Job Name) : Gediz Nehri
Örnek No (Sample No) : 523 no'lu istasyon
Deney Tarihi (Date) : 22.11.2007
Deneyi Yapan (Tested By) : Aslı Ülke
Başlangıç Kuru Ağırlık (gr) : 517,0

Elek No.		Her Elekte Kalan	Her Elekte Eklenik Kalan	Her Elekte Eklenik Kalan	Her Elekten Eklenik Geçen
(Sieve No)		(Weight Retained)	(Cumulative Wt. Retained)	(% Retained)	(% Passing)
Elek Adı	Elek Açıklığı (mm)	gr	gr	%	%
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,75	32,00	32,00	6,19	93,81
10	2,0	111,00	143,00	27,66	72,34
40	0,425	339,00	482,00	93,23	6,77
200	0,074	35,00	517,00	100,00	0,00
Elek Altı :		0,00	517,00	100,00	0,00

Tablo 5.6 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin elek analizi deneyi



İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı

**Zemin Mekaniği
Laboratuvarı**

**ELEK ANALİZİ
(SIEVE ANALYSIS)**

FORM: ZML - 1.3.1

İşin Adı (Job Name) : Gediz Nehri
Örnek No (Sample No) : 518 no'lu istasyon
Deney Tarihi (Date) : 22.11.2007
Deneyi Yapan (Tested By) : Aslı Ülke
Başlangıç Kuru Ağırlık (gr) : 370,42

Elek No.		Her Elekte Kalan	Her Elekte Eklenik Kalan	Her Elekte Eklenik Kalan	Her Elekten Eklenik Geçen
(Sieve No)		(Weight Retained)	(Cumulative Wt. Retained)	(% Retained)	(% Passing)
Elek Adı	Elek Açıklığı (mm)	gr	gr	%	%
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,75	1,00	1,00	0,27	99,73
10	2,0	1,00	2,00	0,54	99,46
40	0,425	32,00	34,00	9,18	90,82
200	0,074	179,00	213,00	57,50	42,50
Elek Altı :		157,42	370,42	100,00	0,00

Tablo 5.7 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin elek analizi deneyi



İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı

**Zemin Mekaniği
Laboratuvarı
ELEK ANALİZİ
(SIEVE ANALYSIS)**

FORM: ZML - 1.3.1

İşin Adı (Job Name) : Küçük Menderes Nehri
Örnek No (Sample No) : 601 no'lu istasyon
Deney Tarihi (Date) : 12.02.2009
Deneyi Yapan (Tested By) : Aslı Ülke
Başlangıç Kuru Ağırlık (gr) : 386,95

Elek No.		Her Elekte Kalan	Her Elekte Eklenik Kalan	Her Elekte Eklenik Kalan	Her Elekten Eklenik Geçen
(Sieve No)		(Weight Retained)	(Cumulative Wt. Retained)	(% Retained)	(% Passing)
Elek Adı	Elek Açıklığı (mm)	gr	gr	%	%
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100
1/2"	12,7	8,84	8,84	2,28	97,72
3/8"	9,53	6,58	15,42	3,99	96,01
4	4,75	27,10	42,52	10,99	89,01
10	2,0	19,68	62,20	16,07	83,93
40	0,425	22,85	85,05	21,98	78,02
200	0,074	198,38	283,43	73,25	26,75
Elek Altı :		103,52	386,95	100,00	0,00

Tablo 5.8 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin elek analizi deneyi



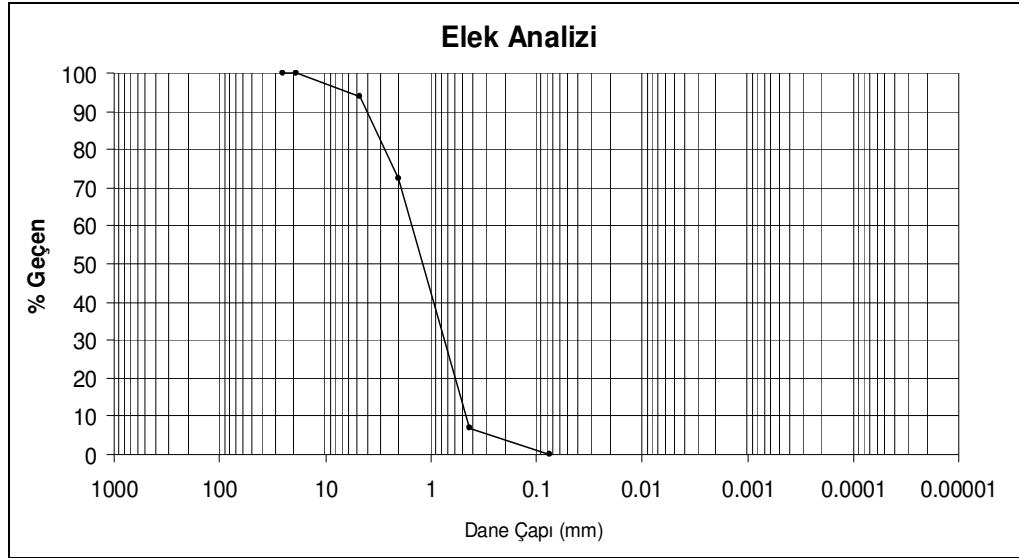
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı

**Zemin Mekaniği
Laboratuvarı
ELEK ANALİZİ
(SIEVE ANALYSIS)**

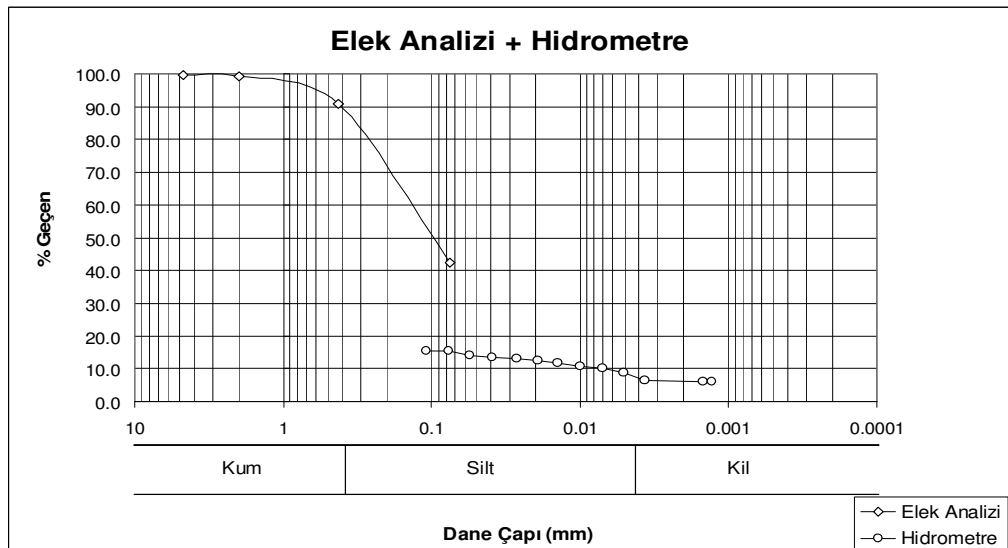
FORM: ZML - 1.3.1

İşin Adı (Job Name) : Büyük Menderes Nehri
Örnek No (Sample No) : 701 no'lu istasyon
Deney Tarihi (Date) : 20.02.2009
Deneyi Yapan (Tested By) : Aslı Ülke
Başlangıç Kuru Ağırlık (gr) : 701,17

Elek No.		Her Elekte Kalan	Her Elekte Eklenik Kalan	Her Elekte Eklenik Kalan	Her Elekten Eklenik Geçen
(Sieve No)		(Weight Retained)	(Cumulative Wt. Retained)	(% Retained)	(% Passing)
Elek Adı	Elek Açıklığı (mm)	gr	gr	%	%
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100
8	2,36	0,71	0,71	0,10	99,0
10	2,0	0,32	1,03	0,15	99,85
12	1,7	0,23	1,26	0,18	99,82
16	1,18	0,46	1,72	0,25	99,75
20	0,85	0,68	2,40	0,34	99,66
40	0,425	3,86	5,8	0,80	99,20
200	0,074	497,11	502,69	71,69	28,31
Elek Altı :		198,48	701,17	100,00	0,00



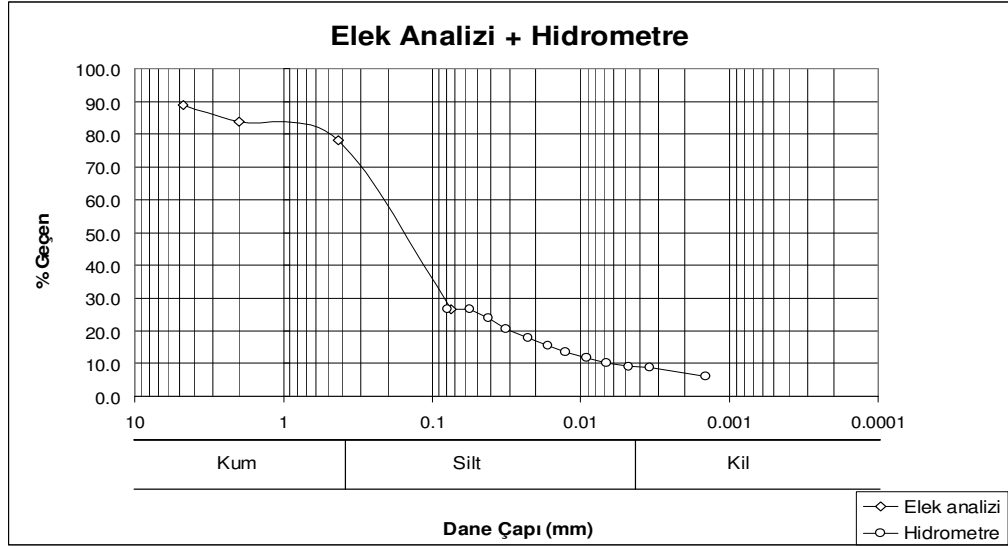
Şekil 5.1 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'na ait dane çapı dağılım grafiği



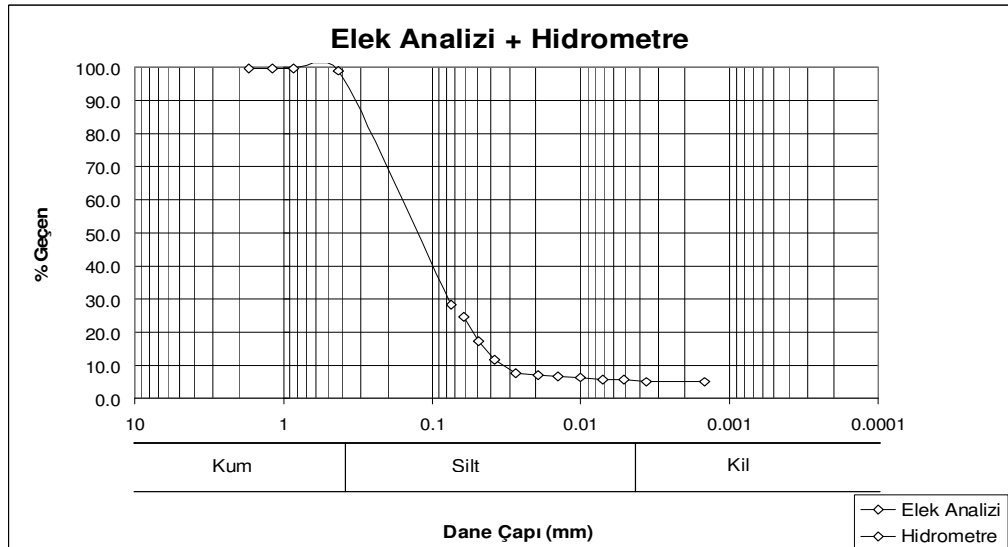
Şekil 5.2 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'na ait dane çapı dağılım grafiği

Üçüncü tip analizde ASTM-D4318 standardına göre örneklere kıvam limit deneyleri uygulanmıştır. Burada istasyonlardan alınan bütün örnekler plastik olmayan davranış gösterdiğinden, plastik limit deneyine gerek görülmemiştir (Tablo 5.9, 5.10, 5.11 ve 5.12). Bu kıvam limitlerinden elde edilen likit limit değeri ile de USCS'ye (birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi) göre ASTM-D2487 standardında zemin sınıflandırması yapılmıştır. Buna göre zemin sınıflarının 523 no'lu istasyonda da SP (kötü derecelenmiş kum), 518, 601 ve 701 no'lu istasyonlarda da SM (kumlu-silt) olduğuna karar verilmiştir. 523 no'lu istasyondan alınan numunenin kötü

derecelenmiş olduğunu elek analizindeki grafiğin (Şekil 5.1) sert düşüşü de desteklemektedir.



Şekil 5.3 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'na ait dane çapı dağılım grafiği



Şekil 5.4 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'na ait dane çapı dağılım grafiği

Askıda taşınan katı madde dane çapının belirlendiği, D.E.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılan Mastersizer-2000, Malvern dane çapı analiz sonuçları da Tablo 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16'da verilmiştir.

Tabo 5.9 EİE, Gediz 523-Acısı İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin kıvam limitleri deneyi

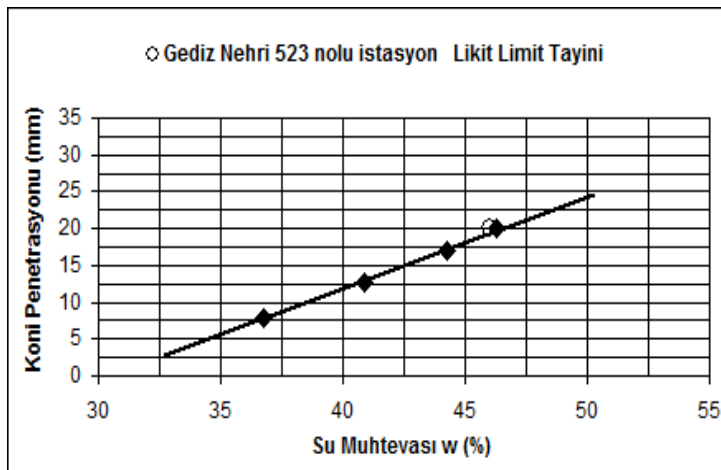


Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Geoteknik Anabilim Dalı,
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

KIVAM LİMİTLERİ
(Consistency Limits)

İşin Adı (Job Name) : Gediz Nehri 523 no'lu istasyon
Tarih (Date) : 22.11.2007
Yapan (Tested by) : Aslı Ülke

Likit Limit Tayini (Liquid Limit Determination)						
<i>Deney No</i> <i>(Test No)</i>	1	2	3	4	5	
<i>Kap No</i> <i>(Can No)</i>	95	124	112	141	6	
<i>Kap+Yaş Numune Ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Wet Soil + Can)</i>	21,07	24,30	25,65	26,55	25,96	
<i>Kap+Kuru Numune Ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Dry Soil + Can)</i>	17,82	19,85	20,45	20,84	20,34	
<i>Su Ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Moisture)</i>	3,25	4,45	5,20	5,71	5,62	
<i>Kap ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Can)</i>	8,97	8,96	8,70	8,50	8,84	
<i>Kuru Numune Ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Dry Soil)</i>	8,85	10,89	11,75	12,34	11,50	
<i>Su Muhtevası w(%)</i> <i>(Water Content)</i>	36,72	40,86	44,26	46,27	48,87	
<i>Koni Penetrasyonu (mm)</i> <i>(Cone Penetration)</i>	7,90	12,70	16,90	20,00	24,10	



<i>Likit Limit</i> <i>(Liquid Limit)</i>	46,00
<i>Plastik Limit</i> <i>(Plastic Limit)</i>	NP
<i>Plastisite İndisi</i> <i>(Plasticity Index)</i>	NP

Tablo 5.10 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin kıvam limitleri deneyi

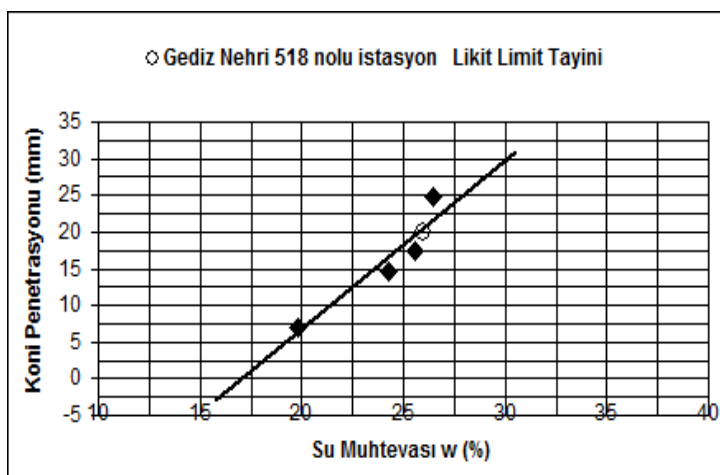


Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Geoteknik Anabilim Dalı,
Zemin Mekaniği Laboratuvarı

KIVAM LİMİTLERİ
(Consistency Limits)

İşin Adı (Job Name) : Gediz Nehri 518 no'lu istasyon
Tarih (Date) : 22.11.2007
Yapan (Tested by) : Aslı Ülke

Likit Limit Tayini (Liquid Limit Determination)						
<i>Deney No</i> <i>(Test No)</i>	1	2	3	4	5	6
<i>Kap No</i> <i>(Can No)</i>	5	10	116	122		
<i>Kap+Yaş Numune Ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Wet Soil + Can)</i>	19,71	22,81	25,05	28,50		
<i>Kap+Kuru Numune Ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Dry Soil + Can)</i>	17,91	20,04	21,64	24,34		
<i>Su Ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Moisture)</i>	1,80	2,77	3,41	4,16		
<i>Kap ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Can)</i>	8,81	8,61	8,30	8,63		
<i>Kuru Numune Ağırlığı (gr)</i> <i>(Weight of Dry Soil)</i>	9,10	11,43	13,34	15,71		
<i>Su Muhtevası w(%)</i> <i>(Water Content)</i>	19,8	24,2	25,6	26,5		
<i>Koni Penetrasyonu (mm)</i> <i>(Cone Penetration)</i>	7,10	14,50	17,40	24,70		



<i>Likit Limit</i> <i>(Liquid Limit)</i>	26,00
<i>Plastik Limit</i> <i>(Plastic Limit)</i>	NP
<i>Plastisite İndisi</i> <i>(Plasticity Index)</i>	NP

Tablo 5.11 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin kıvam limitleri deneyi

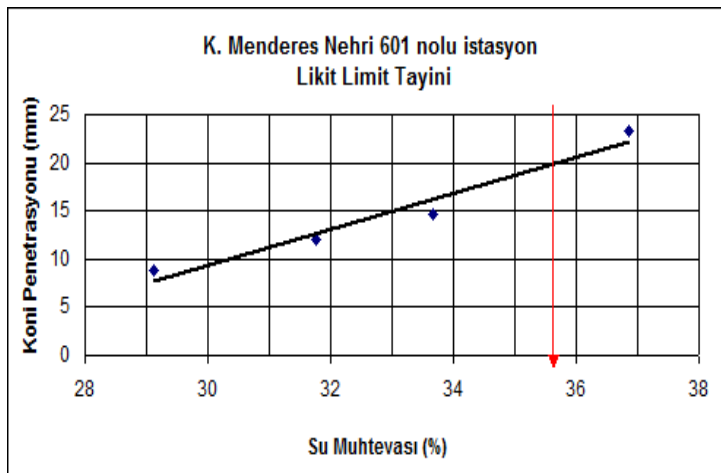


**Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Geoteknik Anabilim Dalı
Zemin Mekaniği Laboratuvarı**

**KIVAM LİMİTLERİ
(Consistency Limits)**

İşin Adı (Job Name): Küçük Menderes Nehri 601 no'lu istasyon
Tarih (Date): 19.02.2009
Yapan (Tested by): Aslı Ülke

Likit Limit Tayini (Liquid Limit Determination)	1	2	3	4
<i>Kap No (Can No)</i>	<i>k54</i>	<i>k74</i>	<i>k68</i>	<i>k58</i>
<i>Kap+Yaş Numune Ağırlığı (g) (Wt. Of wet soil+can)</i>	<i>25,10</i>	<i>30,61</i>	<i>31,19</i>	<i>26,47</i>
<i>Kap+Kuru Numune Ağırlığı (g) (Wt. Of dry soil+can)</i>	<i>21,47</i>	<i>25,44</i>	<i>25,66</i>	<i>21,55</i>
<i>Su Ağırlığı (g) (Wt. Of Moisture)</i>	<i>3,63</i>	<i>5,17</i>	<i>5,53</i>	<i>4,92</i>
<i>Kap Ağırlığı (g) (Wt. Of Can)</i>	<i>9,00</i>	<i>9,16</i>	<i>9,24</i>	<i>8,20</i>
<i>Kuru Numune Ağırlığı (g) (Wt. Dry Soil)</i>	<i>12,47</i>	<i>16,28</i>	<i>16,42</i>	<i>13,35</i>
<i>Su Muhtevası w (%) (Water Content)</i>	<i>29,1</i>	<i>31,8</i>	<i>33,7</i>	<i>36,9</i>
<i>Koni Penetrasyonu mm (Cone Penetration)</i>	<i>8,8</i>	<i>12,10</i>	<i>14,60</i>	<i>23,40</i>



<i>Likit Limit (Liquit Limit)</i>	<i>35,6</i>
<i>Plastik Limit (Plastic Limit)</i>	<i>NP</i>
<i>Plastisite İndisi (Plasticity Index)</i>	<i>NP</i>

Tablo 5.12 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin kıvam limitleri deneyi

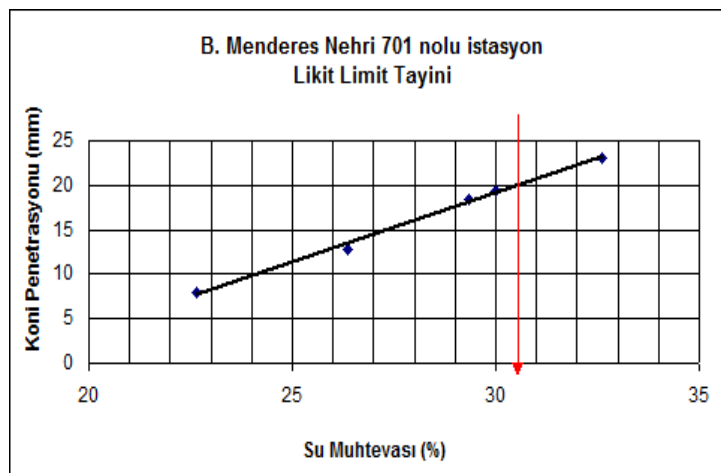


**Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Geoteknik Anabilim Dalı
Zemin Mekaniği Laboratuvarı**

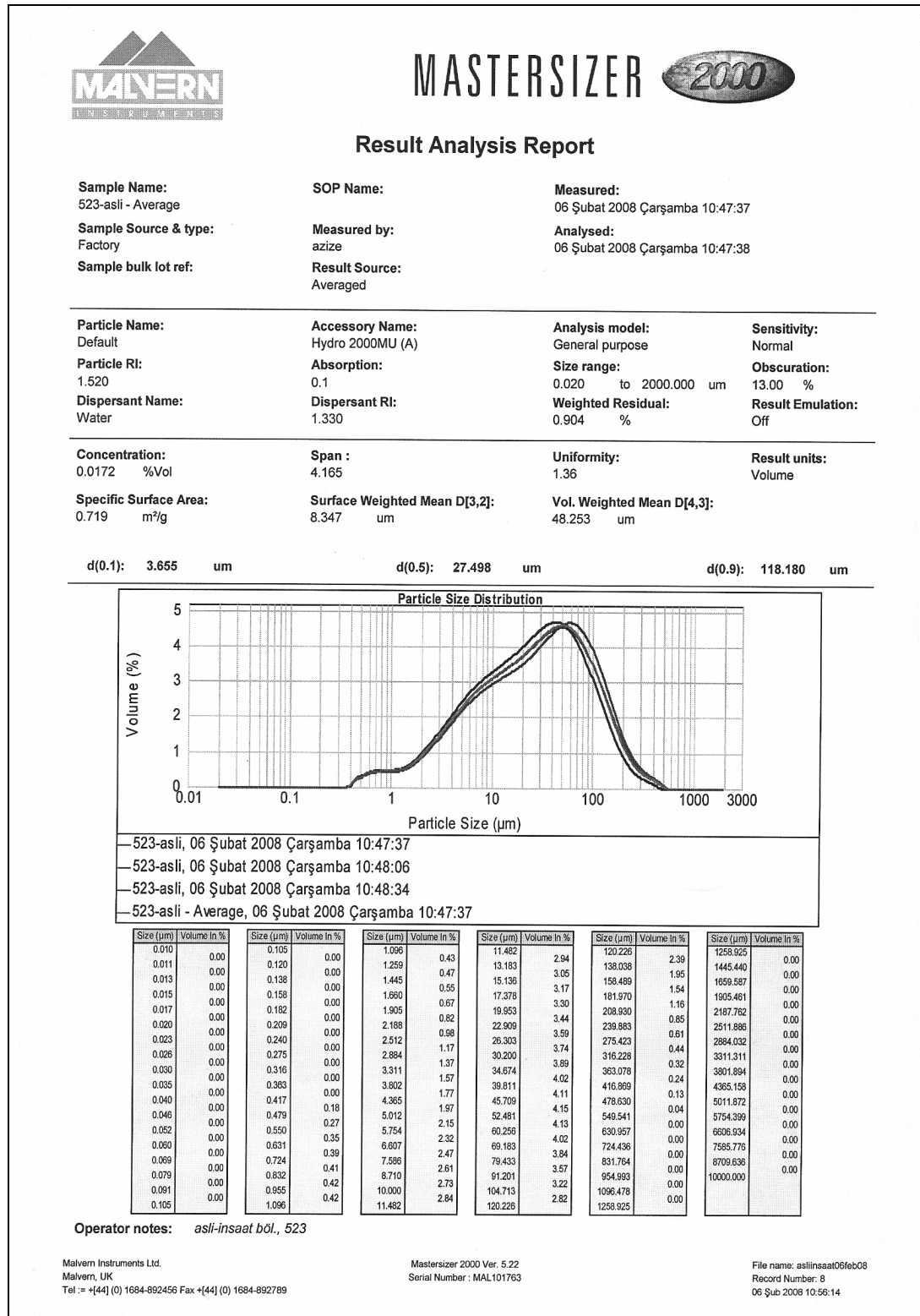
**KIVAM LİMİTLERİ
(Consistency Limits)**

İşin Adı (Job Name) : Büyük Menderes Nehri 701 no'lu istasyon
Tarih (Date) : 19.02.2009
Yapan (Tested by) : Aslı Ülke

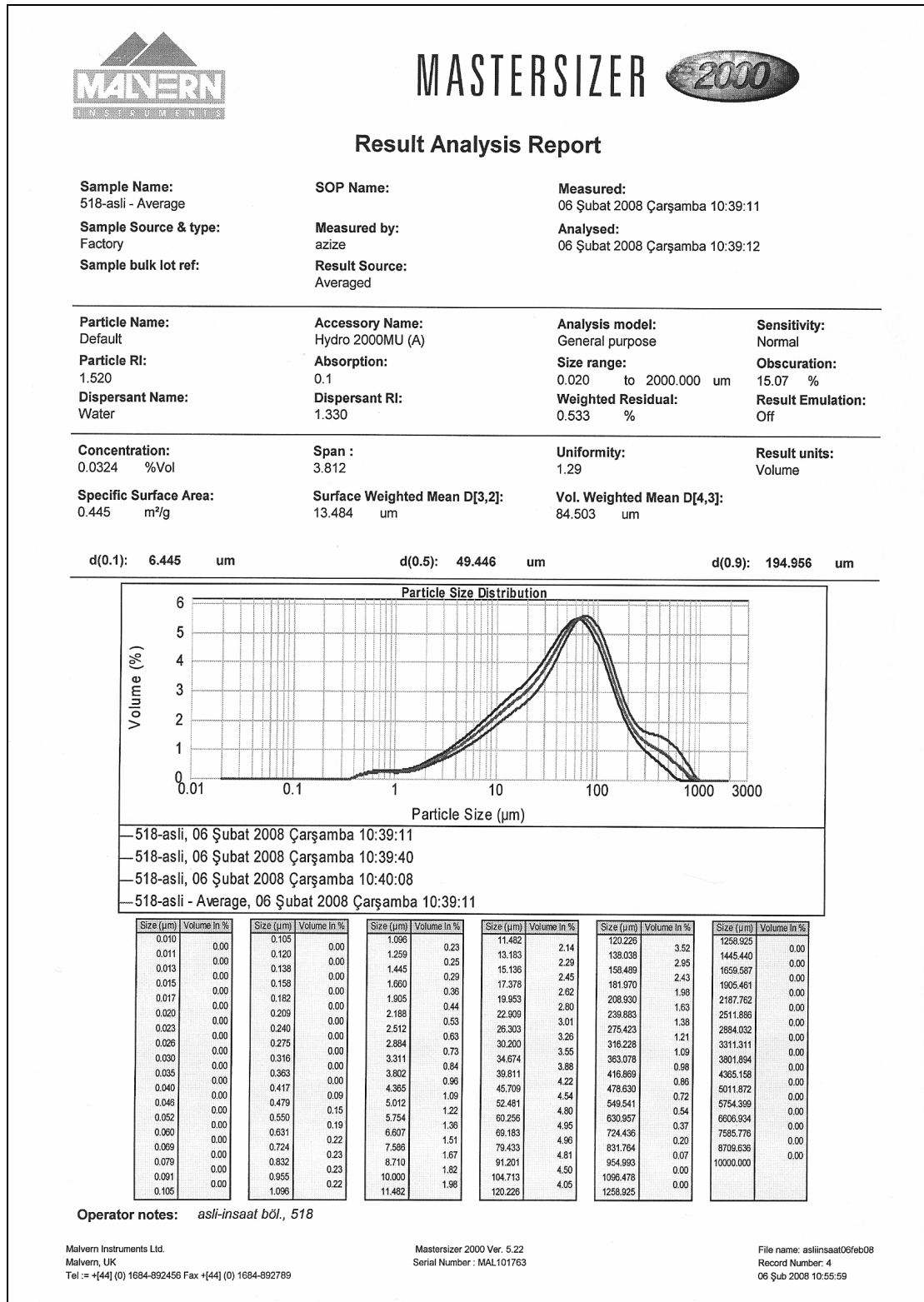
<i>Likit Limit Tayini (Liquid Limit Determination)</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Kap No (Can No)</i>	<i>k78</i>	<i>k129</i>	<i>k55</i>	<i>k46</i>	<i>k66</i>
<i>Kap+Yaş Numune Ağırlığı (g) (Wt. Of wet soil+can)</i>	<i>22,54</i>	<i>23,96</i>	<i>19,81</i>	<i>20,94</i>	<i>23,40</i>
<i>Kap+Kuru Numune Ağırlığı (g) (Wt. Of dry soil+can)</i>	<i>20,03</i>	<i>20,83</i>	<i>17,19</i>	<i>18,13</i>	<i>19,70</i>
<i>Su Ağırlığı (g) (Wt. Of Moisture)</i>	<i>2,51</i>	<i>3,13</i>	<i>2,62</i>	<i>2,81</i>	<i>3,70</i>
<i>Kap Ağırlığı (g) (Wt. Of Can)</i>	<i>8,94</i>	<i>8,96</i>	<i>8,26</i>	<i>8,76</i>	<i>8,36</i>
<i>Kuru Numune Ağırlığı (g) (Wt. Dry Soil)</i>	<i>11,09</i>	<i>11,87</i>	<i>8,93</i>	<i>9,37</i>	<i>11,34</i>
<i>Su Muhtevası w (%) (Water Content)</i>	<i>22,6</i>	<i>26,4</i>	<i>29,3</i>	<i>30,0</i>	<i>32,6</i>
<i>Koni Penetrasyonu mm (Cone Penetration)</i>	<i>7,9</i>	<i>12,8</i>	<i>18,40</i>	<i>19,40</i>	<i>23,00</i>



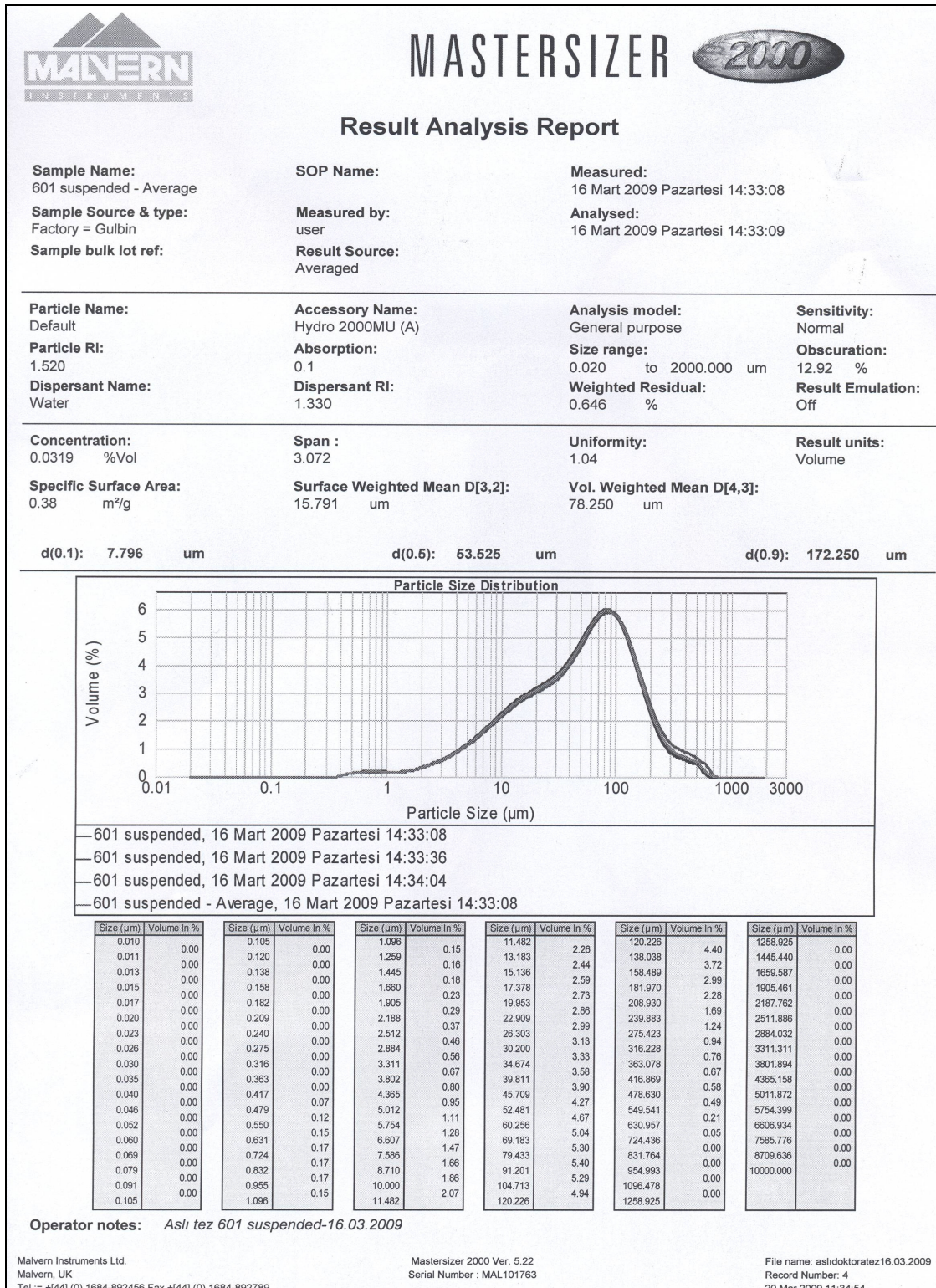
Tablo 5.13 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'ndan alınan askıda katı madde numunesinin dane çapı deney sonuçları



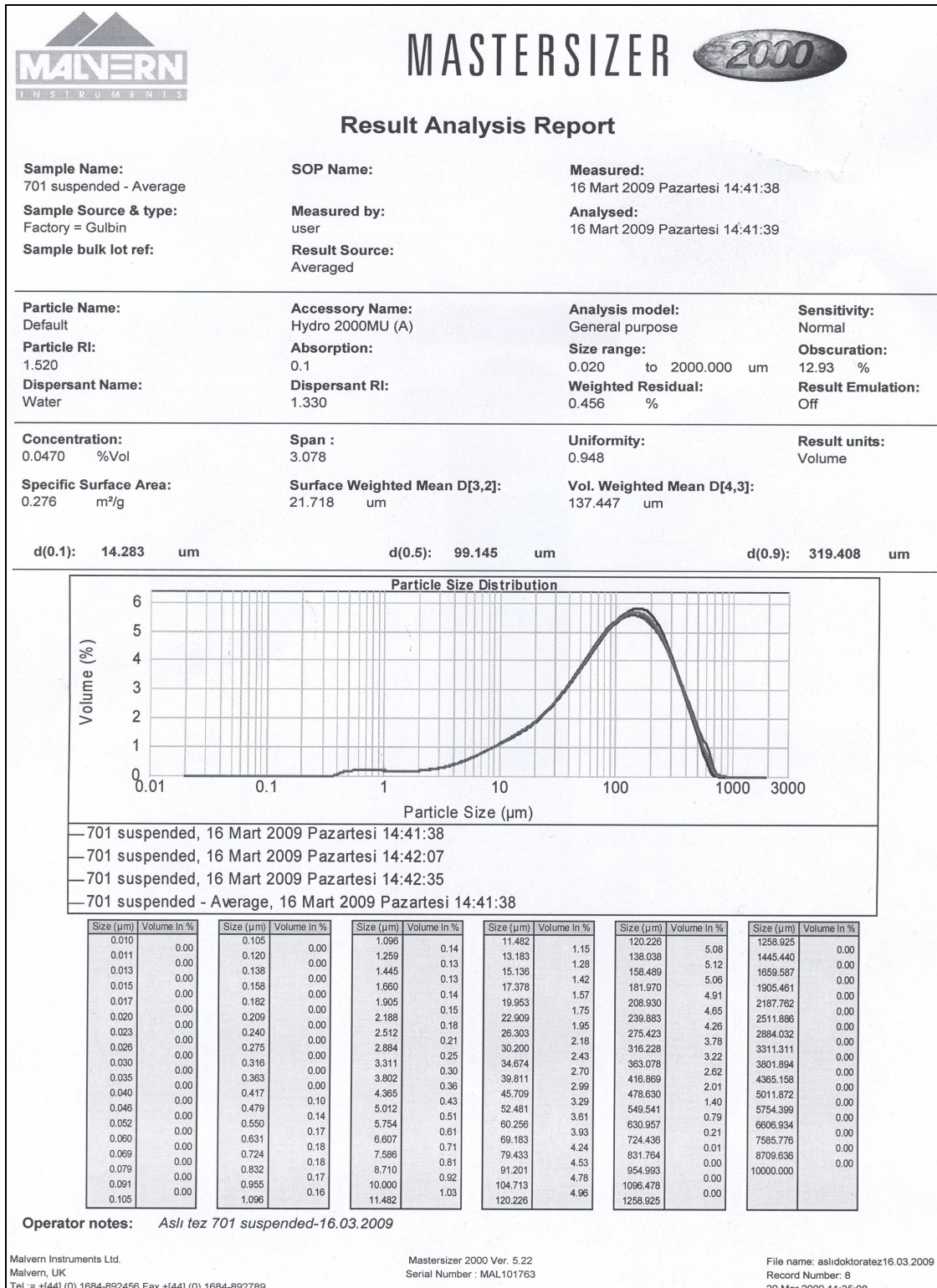
Tablo 5.14 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'ndan alınan askıda katı madde numunesinin dane çapı deney sonuçları



Tablo 5.15 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'ndan alınan askıda katı madde numunesinin dane çapı deney sonuçları



Tablo 5.16 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'ndan alınan askıda katı madde numunesinin dane çapı deney sonuçları



Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen tüm sonuçlar ile arazi koşullarına göre belirlenen Manning pürüzlülük katsayısı (n) (Chaudhry, 1993) Tablo 5.17, 5.18, 5.19 ve 5.20'de kısaca özetlenmektedir.

Tablo 5.17 Gediz Nehri'ne ait akım karakteristiğini belirleyen parametreler

Parametreler	İstasyon	
	523-Acisu	518-Manisa Köprüsü
Boyuna Eğim (S)	% 0,3	% 0,08
Manning pürüzlülük katsayısı (n)	0,04	0,025
Kinematik viskozite (ν) 20° C	$1,10^{-6}$	$1,10^{-6}$
Yerçekimi ivmesi (g) (m/s^2)	9,81	9,81
Suyun özgül ağırlığı (γ) (t/m^3)	1,0	1,0

Tablo 5.18 Gediz Nehri'nde taşınan sediment karakteristiğini belirleyen parametreler

Parametreler	İstasyon							
	523-Acisu				518-Manisa Köprüsü			
	d_{10} (mm)	d_{50} (mm)	d_{65} (mm)	d_{90} (mm)	d_{10} (mm)	d_{50} (mm)	d_{65} (mm)	d_{90} (mm)
Yatak yükü dane çapları	0,45	1,3	1,8	4,0	0,008	0,098	0,18	0,43
Askıda giden katı maddenin dane çapları	0,00366	0,027	-	0,1182	0,0065	0,0495	-	0,19496
Zemin Sınıfı	SP(kötü derecelenmiş kum)				SM(kumlu silt)			
Çökelme Hızı	0,0123 m/s				0,0267 m/s			
Sediment danesinin özgül ağırlığı (γ_s) (t/m^3)	2,756				2,71			

Tablo 5.19 Küçük ve Büyük Menderes Nehirleri'ne ait akım karakteristiğini belirleyen parametreler

Parametreler	İstasyon	
	601-Selçuk	701-Çine Çayırhı Kayırhı
Boyuna Eğim (S)	% 0,06	%0,5
Manning pürüzlülük katsayısı (n)	0,025	0,035
Kinematik viskozite (ν) 20° C	$1,10^{-6}$	$1,10^{-6}$
Yerçekimi ivmesi (g) (m/s^2)	9,81	9,81
Suyun özgül ağırlığı (γ) (t/m^3)	1,0	1,0

Tablo 5.20 Küçük ve Büyük Menderes Nehirleri'nde taşınan sediment karakteristiğini belirleyen parametreler

Parametreler	Nehir							
	601-Selçuk				701-Çine Çayırılı Kayırlı			
	d ₁₀ (mm)	d ₅₀ (mm)	d ₆₅ (mm)	d ₉₀ (mm)	d ₁₀ (mm)	d ₅₀ (mm)	d ₆₅ (mm)	d ₉₀ (mm)
Yatak yükü dane çapları	0,0065	0,18	0,26	4,2	0,032	0,14	0,19	0,32
Askıda giden katı maddenin dane çapları	0,0078	0,0535	-	0,1723	0,0143	0,0992	-	0,319
Zemin Sınıfı	SM(kumlu silt)				SM(kumlu silt)			
Çökelme Hızı	0,0226				0,0482			
Sediment danesinin özgül ağırlığı (γ_s) (t/m ³)	2,735				2,702			

EİE Aydın Şubesinde dört istasyonun bazı yıllara ait enkesitleri ve bunlarla birlikte enkesit çıkartıldığı andaki ortalama hız değerleri temin edilmiş, enkesit bilgileri autocad programına aktarılmıştır. Diğer yandan akım yıllıklarında verilen anahtar eğrileri yardımıyla askıda katı madde ölçümlerinin yapıldığı günlerdeki debiden su seviyesine geçilmiş, bu seviye autocad'de çizilmiş enkesit çizimlerine yerleştirilerek o tarihte akarsu enkesitinin alanı hesap edilmiştir. Hesaplanan alan değerleri EİE'den alınan değerlere oranlanmış, bu oranlardan 0,60 ve daha büyük olan alan oranları dikkate alınmış, daha düşük oranlarda hata olabileceği şüphesiyle göz önüne alınmamıştır. 523-Acısu, 518-Manisa Köprüsü, 601-Selçuk ve 701-Çine Çayı Kayırlı istasyonlarına ait enkesit bilgileri sırasıyla Tablo 5.21, 5.22, 5.23, 5.24'de gösterilmiş ve hangi yıllara ait enkesitlerin dikkate alındığı belirtilmiştir.

Gediz Nehri, 523-Acısu istasyonu (Şekil 5.5) için EİE'den otuz yıllık ölçüm boyunca sadece 14 su yılına ait enkesit elde edilmiş, bunlardan da altı yıl içindeki ölçülmüş 63 adet askıda katı madde verisine ampirik yaklaşımlar uygulanmıştır (Tablo 5.21). Enkesit bilgilerinden elde edilmeye çalışılan, sediment gözleminin yapıldığı her ölçüm için, o andaki kesit durumunu belirlemektir. Bunun için her su yılında EİE tarafından çıkartılmış olan anahtar eğrileri ile belirlenen h seviyeleri enkesitlerde yerleştirilerek, ampirik yaklaşımlarda gerekli olan alan (A), ıslak çevre

(U) ve su yüzü genişliği (B) gibi parametreler bulunmuştur. Şekil 5.6'da 523-Acısü istasyonunun 1997 su yılına enkesit gösterimi örnek olarak verilmiştir.

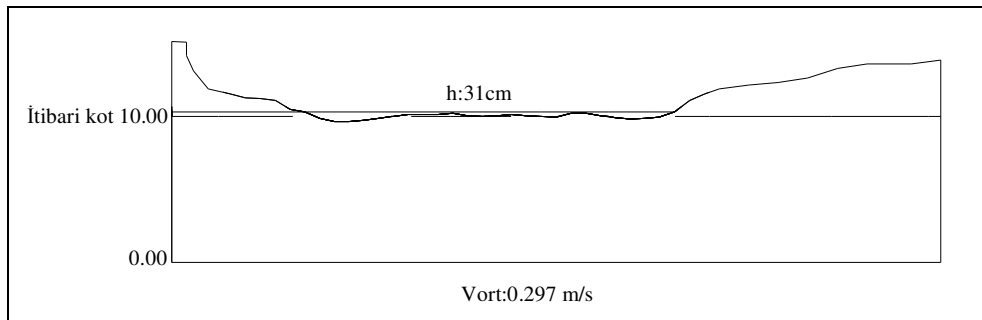
Tablo 5.21 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'na ait enkesit bilgileri

Alanlar	Su Yılları					
	1996	1997	1999	2001	2003	2004
EİE (m ²)	4,2	7,4	3,2	1,9	7,6	2,1
Hesap (m ²)	4,2	7,4	5,2	2,3	7,6	2,7
Oran (%)	1,00	1,00	0,62	0,83	1,00	0,78



Şekil 5.5 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'ndan bir görünüş

Şekil 5.6'da görülen h değeri, kesit alındığı anda akarsu yatağındaki mevcut akıma ait derinlik, V_{ort} değeri ise o akıma ait kesitsel ortalama hızdır. Kesitin referans kotu ise 10 m'dir.



Şekil 5.6 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nun 1997 su yılına ait enkesit gösterimi

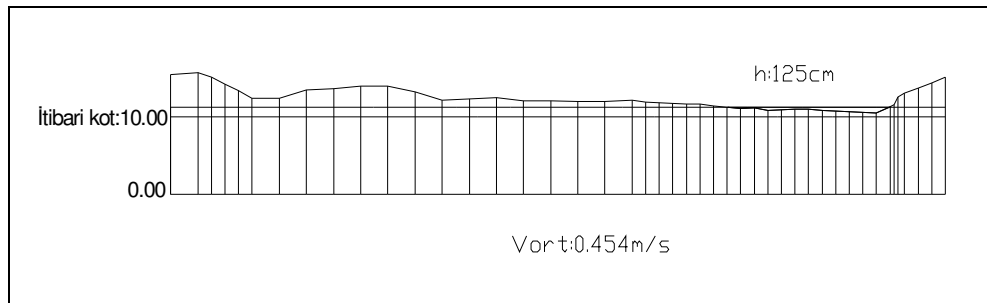
Gediz Nehri, 518-Manisa Köprüsü İstasyonu (Şekil 5.7) için de ancak 10 yıla ait enkesit değeri bulunabilmiş, bunlardan da altı yıl içinde ölçülmüş 68 adet askıda katı madde verisine ampirik yaklaşımlar uygulanmıştır (Tablo 5.22). Şekil 5.8’de 518-Manisa Köprüsü İstasyonunun 1997 su yılına enkesit gösterimi örnek olarak verilmiştir.

Tablo 5.22 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu’na ait enkesit bilgileri

Alanlar	Su Yılları					
	1997	1998	1999	2000	2001	2002
EİE (m ²)	8,61	10,1	12,61	19,91	12,54	4,84
Hesap (m ²)	9,2	8,71	13,14	15,6	12,76	6,2
Oran (%)	0,94	1,15	0,96	1,27	0,98	0,78



Şekil 5.7 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu’ndan bir görünüş



Şekil 5.8 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu’nun 1997 su yılına ait enkesit gösterimi

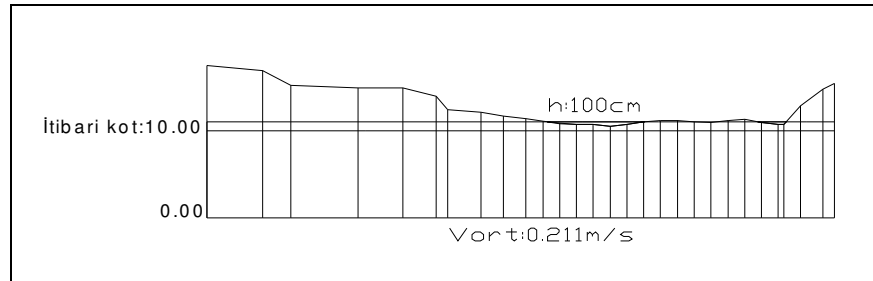
Küçük Menderes Nehri, 601-Selçuk istasyonu (Şekil 5.9) içinse 9 tane enkesit değeri bulunabilmiş, bunlardan da yine altı yıl içindeki ölçülmüş 60 adet askıda katı madde verisine ampirik yaklaşımlar uygulanmıştır (Tablo 5.23). Şekil 5.10'da 601-Selçuk istasyonununun 1999 su yılına enkesit gösterimi verilmiştir.

Tablo 5.23 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'na ait enkesit bilgileri

Alanlar	Su Yılları					
	1977	1980	1983	1999	2002	2003
EİE (m ²)	9,357	15,07	5,023	0,569	0,17	0,73
Hesap (m ²)	9,277	15,11	4,93	0,45	0,178	1,00
Oran (%)	1,00	0,997	1,019	1,12	0,956	0,73



Şekil 5.9 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'ndan bir görünüş



Şekil 5.10 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nun 1999 su yılına ait enkesit gösterimi

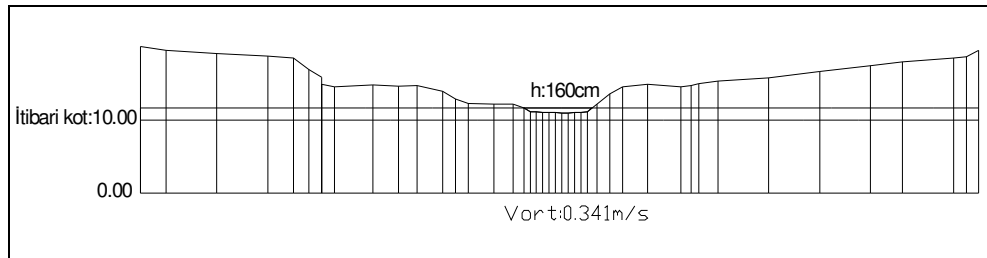
Büyük Menderes Nehri, 701-Çine Çayı Kayırlı istasyonu (Şekil 11) içinde 19 tane enkesit değeri bulunabilmiş, bunlardan da yine altı yıl içindeki ölçülmüş 73 adet askıda katı madde verisine ampirik yaklaşımlar uygulanmıştır (Tablo 5.24). Şekil 5.12’de 701-Çine Çayı Kayırlı istasyonunun 2003 su yılına enkesit gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.11 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu’ndan bir görünüş

Tablo 5.24 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu’na ait enkesit bilgileri

Alanlar	Su Yılları					
	1977	1980	1983	1994	1998	2003
EİE (m ²)	5,433	13,077	6,482	3,80	2,57	5,63
Hesap (m ²)	5,35	13,18	6,49	3,937	2,552	5,626
Oran (%)	1,014	0,992	0,999	0,966	1,007	1,00



Şekil 5.12 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu’nun 2003 su yılına ait enkesit gösterimi

Uygulamada tüm istasyonlarda askıda katı madde dane çapının çok küçük olması nedeniyle, çökme hızında d_{90} (askıda maddenin dane çapı), yatak yükü dane çapında d_{b50} değerleri hesaba katılmış, yatak yükünün kalınlığı olarak da, literatürde yer aldığı gibi $a = 2d_{b50}$ (yatak yükü dane çapının iki katı) alınmıştır (Yang, 1996; Graf, 1984; Simons ve Şentürk, 1992; Julien, 2002). Söz konusu uygulanan ampirik bağıntıların bazıları İngiliz ölçü biriminde sonuç verdiği için, gerekli birim dönüşümleri uygulanarak birimler tutarlı hale getirilmiştir (Tablo 5.25).

Tablo 5.25 Birim dönüşümleri

1 inch; 2,54 cm
1 foot; 30,48 cm; 12 inch
1 m; 3,2808 foot; 39,37 inches
1 libre; 0,454 kg
1 m ³ /s ; 35,31 ft ³ /s
1 lb/ft ³ ; 16,02 kg/ m ³

5.2 Performans Değerlendirme Ölçütleri

Model sonuçlarının değerlendirilmesinde birden fazla ölçütün değerlendirilmesi, hatta askıda katı madde yükü gidiş grafiğinin çizilmesi modeller arasındaki karşılaştırmayı iyi yapabilmek adına gerekli olduğundan, tez çalışmasında, birden fazla performans değerlendirme ölçütü seçilmiştir. Uygulanan modellerin performansları, ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama göreceli mutlak hata (MARE), eklenik hata (CME) ve determinasyon katsayısı (R^2) ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Bu ölçütlere ait bağıntılar şu şekildedir;

1) Ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(SSL_{göz} - SSL_{model} \right)^2}{N}} \quad (5.1)$$

2)Ortalama mutlak hata (MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |SSL_{göz} - SSL_{model}|}{N} \quad (5.2)$$

3)Ortalama göreceli mutlak hata (MARE):

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{|SSL_{göz} - SSL_{model}|}{SSL_{göz}} * 100}{N} \quad (5.3)$$

4)Eklenik hata (CME):

$$CME = \frac{\sum_{i=1}^N SSL_{göz} - \sum_{i=1}^N SSL_{model}}{\sum_{i=1}^N SSL_{göz}} * 100 \quad (5.4)$$

5)Determinasyon katsayısı (R²):

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^N (SSL_{göz} - \overline{SSL_{göz}})(SSL_{model} - \overline{SSL_{model}}))}{\left[\sum_{i=1}^N (SSL_{göz} - \overline{SSL_{göz}})^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^N (SSL_{model} - \overline{SSL_{model}})^2 \right]^{1/2}} \quad (5.5)$$

Denklemlerde,

$SSL_{göz}$;askıda katı maddenin gözlenmiş değerini,

SSL_{model} ;askıda katı maddenin modellenmiş değerini,

N ;veri sayısını,

$\overline{SSL_{göz}}$;gözlenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalamasını,

$\overline{SSL_{model}}$;modellenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir.

BÖLÜM ALTI

UYGULAMA

Tezin uygulama kısmında Bölüm 3’de anlatılan tüm modeller (sediment anahtar eğrisi, regresyon, yapay zeka modelleri ve ampirik yöntemler) Ege Bölgesi’ndeki dört istasyon için ayrı ayrı uygulanmıştır. Sediment anahtar eğrisi, regresyon ve yapay zeka modellerinde, model girdisi olarak günlük toplam yağış, günlük ortalama akım ve askıda katı madde verileri kullanılmış, yağış verileri Devlet Meteoroloji İşlerinden (DMI), akım ve askıda katı madde verileri de Elektrik İşleri Etüt İdare (EİE) kurumundan temin edilmiştir. EİE’den temin edilen akım ve askıda katı madde verileri 1971 yılından, DMI’den sağlanan yağış verileri de 1975 yılından başladığı için bu modellerde ortak verilerin başlangıç yılı 1975 olarak seçilmiştir. Ampirik bağıntılarda kullanılan parametreler ise, Bölüm 5’de anlatıldığı gibi arazi çalışmalarından ve EİE kurumunun Aydın Şubesinden sağlanmıştır, ampirik modellerin hangi istasyonlarda hangi yıllara ait verilere uygulanabildiği de Tablo 5.21-5.24 arasında sunulmuştur.

6.1. Gediz Nehri 523-Acısü İstasyonuna Ait Çalışmalar ve Model Sonuçları

Modelleme çalışmalarına ilk olarak Gediz Nehrinde 523-Acısü istasyonunun verileri ile başlanmıştır. Gediz havzanın membasında yer alan bu istasyonun tercih edilme nedeni hiçbir düzenlemenin etkisinde olmaması, nispeten daha bozulmamış ve kirlenmemiş durumda olmasıdır. 1975-2005 yılları arasında yapılan modellemede toplam 350 veri çifti bulunmaktadır. Tablo 6.2’deki girdi değişkenlerinin en büyük, en küçük ve ortalama değerleri de dikkate alınarak 350 veri çiftinin 250’si eğitim setinde, diğer 100’ü de test setinde kalacak şekilde veri seti (Veri Seti I) oluşturulmuştur. Ayrıca yapay zeka modellerinin ekstrapolasyon kapasitesini test etmek üzere 523-Acısü istasyonunda tamamen farklı bir veri seti (Veri Seti II) oluşturulmuştur. Buna göre Veri Seti I’de örnek uzayındaki en büyük değerler eğitim setinin içinde yer alırken , Veri Seti II’de bu değerler test setinin içinde yer almıştır. Sırasıyla Bölüm 6.1.1 ve 6.1.2’de Veri Seti I ve Veri Seti II ile bu veri setlerine uygulanan modeller yer almaktadır. Yine bu istasyonda kurulan ANN modeli ile

istasyondaki veri aralığından seçilmiş altı yıllık eksik veri tamamlanmıştır. Burada 2213 adet günlük askıda katı madde yük (SSL) kestirimi yapılmış ve diğer modellerle karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında eksik veri tamamlama kısmı da Bölüm 6.1.3’de anlatılmaktadır.

Modelleme çalışmasına Tablo 4.3’de sunulan veriler arasındaki otokorelasyon ve kross-korelasyonlara göre farklı girdi değişkenlerine sahip çeşitli senaryolar hazırlanarak başlanmıştır (Tablo 6.1). Bu senaryolarda sadece yağış verisini girdi olarak kullanan senaryonun iyi sonuç vermemesi üzerine senaryolar sadece akış girdisinin düşünüldüğü Senaryo I ve yağış ile akış girdilerinin birlikte düşünüldüğü Senaryo II şeklinde kurulmuştur. Gediz Nehrinde 523-Acısü istasyonunda iki gün önceki yağış ($P_{(t-2)}$) ve akım ($Q_{(t-2)}$) ile askıda katı madde yükü arasındaki otokorelasyonlar zayıfladığından (Tablo 4.3), sadece bir gün önceki yağış ve akım değerlerinin askıda katı madde yüküne etkisi olduğu düşünülmüş ve buna göre Tablo 6.1’deki senaryolar hazırlanmıştır.

Tablo 6.1 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu’nda model girdi senaryoları

Senaryolar	Senaryo Adları	Girdi değişkenleri
Senaryo I	Sim I-1	$Q_{(t)}$
	Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
Senaryo II	Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$
	Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$

MLR, NLMR, ANN ve ANFIS modelleri hazırlanan tüm senaryolara göre kurulmuş, modellerin performans ölçütleri tablolar halinde Ekler bölümünde sunulmuştur. Burada amaçlanan her bir model için senaryoya karar vermektir. Aralarından en iyi performans ölçütlerini sağlayan senaryo seçilmiş ve bu senaryonun hem eğitim hem de test setinin tablo halinde performans ölçütleri ve de grafiği verilmiştir. Uygulanan tüm modeller farklı senaryolarda farklı sonuç

vermektedir, bu da hem model hem de istasyon karakteristiklerinin oldukça farklı olduğunu göstermektedir.

6.1.1 Gediz Nehri 523-Acisu İstasyonu, Veri Seti I

Hazırlanan bu veri setinde tüm verinin en büyük sediment ve akım gözlem değerleri eğitim setinde, nispeten daha küçük değerler de test seti içinde yer almaktadır. 350 veri çiftinin 250'si eğitim setinde, diğer 100'ü de test setinde kalacak şekilde hazırlanan veri setinin, eğitim ve test setlerinin tarih aralıkları ile verilerin istatistiksel parametreleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2 EİE, Gediz 523-Acisu İstasyonu'nda Veri Seti I'de eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	x_{max}	x_{min}
Eğitim	05.01.1975-13.02.1979 02.04.1987-01.08.2005	$P_{(t)}$	1,914	4,54	2,37	2,98	26,00	0
		$P_{(t-1)}$	2,68	7,21	2,69	4,21	52,64	0
		$Q_{(t)}$	9,74	18,46	1,89	5,73	195	0,03
		$Q_{(t-1)}$	10,89	25,37	2,33	6,32	261	0,121
		$SSL_{(t)}$	2249,7	10046	4,47	6,47	98409,17	0,14
Test	13.03.1979-03.03.1987	$P_{(t)}$	1,17	4,25	3,63	5,6	29,71	0
		$P_{(t-1)}$	1,43	3,64	2,55	3,63	0	20,18
		$Q_{(t)}$	12,28	15,01	1,22	2,73	90,6	0,252
		$Q_{(t-1)}$	13,88	18,39	1,32	3,0	0,33	118
		$SSL_{(t)}$	1467,4	6133,4	4,18	7,97	57056,00	1,32

6.1.1.1 Sediment Anahtar Eğrisi (SRC) Modeli

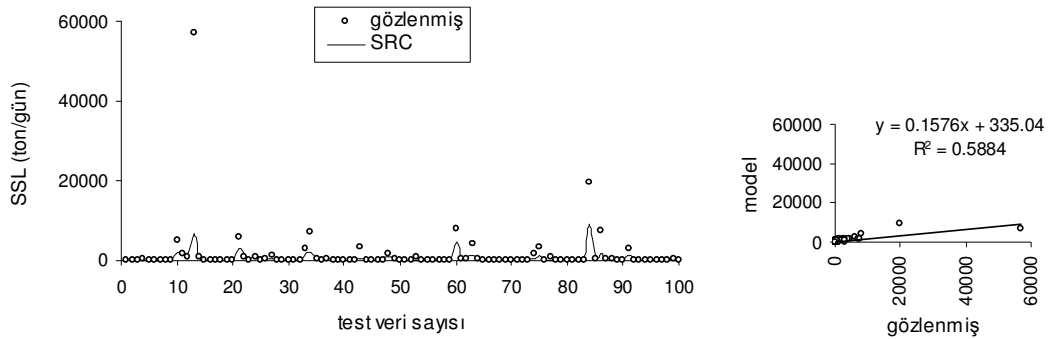
Akarsuda taşınan katı maddeyi akımla ilişkilendiren bu modelde Gediz Nehri 523-Acisu İstasyonu, Veri Seti I için Denklem 3.1'e göre eğitim setindeki verilerle kalibre edilmiş denklem elde edilir;

$$SSL = 5,543Q_{(t)}^{1,642} \quad (6.1)$$

Modelin eğitim ve test setindeki başarısı ise Tablo 6.3’de verilmektedir. Şekil 6.1’de SRC modelinin test setine uygulanması görülmektedir.

Tablo 6.3 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu’nun Veri Seti I için SRC sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,73	0,59	8.288	5.280	1.813	1.047



Şekil 6.1 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu’nda Veri Seti I’de SRC ile modelleme

Şekil 6.1’de yer alan askıda katı madde yükü gidiş grafiğinden ve düşük determinasyon katsayısından modelin büyük yükleri tahminlemede başarısız kaldığı görülmektedir. Ayrıca $y = a_0x + a_1$ şeklindeki bir determinasyon denkleminde katsayıların iyi bir modelde a_0 ’ın 1’e yaklaşırken, a_1 ’in küçük değerler alması beklenmektedir. Şekil 6.1’de gösterilen SRC modelinin determinasyon denkleminde de modelin başarısız olduğu anlaşılmaktadır.

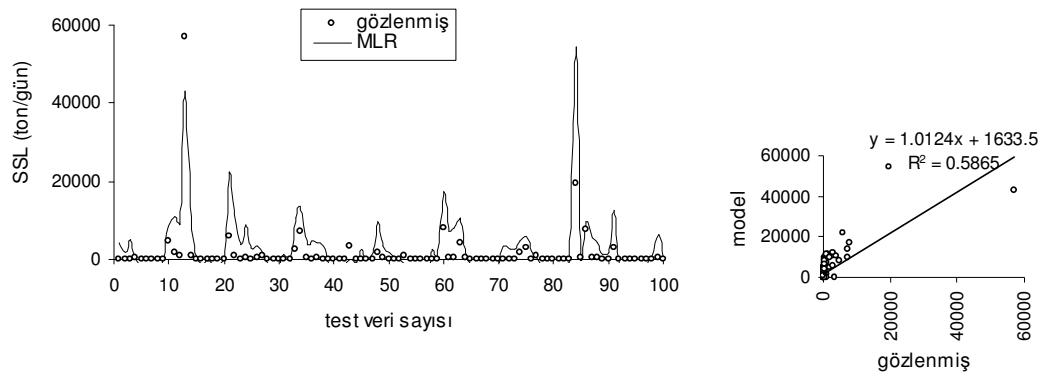
6.1.1.2 Regresyon Metotları

6.1.1.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR). Veri Seti I’de söz konusu senaryolar için çoklu doğrusal regresyon modelleri kurulduğunda Denklem 3.2’ye göre elde edilen performans ölçütleri Ek-1’de yer alan tablodaki gibidir. Burada en büyük determinasyon katsayısını ($R^2=0,78$) veren senaryo Sim II-2’de Denklem 6.2 olmaktadır. Bu denkleme göre Tablo 6.4 ve Şekil 6.2 hazırlanmıştır.

$$SSL = 302,97P_{(t)} + 578,3Q_{(t)} - 125,11Q_{(t-1)} - 2602,6 \quad (6.2)$$

Tablo 6.4 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nun Veri Seti I için MLR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,78	0,59	4.688	5.445	2.868	3.285



Şekil 6.2 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de MLR ile modelleme

Şekil 6.2'de yer alan askıda katı madde yükü gidiş grafiğinden ve düşük determinasyon katsayısından modelin büyük yükleri tahminlemede SRC modeline kıyasla daha başarılı olduğu, pik değeri nispeten yakaladığı görölmektedir. Şekil 6.2'den de göröldüğü gibi determinasyon katsayısı düşüktür.

6.1.1.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR). Gediz Nehri 523-Acısü istasyonunda, Veri Seti I için söz konusu senaryolar için çoklu doğrusal olmayan regresyon modelleri (Denklem 3.5-3.9) kurulduğunda aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$1_ SSL = b_0 + b_1P_t^2 + b_2P_{(t-1)}^2 + b_3Q_t^2 + b_4Q_{(t-1)}^2 \quad (6.3)$$

$$2_ SSL = b_0 + b_1P_t^3 + b_2P_{(t-1)}^3 + b_3Q_t^3 + b_4Q_{(t-1)}^3 \quad (6.4)$$

$$3- \quad SSL = b_0 + b_1 P_t + b_2 P_t^2 + b_3 P_{(t-1)} + b_4 P_{(t-1)}^2 + b_5 Q_t + b_6 Q_t^2 + b_7 Q_{(t-1)} + b_8 Q_{(t-1)}^2 \quad (6.5)$$

$$4- \quad SSL = b_0 + b_1 P_t + b_2 P_t^3 + b_3 P_{(t-1)} + b_4 P_{(t-1)}^3 + b_5 Q_t + b_6 Q_t^3 + b_7 Q_{(t-1)} + b_8 Q_{(t-1)}^3 \quad (6.6)$$

$$5- \quad SSL = b_0 + b_1 P_t + b_2 P_t^2 + b_3 P_t^3 + b_4 P_{(t-1)} + b_5 P_{(t-1)}^2 + b_6 P_{(t-1)}^3 + b_7 Q_t + b_8 Q_t^2 + b_9 Q_t^3 + b_{10} Q_{(t-1)} + b_{11} Q_{(t-1)}^2 + b_{12} Q_{(t-1)}^3 \quad (6.7)$$

Denklemlerdeki parametreler şu şekildedir;

$P_{(t)}$;bugünkü yağış değeri,

$P_{(t-1)}$; bir gün önceki yağış değeri,

$Q_{(t)}$;bugünkü akım değeri,

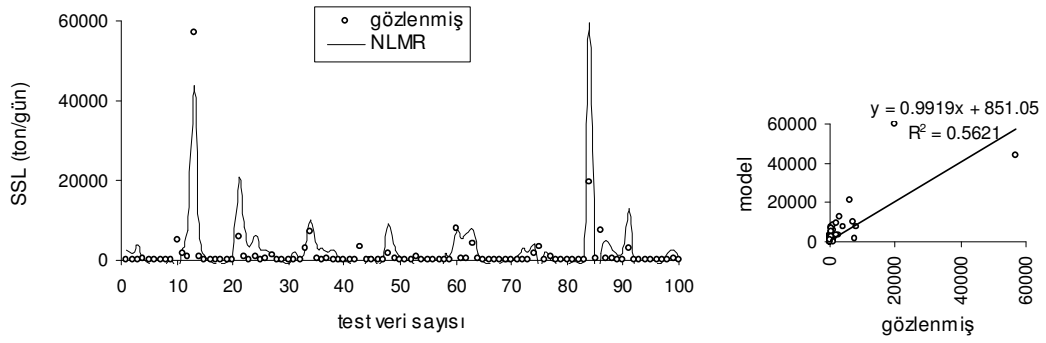
$Q_{(t-1)}$; bir gün önceki akım değeridir.

Çoklu doğrusal olmayan regresyon modellerinden 6.5 denklemi ile gösterilen modelin yüksek determinasyon katsayısı vermesi üzerine tüm senaryolara bu model uygulanmıştır, senaryolara göre bulunan performans ölçütleri Ek-6'de yer almaktadır. Ek-6'dan görüldüğü gibi, en iyi modellemeyi ($R^2=0,845$) senaryo Sim II-3'de Denklem 6.8 ile gerçekleşmektedir. NLMR ile ilgili sonuçlar Tablo 6.5 ve Şekil 6.3'den görülmektedir.

$$SSL = -141,24P_{(t)} - 70,95P_{(t-1)} + 855,84Q_{(t)} - 535,90Q_{(t-1)} + 18,39P_{(t)}^2 - 6,06P_{(t-1)}^2 - 1,55Q_{(t)}^2 + 1,90Q_{(t-1)}^2 - 1364,70 \quad (6.8)$$

Tablo 6.5 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için NLMR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,845	0,56	5.240	5.492	2.347	2.756



Şekil 6.3 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de NLMR ile modelleme

NLMR model sonuçlarına bakılacak olursa modelin başarısı MLR modelinin başarısından çok farklı değildir, kimi noktalarda aşırı tahminleme söz konusudur ve R^2 düşüktür.

6.1.1.3 Yapay Zeka Metotları

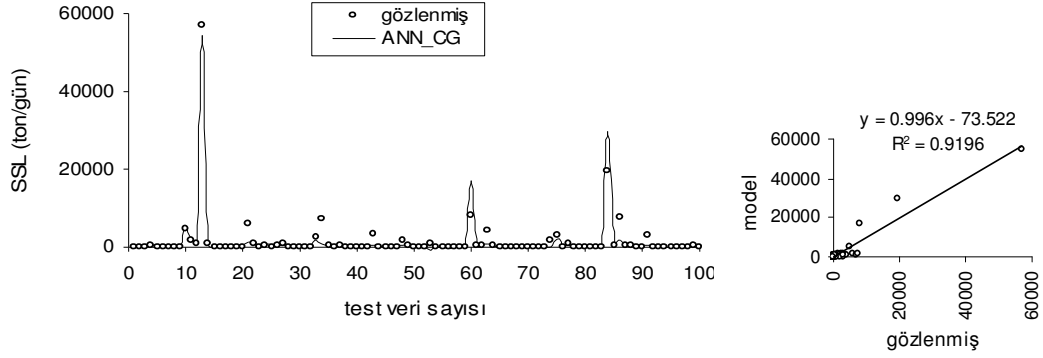
6.1.1.3.1 ANN. Tez çalışmasının bu bölümünde, eğitim ve test setindeki veriler

ilk olarak Tablo 3.1'de yer alan $X = 0,1 + \frac{0,8(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$ ölçeklendirme denklemi ile

[0,1; 0,9] aralığında ölçeklendirilmiştir. Ağın eğitiminde sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve tek saklı tabaka kullanılırken, saklı tabakada 2'den 10'a kadar değişen sayıda nöron denenmiştir. Eğitim'de kullanılan Conjugate Gradient (ANN_CG) algoritmasında 500, ve Levenberg Marquardt (ANN_LM) algoritmasında ise 150 iterasyon kullanılmıştır. Senaryolara göre uygulanan ANN modelleri ve bulunan performans ölçütleri Ek-11'de yer almaktadır. Ek-11'den görüldüğü gibi, en iyi modelleme hem ANN_CG hem de ANN_LM algoritmalarında senaryo Sim II-3'de gerçekleşmektedir. Ek-11'den bugünkü ve bir gün önceki yağışın modellerin başarısını ne kadar arttırdığı gözlenmektedir. ANN_CG ve ANN_LM algoritmaları ile ilgili sonuçlar sırasıyla Tablo 6.6 ve Tablo 6.7'de yer alırken, Şekil 6.4 ve 6.5'den de modellerin askıda katı maddeyi tahminlemedeki performansı görülmektedir.

Tablo 6.6 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için ANN_CG sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,97	0,919	2.178	1.799	1.096	696

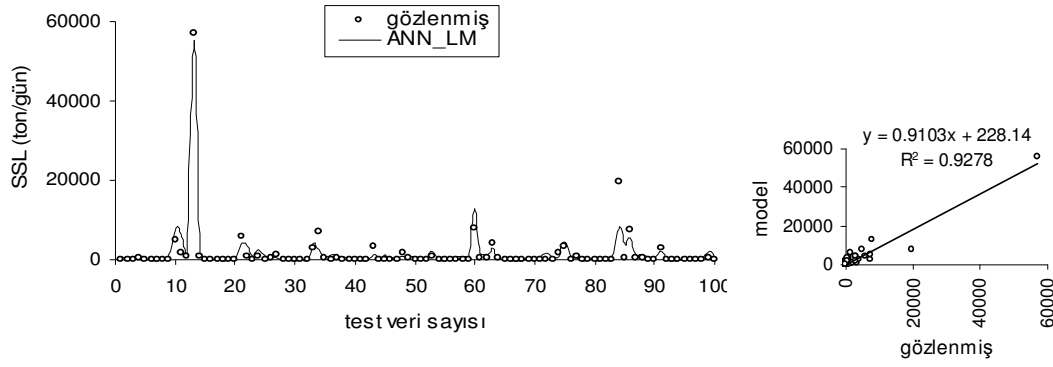


Şekil 6.4 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de ANN_CG ile modelleme

Burada ANN_CG modelinin determinasyon denklemindeki a_0 'ın 1'e çok yakın (0,996), a_1 'in de oldukça küçük olması (-73,5) ve R^2 'nin de yüksek olması (0,92) modelin ne kadar başarılı olduğunu gösteren ölçütlerdir. Şekil 6.4'den de görüldüğü gibi model askıda katı madde gidiş davranışını yansıtmakta, pik değeri yakalamaktadır. Gözlenen 57.056 ton/gün olan pik değeri, 54.666 ton/gün olarak modellediği görülmektedir.

Tablo 6.7 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için ANN_LM sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,99	0,927	2.094	1.646	1.567	820



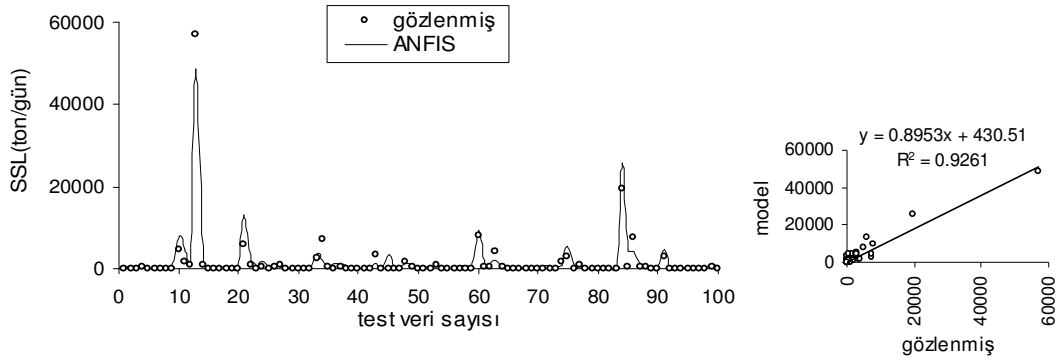
Şekil 6.5 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de ANN_LM ile modelleme

ANN_LM modelinin de determinasyon denklemindeki a_0 değeri 1'e çok yakın (0,91) ve R^2 'nin de değeri yüksektir (0,927). ANN_LM modeli de başarılıdır. Yine modelin askıda katı madde gidiş davranışını yansıttığı, gözlenen 57.056 ton/gün pik değeri, 55.293 ton/gün olarak modellediği görülmektedir.

6.1.1.3.2 ANFIS. ANFIS çalışmasında, çeşitli üyelik fonksiyonları denendiği, bunlardan üçgen (trimf), genelleştirilmiş çan eğrisi (gbellmf) ve gauss (gaussmf) üyelik fonksiyonlarında karar kılındığı ve ANFIS ağına ait parametrelerin güncellenmesinde, iki aşamalı bir öğrenme algoritması olan, hibrid öğrenme algoritmasının kullanıldığı Bölüm 4'te anlatılmıştır. Kural sayısının artırılmasının ağda başarıyı azalttığı görülmüş, bu yüzden üyelik fonksiyon sayıları her bir girdi için 2-4 arasında seçilmiştir. Ek-16'dan da görüldüğü gibi ANFIS modelinde en iyi performansı Senaryo Sim II-2 sağlamıştır. $P_{(t)}$, $Q_{(t)}$, $Q_{(t-1)}$ girdileri için (3-3-2) adet Gauss üyelik fonksiyonu kullanılarak Tablo 6.8'de verilen performans ölçütleri elde edilmiştir. Şekil 6.6'da da Veri Seti I için ANFIS model sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.8 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için ANFIS sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-2	$P_{(t)}$, $Q_{(t)}$, $Q_{(t-1)}$	0,93	0,926	1.997	1.692	1.202	823



Şekil 6.6 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de ANFIS ile modelleme

Burada ANFIS modelinin de determinasyon denklemindeki a_0 değeri 1'e yakın (0,895) olduğu görülmektedir. Yine burada da R^2 'nin değeri yüksektir (0,926). Tüm bunlar bize ANFIS modelinin de başarılı olduğunu gösterir. Modelin askıda katı madde gidiş davranışını kısmen yansıttığı, gözlenen 57.056 ton/gün pik değeri, 48.393 ton/gün olarak modellediği görülmektedir

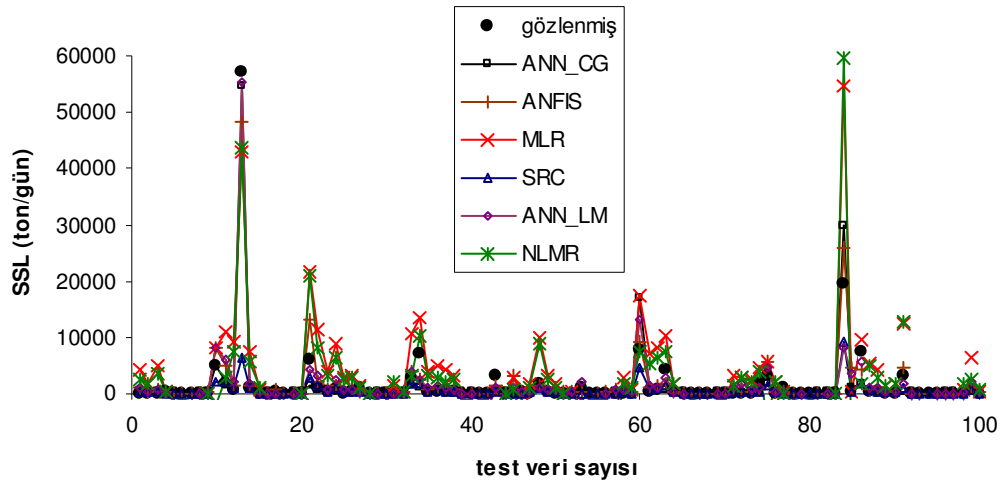
6.1.1.4 Değerlendirme

Bu bölümde değişik senaryolar için elde edilmiş tüm sonuçların performans ölçütleri birlikte değerlendirilmiş ve Tablo 6.9'da tüm sonuçlar özet şeklinde hazırlanmıştır. Şekil 6.7'de tüm modellerin bir arada grafiği görülmektedir. Diğer yandan modellerin, gözlenmiş pik değerleri ve askıda katı madde davranışını yakalaması da göz önünde tutulan bir başka kriter olmuştur. Buna göre tüm modellerin içerisinde en iyi sonuçların yapay zeka modellerinde olduğu açıktır. Yapay zeka modellerinde ise özellikle yağışın ve akışın birlikte yer aldığı senaryolar oldukça etkindir. Yapay zeka modelleri de kendi içinde değerlendirilecek olursa, piki en iyi yakalayan ve en az eklenik hatayı veren modeller ANN modelleri olmakla birlikte, ANN_CG modeli askıda katı madde davranışını çok daha iyi sağlamaktadır. Bu nedenle tüm modellerin içinde en iyi model olarak ANN_CG seçilmiş, ve Bölüm 6.1.3'de anlatılan Eksik Veri Tamamlama kısmında bu model kullanılmıştır.

Tablo 6.9 EİE, Gediz 523-Acısı İstasyonu'nda Veri Seti I için tüm modellerin sonuçları

Modeller	R ²	RMSE ton/gün	MAE ton/gün	Eklenik Hata	Determinasyon Denklemi
ANFIS	0,926	1.692	823	+18	$y = 0,895x + 430,5$
ANN_CG	0,919	1.799	696	-5	$y = 0,996x - 73,5$
ANN_LM	0,927	1.646	820	+7	$y = 0,910x + 228,1$
SRC	0,59	5.280	1.047	-61	$y = 0,158x + 335,0$
MLR	0,59	5.444	3.285	+85	$y = 1,0124x + 1633,5$
NLMR	0,56	5.408	2.682	+57	$y = 0,9919x + 851,1$

*Denklemler $\alpha=0,05$ güven seviyesi için verilmiştir.



Şekil 6.7 EİE, Gediz 523-Acısı İstasyonu'nda Veri Seti I'de tüm modeller

6.1.1.5 Ampirik Yaklaşımlar

Ampirik yaklaşımlarda, Gediz Nehri Acısı istasyonuna ait 5. Bölüm'de sunulan laboratuvar çalışmalarının bir özeti olan Tablo 5.17 ve 5.18'deki karakteristikler dikkate alınmış ve Tablo 5.21'de gösterildiği gibi enkesit bilgileri olan 63 adet askıda katı madde gözlemine 3.22-3.26 denklemleri sırasıyla uygulanmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gerçek yük	R²
Lane&Kalinske	11.405	3.855	-1.931	755.698	37.205	0,49
Einstein	11.259	10.428	-1.906	746.515	37.205	0,39
Brooks	4.200	1.245	-680	290.237	37.205	0,52
Chang, Simons & Richardson	5.940	1.696	-970	398.185	37.205	0,41

Tablo 6.10'dan da görüldüğü üzere tüm ampirik modeller aşırı tahminleme yapmaktadır. Fakat özellikle eklenik yük ve toplam yük performans ölçütleri incelendiğinde, söz konusu dört ampirik yaklaşımdan en iyi sonuçları veren bağıntının Brooks metodu olduğu görülmektedir (Ülke ve diğ., 2010).

Tüm ampirik bağıntılar laboratuvarlarda gerçekleştirilen deneylere dayanmaktadır ve dolayısı ile deneyin yapıldığı koşullara göre değişiklik göstermektedir. Gerek doğada, gerekse laboratuvar ortamında olaya etkiyen fiziksel mekanizma aynı olmakla birlikte, doğal ortamdaki diğer etkenler sonuçları etkileyebilmektedir. Bu nedenle bağıntıların doğal akarsularda kullanılabilmesi için kalibre edilmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu kısmında Genetik algoritma ile iyileştirmede istasyona ait gözlenmiş değerlerle Brooks metodu sonuçları arasındaki fark minimize edilmeye çalışılmıştır. Bunun için toplam altmış üç veri kalibrasyon ve test olmak üzere 2 kısma ayrılmış ve kalibrasyon katsayısı Tablo 6.11'de verildiği gibi bulunmuştur.

Tablo 6.11 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'na ait kalibrasyon ve test veri sayıları ile Genetik Algoritma düzeltme katsayısı

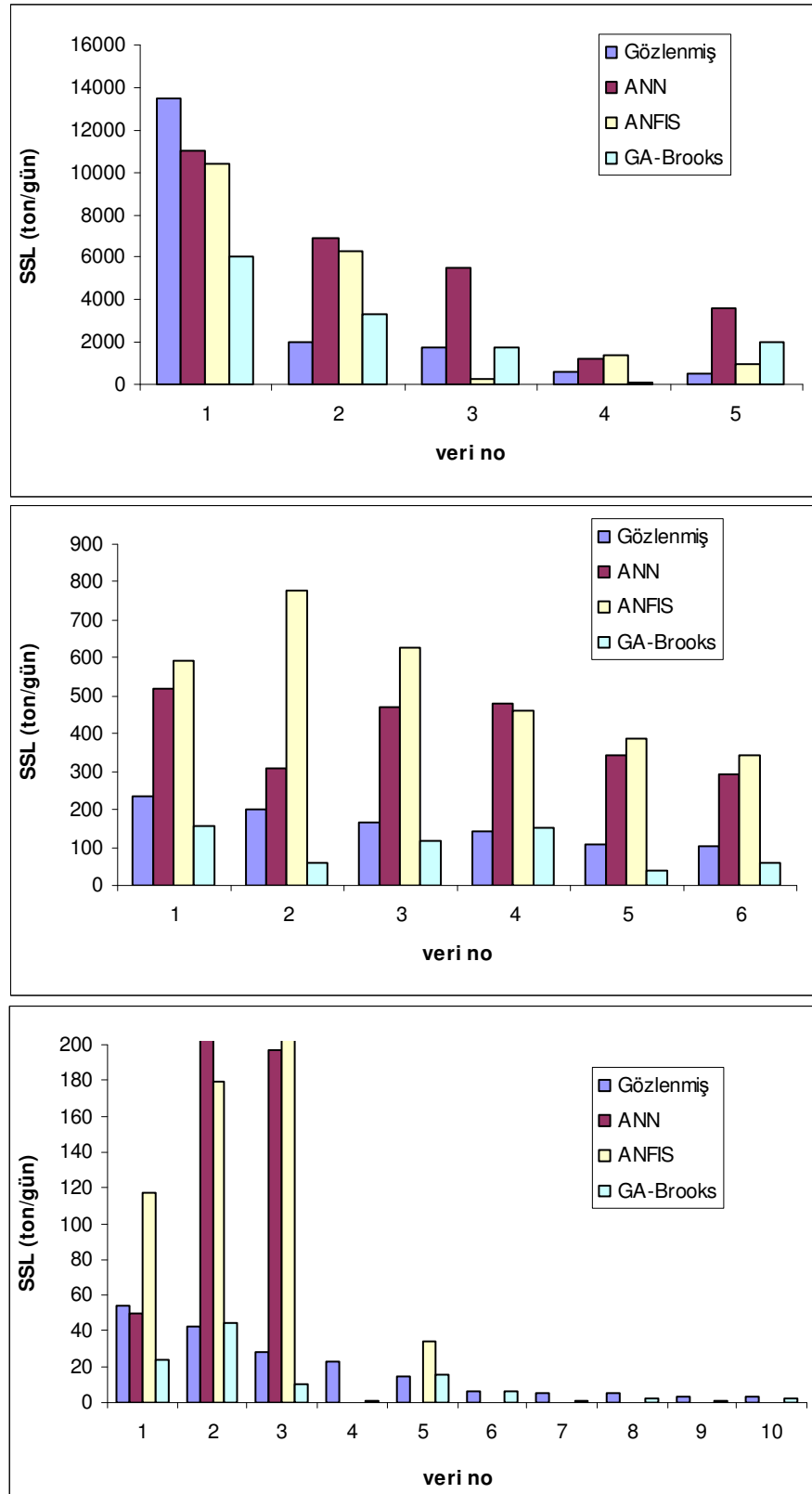
İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (Fc)
EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu	63	42	21	0,0636

Tablo 6.12'de de genetik algoritma ile iyileştirilen Brooks metodu test sonuçları (GA-Brooks), Bölüm 6.1.1'de verilen ANN_CG ve ANFIS sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.12 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda test setinde GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R^2
GA-Brooks	528	57	28	13.913	19.513	0,81
ANN	790	182	-59	31.062	19.513	0,74
ANFIS	618	242	-20	23.464	19.513	0,82

Tablo 6.12'den de görüldüğü gibi tüm ölçütler incelendiğinde GA-Brooks metodu, ANN ve ANFIS gibi güçlü olan esnek metotlar ile benzer, hatta daha iyi bir performans sergilemektedir (Ülke ve diğ., 2010). Şekil 6.8'de test setinde gözlenmiş askıda katı madde değerleri ile tüm modellerin grafiğı verilmiştir. Şekil 6.8 incelendiğinde özellikle küçük değerlerde yapay zeka modellerinin aşırı tahminde bulunurken, GA-Brooks metodunun daha iyi tahminde bulunduğu görülmektedir.



Şekil 6.8 EİE, Gediz 523-Acısı İstasyonu test verilerinde GA-Brooks ile ANN, ANFIS Modellerinin karşılaştırılması

6.1.2 Gediz Nehri 523-Acisu İstasyonu, Veri Seti II

Veri Seti I’de olduğu gibi bu veri seti de 350 veri çiftinin 250’si eğitim setinde, diğer 100’ü de test setinde kalacak şekilde hazırlanmıştır. Veri Seti I’den tek farkı tüm verinin en büyük sediment ve akım gözlem değerleri eğitim setinde değil test setinde yer almasıdır. Bu veri setinin hazırlanmasındaki esas amaç yapay zeka modellerinin ekstrapolasyon kapasitesini diğer model sonuçları ile karşılaştırarak test etmektir. Veri Seti II’nin veri aralığı ve istatistiksel parametreleri de Tablo 6.13’de sunulmuştur.

Tablo 6.13 Gediz Nehrinde 523-Acisu İstasyonu’nda Veri Seti II’de eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	X_{max}	X_{min}
Eğitim	17.05.1983-01.08.2005	$P_{(t)}$	1,69	4,36	2,58	3,46	26,8	0
		$P_{(t-1)}$	2,01	4,64	2,3	3,66	37,49	0
		$Q_{(t)}$	8,63	14,16	1,64	4,0	114	0,03
		$Q_{(t-1)}$	9,1	16,43	1,81	4,44	126	0,121
		$SSL_{(t)}$	1.390,2	6.847,8	4,93	7,45	71.694,7	0,14
Test	05.01.1975-20.04.1983	$P_{(t)}$	1,72	4,75	2,76	3,87	29,71	0
		$P_{(t-1)}$	3,09	9,51	3,08	3,74	52,64	0
		$Q_{(t)}$	15,08	23,54	1,56	5,1	195	0,6
		$Q_{(t-1)}$	18,36	35,0	1,9	4,9	261	0,4
		$SSL_{(t)}$	3.624,8	13.073,5	3,61	5,38	98.409,2	1,09

6.1.2.1 Sediment Anahtar Eğrisi (SRC) Modeli

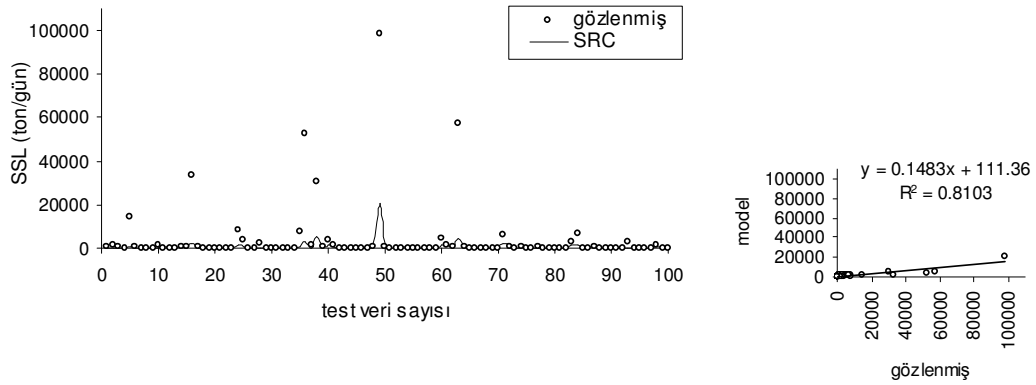
Veri Seti II için Denklem 3.1’e göre eğitim setindeki verilerle kalibre edilmiş denklem şu şekildedir;

$$SSL = 5,375Q^{1,562} \quad (6.9)$$

Modelin eğitim ve test setindeki başarısı ise Tablo 6.14’de verilmektedir. Şekil 6.9’dan SRC modelinin test setine uygulanması görülmektedir.

Tablo 6.14 Gediz Nehrinde 523-Acısü İstasyonu’nda Veri Seti II için SRC sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-1	$Q(t)$	0,58	0,81	6.293	11.510	1.170	3.035



Şekil 6.9 Gediz Nehrinde 523-Acısü İstasyonu’nda Veri Seti II’de SRC ile modelleme

Şekil 6.9’da yer alan askıda katı madde yükü gidiş grafiği modelin askıda katı madde yükü davranışını modelleyemediği görülmektedir. Determinasyon katsayısının oldukça yüksek çıkması ise tek bir performans ölçütünün yeterli olamayacağını açıkça göstermektedir. Ayrıca determinasyon denkleminde katsayıların da istenen kriterlerde olmadığı açıktır.

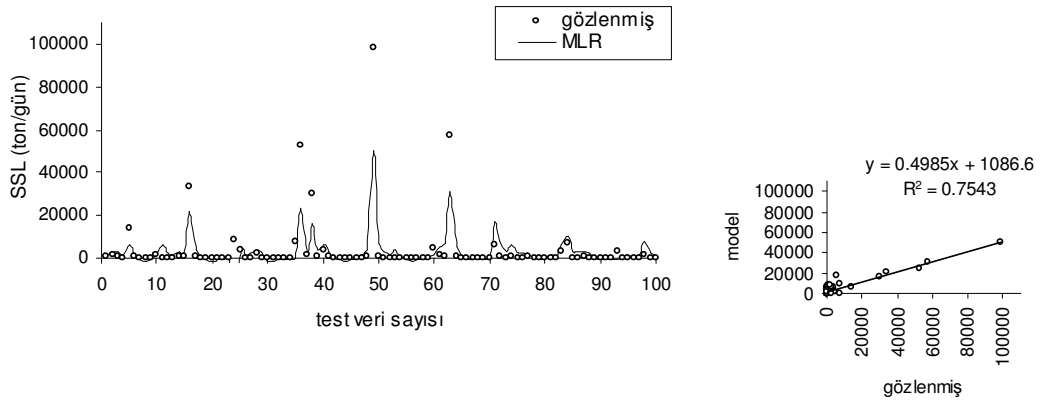
6.1.2.2 Regresyon Metotları

6.1.2.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR). Gediz Nehri 523-Acısü istasyonu, Veri Seti II’de söz konusu senaryolar için çoklu doğrusal regresyon modelleri kurulduğunda elde edilen performans ölçütleri Ek-2’de yer almaktadır. Burada en büyük determinasyon katsayısını ($R^2=0,61$) veren senaryo Sim II-2’de Denklem 6.10 olmaktadır. Bu denkleme göre Tablo 6.15 ve Şekil 6.10 hazırlanmıştır.

$$SSL = 136,09P_{(t)} + 518,69Q_{(t)} - 199,68Q_{(t-1)} - 1498,35 \quad (6.10)$$

Tablo 6.15 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için MLR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	0,61	0,75	4.281	7.535	2.011	3.427



Şekil 6.10 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de MLR ile modelleme

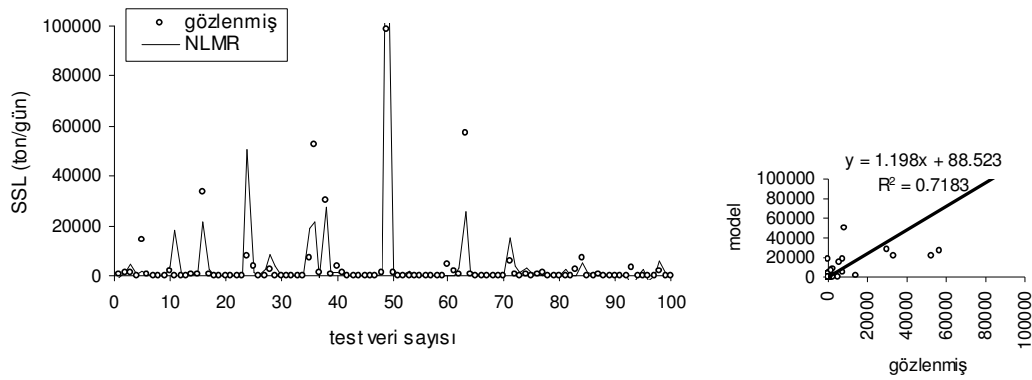
Burada determinasyon katsayısı yüksek olmakla birlikte determinasyon denklemi katsayılarından ve askıda katı madde yükü gidiş grafiğinden modelin başarısız olduğu açıkça görülmektedir.

6.1.2.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR). Gediz Nehri 523-Acısü istasyonu, Veri Seti II'de çoklu doğrusal olmayan regresyon modelleri kurulduğunda (Denklem 6.3-6.7), yine 6.5 denklemi ile gösterilen model yüksek determinasyon katsayısı vermiştir. Bu yüzden yine Veri Seti I'de olduğu gibi tüm senaryolara bu model uygulanmıştır, senaryolara göre bulunan performans ölçütleri Ek-7'de yer almaktadır. Ek-7'den görüldüğü gibi, en iyi modellemeyi ($R^2=0,70$) senaryo Sim II-3'de Denklem 6.11 ile gerçekleşmektedir. NLMR ile ilgili sonuçlar Tablo 6.16 ve Şekil 6.11'den görülmektedir.

$$\begin{aligned}
SSL = & 292,55 P_{(t)} - 154,85 P_{(t-1)} + 610,53 Q_{(t)} - 537,41 Q_{(t-1)} - \\
& 4,37 P_{(t)}^2 + 11,64 P_{(t-1)}^2 - 0,88 Q_{(t)}^2 + 3,20 Q_{(t-1)}^2 - 247,89
\end{aligned}
\tag{6.11}$$

Tablo 6.16 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için NLMR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-3	$P(t), P(t-1),$ $Q(t), Q(t-1)$	0,70	0,72	3.830	9.358	1.398	3.363



Şekil 6.11 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de NLMR ile modelleme

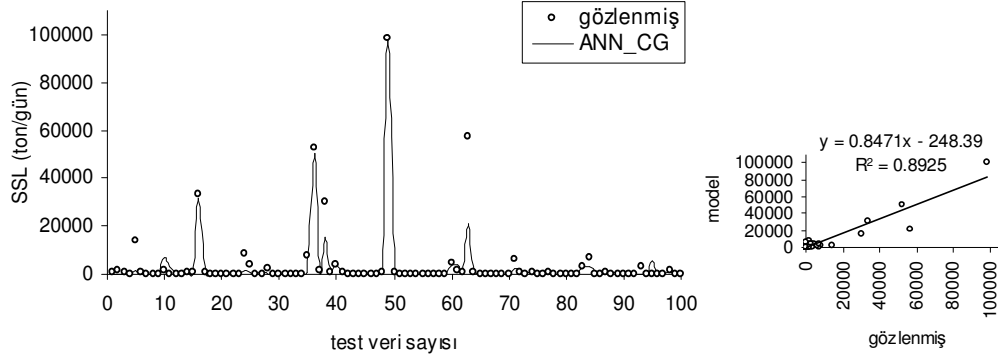
Şekil 6.11'den de görüldüğü gibi model, gözlenen 98.409 ton/gün pik değeri, 172.044 ton/gün olarak modelleyerek gözlenen değerlerin çok üstünde tahminde bulunmaktadır.

6.1.2.3 Yapay Zeka Metotları

6.1.2.3.1 ANN. Ek-12'den görüldüğü gibi, Veri Seti II'de en iyi modelleme her iki algoritmada da senaryo Sim II-1'de gerçekleşmektedir. ANN_CG ve ANN_LM algoritmaları ile ilgili sonuçlar sırasıyla Tablo 6.17 ve Tablo 6.18'de yer alırken, Şekil 6.12 ve 6.13 'den de modellerin askıda katı maddeyi tahminlemedeki başarısı gösterilmiştir.

Tablo 6.17 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için ANN-CG sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,90	0,89	5.237	4.384	1.745	1.332

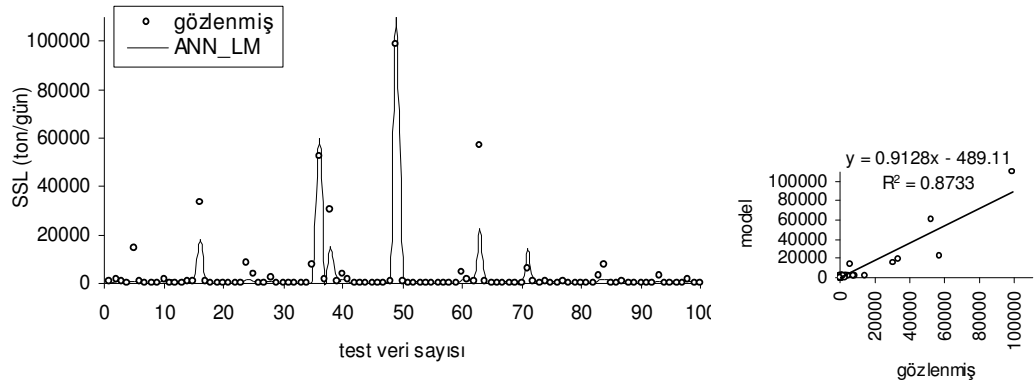


Şekil 6.12 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de ANN_CG ile modelleme

Şekil 6.12'den de görüldüğü gibi ANN_CG modeli askıda katı madde gidiş davranışını iyi yansıtmakta ve gözlenen 98.409 ton/gün pik değeri de, 99.898 ton/gün olarak modellemektedir. Modelin determinasyon denklemindeki ($a_0=0,847$) katsayısı 1'e yakın ve R² değeri de yüksek (0,89) çıkmaktadır.

Tablo 6.18 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için ANN-LM sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,91	0,87	5.673	4.731	1.987	1.614



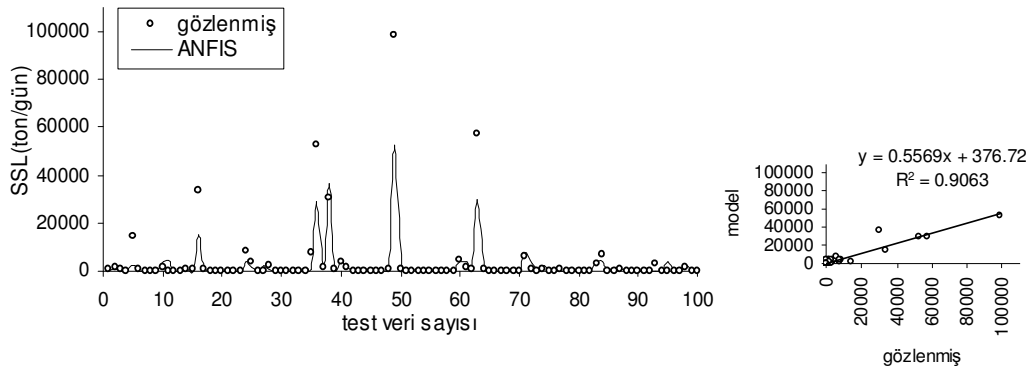
Şekil 6.13 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de ANN_LM ile modelleme

Şekil 6.13'den görüldüğü gibi ANN_LM modeli de askıda katı madde gidiş davranışını kısmen yansıtmakta fakat gözlenen 98.409 ton/gün pik değeri, 109.787 ton/gün olarak aşırı modellemektedir.

6.1.2.3.2 ANFIS. Ek-17'de görüldüğü üzere ANFIS modelinde en iyi performansı yapay sinir ağlarında olduğu gibi yine Senaryo Sim II-1 sağlamıştır. $P(t), Q(t)$ girdileri için (3-3) adet genelleştirilmiş çan eğrisi (gbellmf) üyelik fonksiyonu kullanılarak Tablo 6.19'da verilen performans ölçütleri elde edilmiştir. Şekil 6.14'de de Veri Seti II için ANFIS model sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.19 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için ANFIS sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,86	0,91	7.894	6.337	2.374	1.925



Şekil 6.14 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de ANFIS ile modelleme

ANFIS modelinde R^2 yüksek ($0,91$) olmakla birlikte ANN'e göre daha başarısız kaldığı ve de gözlenen 98.409 ton/gün pik değeri, 52.827 ton/gün olarak gözlenen değerden düşük modellediği görülmektedir.

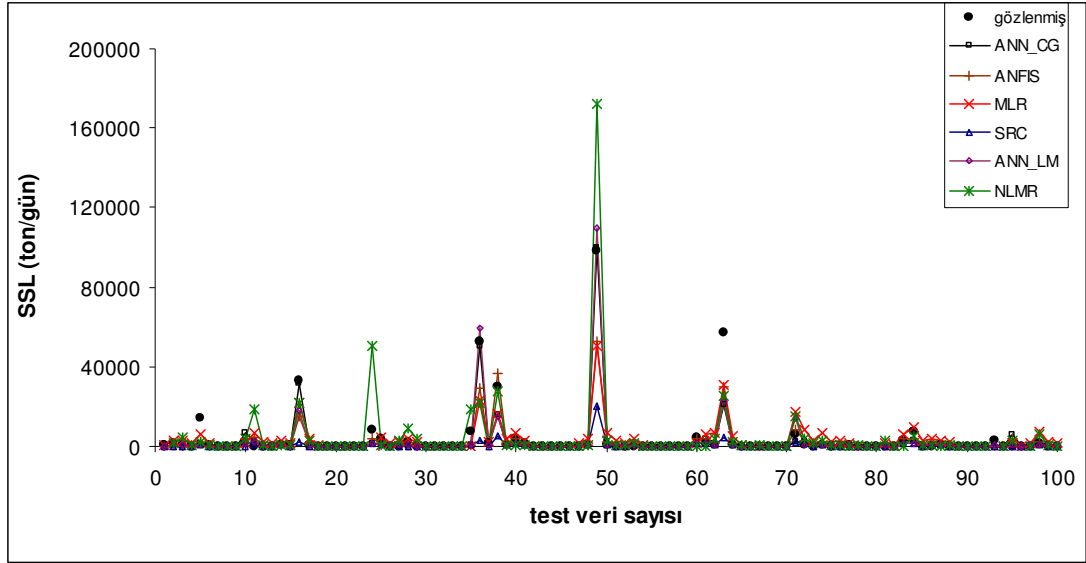
6.1.2.4 Değerlendirme

Yine bu bölümde de Veri Seti II için değişik senaryolarda elde edilmiş tüm sonuçlar birlikte değerlendirilmiş ve Tablo 6.20 hazırlanmıştır. Şekil 6.15'de de tüm modellerin bir arada grafiği görülmektedir. Modellerin, gözlenmiş pik değerleri ne kadar yaklaşabildiği önemli bir diğer kriter şeklinde değerlendirilmiştir. Buna göre test setinde gözlenmiş pik değere en iyi yaklaşan ve en az eklenik hatayı veren modelin yine ANN_CG olduğu görülmektedir. Yapay zeka modellerinin ekstrapolasyon yeteneğini test etmek üzere gerçekleştirilen bu uygulamada ANFIS modeli başarısız kalırken, ANN modellerinin başarıya ulaştığı söylenebilir.

Tablo 6.20 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyon'unda Veri Seti II için tüm modellerin sonuçları

Modeller	R^2	RMSE ton/gün	MAE ton/gün	Eklenik Hata	Determinasyon Denklemi
ANFIS	0,91	6.337	1.925	-33	$y = 0,557x + 376,72$
ANN_CG	0,89	4.384	1.332	-22	$y = 0,847x - 248,4$
ANN_LM	0,87	4.731	1.614	-22	$y = 0,913x - 489,11$
SRC	0,81	11.510	3.035	-82	$y = 0,148x + 111,36$
MLR	0,75	7.535	3.426	-20	$y = 0,499x + 1086,6$
NLMR	0,72	10.125	3.368	+22	$y = 1,198x + 88,52$

*Denklemler $\alpha=0,05$ güven seviyesi için verilmiştir.

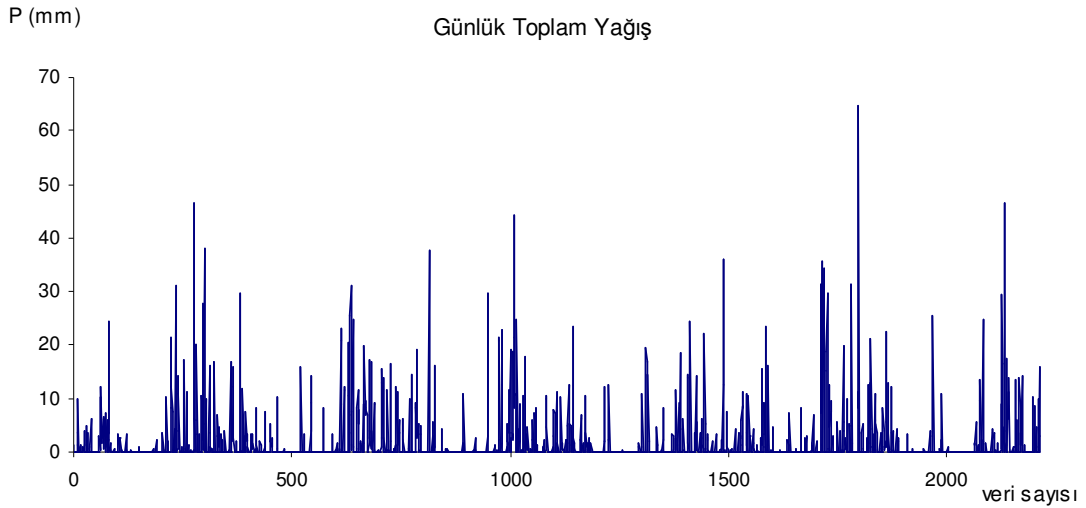


Şekil 6.15 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de tüm modeller

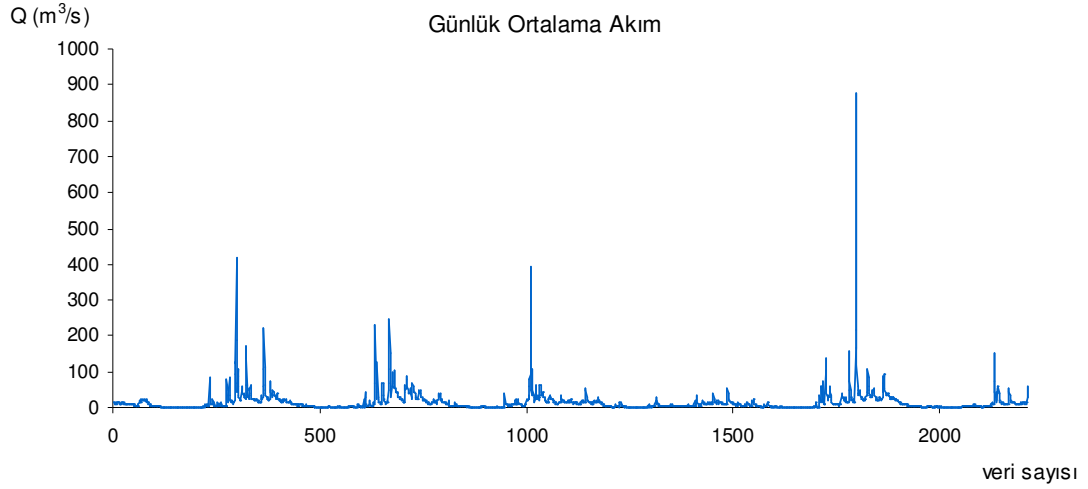
6.1.3 Gediz Nehri 523-Acısü İstasyonu, Eksik Veri Tamamlama

Askıda katı maddenin doğru tahmin edilmesi, akımla sediment konsantrasyonun zamana bağılı olarak çok değişken olması nedeniyle bir hayli güçtür. Çünkü akım ve sediment konsantrasyonu havzaya düşen yağmur ve kar yağışına çok hızlı cevap verir, bu da çok ani değişimleri oluşturabilir. Bu nedenle haftalık, on beş günlük ve aylık ölçümler gibi ölçüm sıklığı seyrek olan verilerle çalışmak yanlış sonuçlar oluşturabilir (Li ve diğ., 2006; Schilling, 2000). Günlük ölçümler gibi daha kısa süreli ölçümlerin daha iyi modeller sağlayacağı açıktır, fakat kısa süreli ölçümde maliyet de yükselecektir. Bu yüzden ölçümlerin doğruluğu ve maliyeti arasında bir denge kurmak gerekir. Li ve diğerleri (2006), ölçümleri haftalık, onbeş günlük ve aylık gibi periyodik zamanlı gerçekleştirip ölçümlerin arasındaki verilere interpolasyon yapılmasını önermektedir. Kendileri 2006 yılında yaptıkları günlük askıda katı madde dizisi üretme çalışmalarında cokriging metodunu kullanmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada haftalık ölçümlerden günlük askıda katı madde tahminin başarılı olduğunu, on beş günlük ya da aylık modellerde cokriging metodunun başarısız olduğunu söylemektedirler.

Elektrik İşleri Etüt İdare (EİE) tarafından gerçekleştirilen askıda katı madde ölçümleri ancak ayda bir ya da iki defa olmaktadır. Günlük ölçümü gerçekleştirilen yağış ve akım verileri ile kıyaslandığında, askıda katı madde gözlemlerinde eksik veriler ortaya çıkmaktadır. Tez çalışmasının bu kısmında amaçlanan, Ege Bölgesi Gediz Havzasında EİE'ye ait Gediz Nehri, 523-Acısü istasyonunda eksik askıda katı madde gözlemlerini Bölüm 6.1.1'de anlatılan yapay sinir ağları modeli ile doldurmaktır. Eksik verinin tamamlanması kısmında en iyi sonucu veren modelle çalışılmıştır. Bu model (ANN_CG), Bölüm 6.1.1'de anlatıldığı gibi, sediment anahtar eğrisi, regresyon modelleri ve yapay zeka modellerinin karşılaştırılması neticesinde en iyi sonucu veren model olarak tespit edilmiştir. Burada sözü geçen model, günlük yağış ve akım verilerini ile bu verilerin bir gün önceki değerlerini $(P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)})$ girdi olarak kullanmaktadır, bu çalışmada hedeflenen de günlük yağış ve akım verileri biliniyorken günlük askıda katı madde gözlemlerini tahmin etmektir. Çalışma Gediz Nehri, 523-Acısü istasyonunda 13.03.1979-02.04.1985 arasındaki toplam 2213 günlük askıda katı madde tahminini gerçekleştirmeye yöneliktir. Şekil 6.16 ve 6.17'de Gediz Nehri 523-Acısü istasyonunda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında sırasıyla gözlenmiş günlük toplam yağış ve günlük ortalama akım grafikleri görülmektedir.

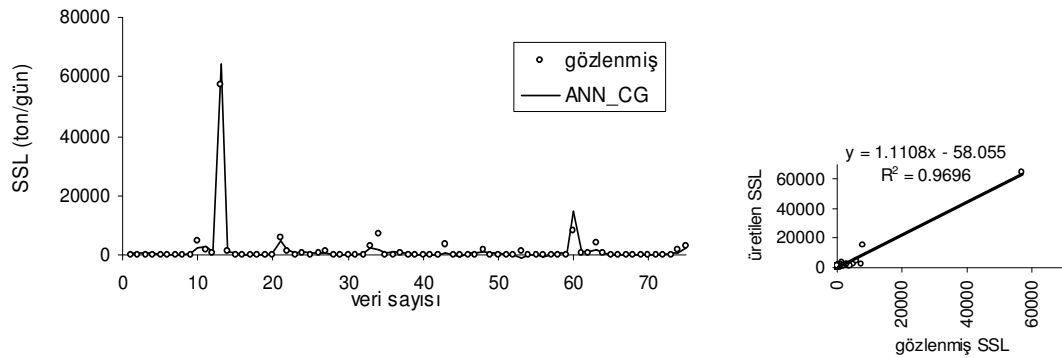


Şekil 6.16 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonunda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi

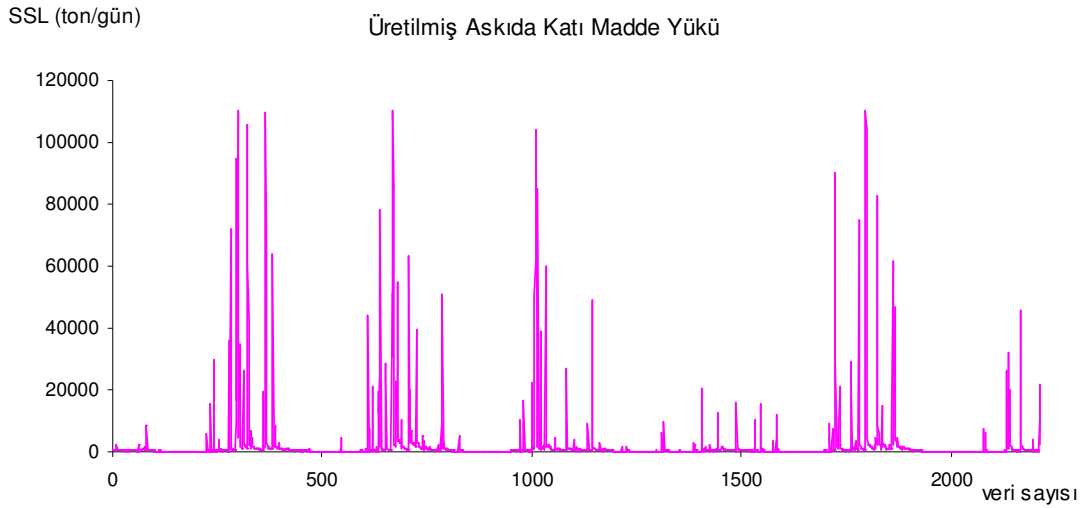


Şekil 6.17 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonunda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi

13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında EİE'nin ölçtüğü 75 adet aylık gözlem mevcuttur. Burada hedeflenen Gediz Nehri'nin hidrometeorolojik bilgileri kullanılarak askıda katı madde gözlemlerinin üretilmesidir. Mevcut 75 adet aylık gözlenmiş askıda katı madde verisi bunlara karşılık gelen üretilmiş 75 adet askıda katı madde veri dizisi kıyaslanmış ve Şekil 6.18'den de görüldüğü gibi determinasyon katsayısı oldukça yüksek bulunmuştur ($R^2=0,97$). Şekil 6.19'da ise ANN_CG modeli ile üretilmiş günlük askıda katı madde grafiği görülmektedir.



Şekil 6.18 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenmiş ve üretilmiş 75 adet askıda katı madde yüklerinin karşılaştırılması



Şekil 6.19 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonunda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında üretilmiş 2213 adet günlük askıda katı madde yükü

Şekil 6.16 ile 6.17 ve Şekil 6.19 birlikte incelenecek olursa, üretilmiş askıda katı madde yük dizisinin günlük yağış ve akım grafikleri ile uyum içerisinde olduğu görülür. Günlük yağış ve akım grafiklerinin pik yaptığı noktalarda model de yüksek askıda katı madde yükü üretmiştir. Aynı şekilde yağışın düşük olduğu kuraklık devresinde model de düşük askıda katı madde yükü üretmiştir. Modelin diğer bir kontrolünde, belirtilen tarihler arasında üretilen toplam yük ile istasyonun mansabında bulunan Demirköprü Barajının ölü hacminin o tarihler arasındaki toplam yükü ile karşılaştırılmıştır. Buna göre 6 yıllık toplam üretilmiş askıda katı madde yükü $5,65 \times 10^6$ ton iken sene başına $0,94 \times 10^6$ ton/yıl olmaktadır. Demirköprü Barajı'na esas kol Gediz olmak üzere, Selendi, Demirci ve Deliniş kollarından akım gelmektedir. Devlet Su İşleri'nin Demirköprü Barajı ölü hacmi için yaptığı 100 yıllık tahmini hacim $88,4 \times 10^6$ m³ dür, bu da ortalama sediment dane birim hacim ağırlığı $2,5$ t/m³ kabul edilirse 221×10^6 ton sediment yüküne tekabül eder. Dört koldan yıllık $2,21 \times 10^6$ ton yük geldiği ve bunun %48'inin Gediz'den katıldığı düşünüldüğünde Gediz kolundan Demirköprü Barajı'na gelen yıllık yük $1,05 \times 10^6$ ton/yıl olarak bulunur (Baytaş ve Özkul, 2000). ANN_CG modeli ise bu değeri $0,94 \times 10^6$ ton/yıl olarak bulmuştur. Modelin DSİ'nin hesapladığı hacimden % 10'dan daha az bir farkla sonuç üretmesi, akarsuyun hidrometeorolojik bilgileri kullanılarak, taşkın gibi istisnai durumlar dışında günlük askıda katı madde gözlemlerinin üretilebileceği sonucunu güçlendirmektedir (Ülke ve diğ., 2009).

6.2. Gediz Nehri 518- Manisa Köprüsü İstasyonuna Ait Çalışmalar ve Model Sonuçları

Gediz Nehri üzerinde Demirköprü Barajının mansabında yer alan EİE'ye ait 518 no'lu Manisa Köprüsü İstasyonuna en yakın meteoroloji istasyonu 17186 no'lu Manisa meteoroloji istasyonudur. İstasyondaki askıda katı madde ölçümleri Gediz Nehri'ne bu istasyonda kanalizasyon karıştığı için EİE tarafından 2001 yılında sona erdirilmiştir. Bu yüzden modellemede 04.01.1975-11.07.2001 tarihleri arasındaki 339 veri çifti ile çalışılmıştır. Tablo 6.22'deki girdi değişkenlerinin en büyük, en küçük ve ortalama değerleri de dikkate alınarak 339 veri çiftinin 243'ü eğitim setinde, diğer 96'sı da test setinde kalacak şekilde veri seti oluşturulmuştur. Tablo 4.5'den de görüldüğü gibi akımlar arasındaki otokorelasyon değerleri yüksektir. Bunun başlıca nedeni bu istasyonun Demirköprü barajının mansabında yer alması, barajdan belirli periyotlarda sulama suyunun salınıyor olmasıdır. Dolayısıyla yağışla akım arasındaki çapraz-korelasyon değeri çok anlamlı olmamaktadır. Bununla birlikte akımlar arasındaki otokorelasyonun yüksek olması sebebiyle (Tablo 4.5) senaryolarda akımın iki gün önceki etkisi de düşünülmüştür. Buna göre Tablo 6.21'de yer alan senaryolar oluşturulmuştur.

Tablo 6.21 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda model girdi senaryoları

Senaryolar	Senaryo Adları	Girdi değişkenleri
Senaryo I	Sim I-1	$Q_{(t)}$
	Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	Sim I-3	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$
Senaryo II	Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$
	Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	Sim II-3	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	Sim II-4	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	SimII-5	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$

Modellerde kullanılmış veri setine ait veri aralığı ve verilerin temel istatistikleri Tablo 6.22’de verilmektedir.

Tablo 6.22 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu’nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	x_{max}	x_{min}
Eğitim	04.01.1975-16.07.1986 02.03.1994-11.07.2001	$P_{(t)}$	2,998	9,721	3,242	5,368	77,9	0
		$P_{(t-1)}$	3,083	9,459	3,068	5,362	90,4	0
		$Q_{(t)}$	44,342	54,11	1,22	2,858	349	0,732
		$Q_{(t-1)}$	45,668	61,79	1,353	3,443	475	0,701
		$Q_{(t-2)}$	43,42	55,3	1,28	2,90	333	0,752
		$SSL_{(t)}$	2.248,43	5.081	2,26	3,489	35.060,30	0,57
Test	25.08.1986-03.02.1994	$P_{(t)}$	1,332	4,453	3,342	4,176	27,9	0
		$P_{(t-1)}$	1,829	6,321	3,455	5,639	50,7	0
		$Q_{(t)}$	16,769	34,85	2,07	7,22	320	0,08
		$Q_{(t-1)}$	16,187	27,58	1,70	4,37	193	0,08
		$Q_{(t-2)}$	16,0	30,19	1,88	4,96	224	0,08
		$SSL_{(t)}$	433,49	1.225	2.83	4,99	9.096,19	0,317

6.2.1 Sediment Anahtar Eğrisi (SRC) Modeli

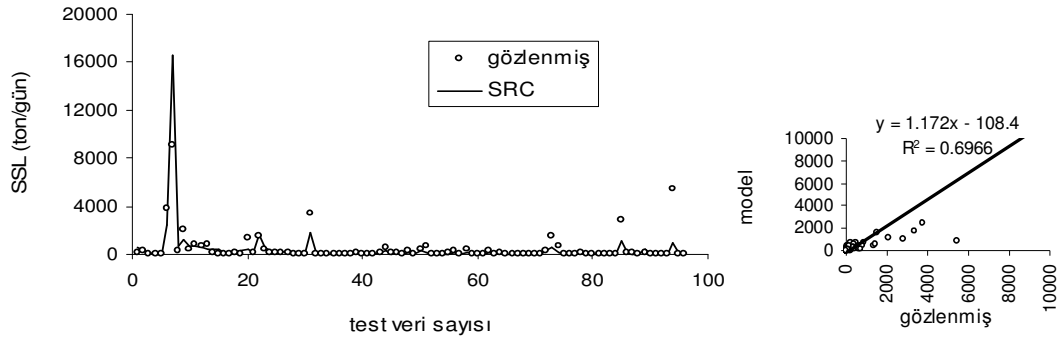
518 istasyonu için elde edilen SRC denklemi şu şekildedir;

$$SSL = 3,837Q^{1,452} \quad (6.12)$$

Modelin eğitim ve test setindeki başarısı ise Tablo 6.23’de verilmektedir. şekil 6.20’den SRC modelinin test setine uygulanması görölmektedir.

Tablo 6.23 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için SRC sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,43	0,70	4.014	966	1.470	284



Şekil 6.20 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda SRC İle modelleme

SRC modelinin gözlenen 9.096 ton/gün pik değeri, 16.652 ton/gün olarak gözlenen değerden fazla modellediği ve askıda katı madde yükü davranışını yansıtamadığı Şekil 6.20'den de görülmektedir.

6.2.2 Regresyon Metotları

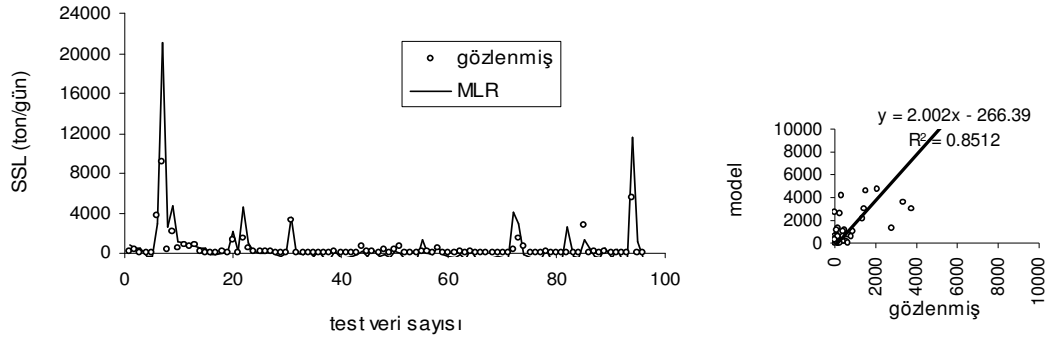
6.2.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)

Gediz Nehri 518-Manisa Köprüsü istasyonunda Tablo 6.21'de belirtilen tüm senaryolar için çoklu doğrusal regresyon modelleri kurulduğunda elde edilen performans ölçütleri Ek-3'de yer almaktadır. Burada en büyük determinasyon katsayısını ($R^2=0,628$) veren senaryo Sim II-4'de Denklem 6.13 olmaktadır. Bu denkleme göre Tablo 6.24 ve Şekil 6.21 hazırlanmıştır.

$$SSL = 36,408P_{(t)} + 194,178P_{(t-1)} + 63,312Q_{(t)} - 13,668Q_{(t-1)} - 642,637 \quad (6.13)$$

Tablo 6.24 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu için MLR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-4	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,628	0,85	3.093	1.600	1.495	735



Şekil 6.21 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda MLR ile modelleme

Burada MLR modelinin gözlenen 9.096 ton/gün pik değeri iki katından daha fazla tahmin ettiği (21.037 ton/gün) ve askıda katı madde yükü gidiş grafiğinde modelin başarısız olduğu açıkça görülmektedir. Determinasyon katsayısı yüksek olmakla birlikte determinasyon denklemindeki a_0 ve a_1 katsayıları da istenen kriterlerde değildir.

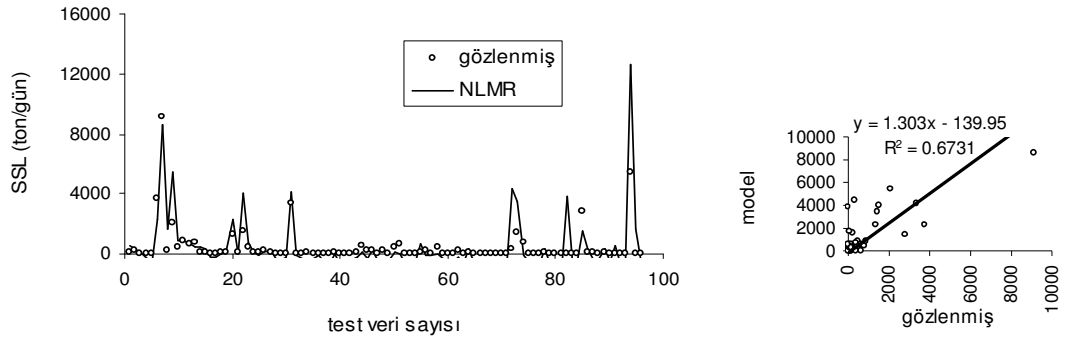
6.2.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR)

EİE, Gediz Nehri 518-Manisa Köprüsü istasyonunda tüm çoklu doğrusal olmayan regresyon modelleri Denklem (6.3-6.7) kurulduğunda, yine 6.5 denklemi ile gösterilen model yüksek determinasyon katsayısı vermiştir. Tablo 6.19'daki tüm senaryolara bu model uygulandığında, Ek-8 elde edilmiştir. Ek-8'den görüldüğü gibi, en iyi modelleme ($R^2=0,87$) senaryo Sim II-3'de Denklem 6.14 ile gerçekleşmektedir. NLMR ile ilgili sonuçlar Tablo 6.25 ve Şekil 6.22'den görülmektedir.

$$\begin{aligned}
 SSL = & 285,42P_{(t-1)} - 1,12P_{(t-1)}^2 + 36,03Q_{(t)} - 0,0736Q_{(t)}^2 + \\
 & 13,72Q_{(t-1)} - 0,0758Q_{(t-1)}^2 - 689,33
 \end{aligned} \tag{6.14}$$

Tablo 6.25 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu için NLMR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-3	$P_{(t-1)}$, $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,87	0,67	3.833	1.167	1.642	665



Şekil 6.22 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda NLMR ile modelleme

NLMR model sonuçlarına bakılacak olursa model pik değeri yakalamakla birlikte kimi noktalarda aşırı tahminleme söz konusudur ve R² düşüktür.

6.2.3 Yapay Zeka Metotları

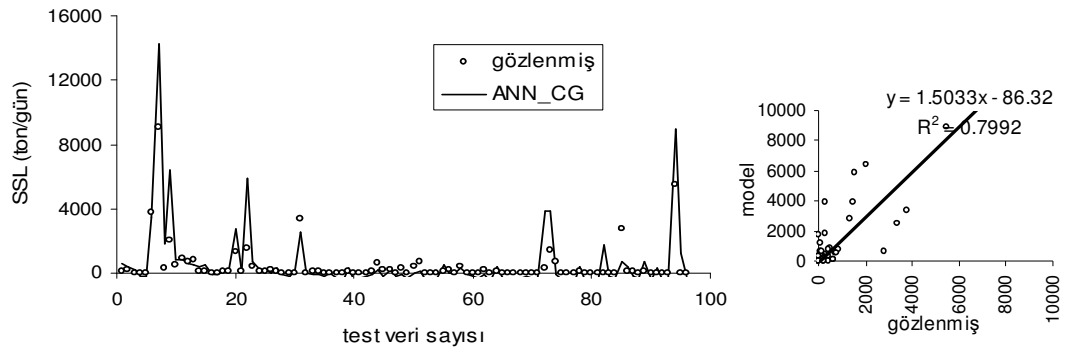
6.2.3.1 ANN

Gediz Nehri 518 no'lu Manisa Köprüsü istasyonunun yağış ve akım verileri kullanılarak oluşturulan ANN modelinde eğitim ve test setindeki veriler yine aynı ölçeklendirme denklemi ile [0,1; 0,9] aralığında ölçeklendirilmiştir. Burada da ağın eğitiminde sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve tek saklı tabaka kullanılırken, saklı tabakada 2'den 10'a kadar değişen sayıda nöron denenmiş, eğitim'de kullanılan Conjugate Gradient algoritmasında 500, ve Levenberg Marquardt algoritmasında ise 150 iterasyon kullanılmıştır. Tablo 6.21'de verilen senaryolara göre uygulanan ANN modelleri ve bulunan performans ölçütleri Ek-13'de yer alırken, burada en iyi performansı veren algoritmalar arasında senaryolar açısından bir fark vardır. Şöyle

ki, en iyi modelleme ANN_CG'de senaryo Sim II-3'de gerçekleşirken, ANN_LM algoritmasında senaryo Sim II-2'de gerçekleşmektedir. ANN_CG ve ANN_LM algoritmaları ile ilgili sonuçlar sırasıyla Tablo 6.26 ve Tablo 6.27'de yer alırken, Şekil 6.23 ve 6.24'den de modellerin askıda katı maddeyi tahminlemedeki performansı görülmektedir.

Tablo 6.26 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için ANN_CG sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-3	$P_{(t-1)}$, $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,89	0,80	3.043	1.112	1.399	586

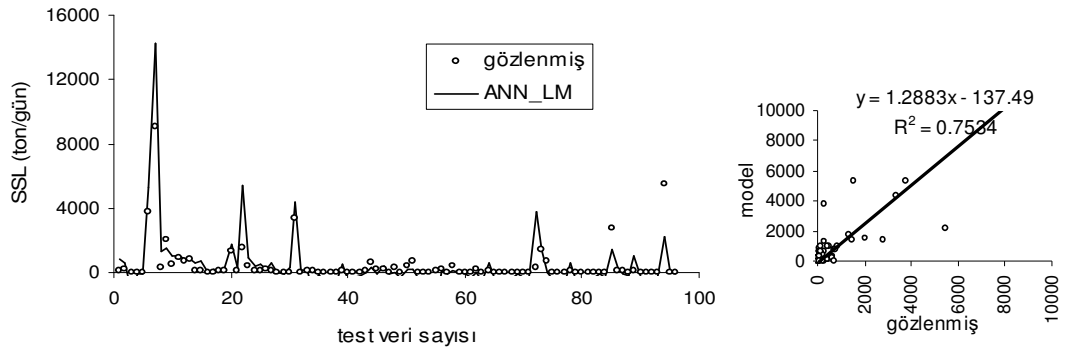


Şekil 6.23 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANN_CG ile modelleme

Şekil 6.23'den de görüldüğü gibi model kimi yerlerde askıda katı madde gidiş davranışını yansıtmakta kimi yerlerde ise pik değerleri yakalayamamaktadır. Test setindeki gözlenen 9.096 ton/gün pik değeri, 14.282 ton/gün olarak aşırı modellediği görülmektedir.

Tablo 6.27 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonunu için ANN_LM sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,73	0,75	2.631	965	1.260	535



Şekil 6.24 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANN_LM ile modelleme

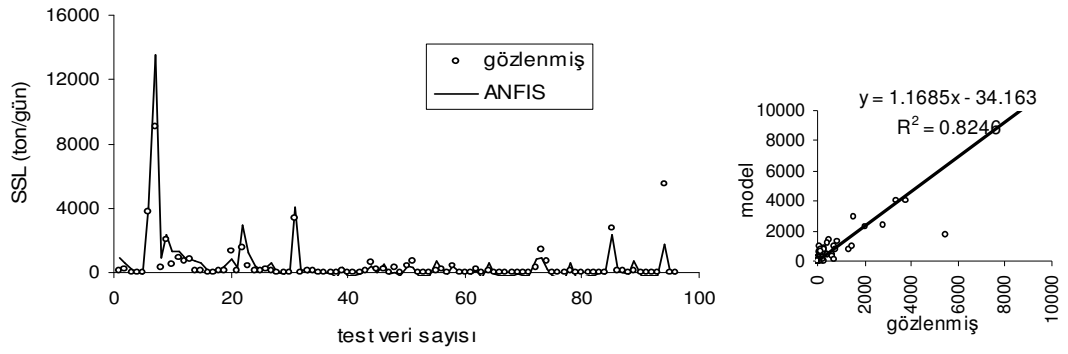
ANN_LM modelinin de performansı ANN_CG modeli ile aynıdır. Bu model de test setindeki gözlenen 9.096 ton/gün pik değeri 14.305 ton/gün olarak aşırı modellemektedir.

6.2.3.2 ANFIS.

Ek-18'de görüldüğü üzere ANFIS modelinde en iyi performansı determinasyon katsayısı açısından Senaryo Sim II-2 ve Sim II-5 sağlamıştır. Fakat diğer performans ölçütleri incelendiğinde Sim II-2'de modelin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ayrıca model çalışmalarında her zaman en basit modeli kurmak hedeflendiğinden girdileri az olan senaryo her zaman tercih nedenidir. $P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$ girdileri için (2-2-3) adet genelleştirilmiş çan eğrisi (gbellmf) üyelik fonksiyonu kullanılarak Tablo 6.28'de verilen performans ölçütleri elde edilmiştir. Şekil 6.25'de Gediz Nehri 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için ANFIS model sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.28 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için ANFIS sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,65	0,83	3.348	689	1.503	345



Şekil 6.25 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANFIS ile modelleme

Şekil 6.25'den de görüldüğü gibi ANFIS modelinin başarısı ANN modellerinin başarısından çok farklı değildir. Modelin, gözlenen 9.096 ton/gün pik değeri 13.596 ton/gün olarak tahmin ettiği ve askıda katı madde yükü gidiş grafiğinden de modelin kimi yerlerde piki yakalayamadığı görülmektedir.

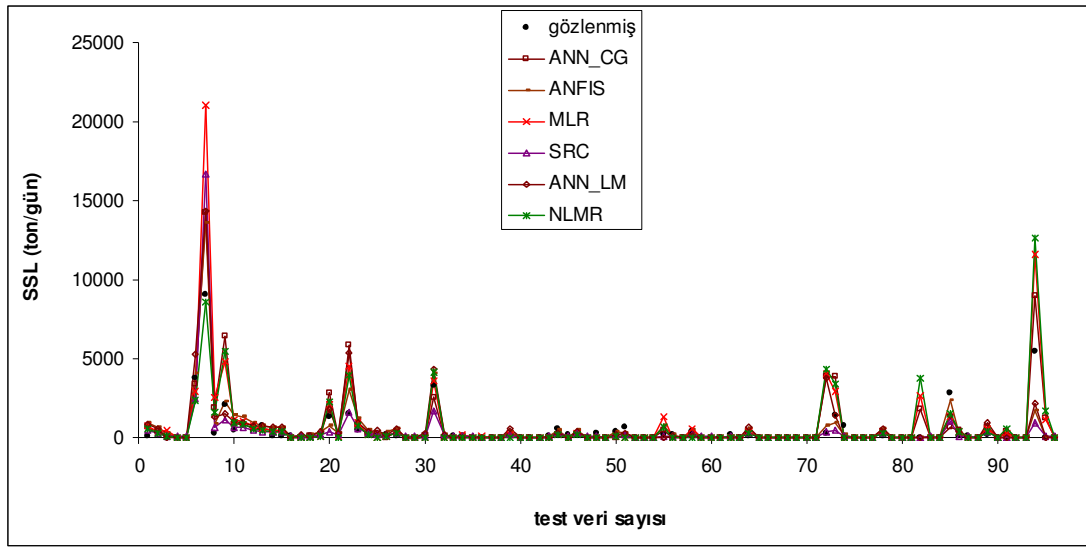
6.2.4 Değerlendirme

Bu bölümde yine tüm sonuçların performans ölçütleri birlikte değerlendirilmiş ve Tablo 6.29 hazırlanmıştır. Modellerin, gözlenmiş pik değerleri ve askıda katı madde davranışını yakalaması da göz önünde tutulan bir başka kriter olmuştur. Tablo incelenecek olursa bu istasyonda modeller çok başarılı sonuçlar vermemekle birlikte, yapay zeka modellerinin kısmen daha başarılı olduğu görülmektedir. Senaryolarda, akımın 2 gün önceki değeri de dikkate alınmasına rağmen her iki ANN algoritması da bu istasyondaki askıda katı madde gidiş davranışını yansıtmakta çok başarılı değildir. Bunun en büyük nedeni 518-Manisa Köprüsü İstasyonun Demirköprü Barajı'nın mansabında yer alması ve istasyonda ölçülen akımların barajdan dolayı düzenlenmiş olmasıdır.

Yapay sinir ağlarının, yapay zeka modellerinin arasında en başarılısı olduğu söylenebilir. ANN_CG modeli ise ANN_LM modeline göre biraz daha iyi bir performans göstermektedir. Şekil 6.26'da tüm model sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.29 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda tüm modellerin sonuçları

Modeller	R ²	RMSE ton/gün	MAE ton/gün	Eklenik Hata	Determinasyon Denklemi
ANFIS	0,825	689	345	-25	$y = 1,169x - 34,163$
ANN_CG	0,80	1.112	586	-32	$y = 1,503x - 86,32$
ANN_LM	0,753	965	535	-38	$y = 1,29x - 137,49$
SRC	0,697	4.267	717	8	$y = 1,172x - 108,41$
MLR	0,85	4.507	117	-88	$y = 2,002x - 266,39$
NLMR	0,67	1.167	665	-55	$y = 1,303x - 139,95$



Şekil 6.26 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda tüm modeller

6.2.5 Ampirik Yaklaşımlar

Ampirik yaklaşımlarda, yine Gediz Nehrine ait karakteristikleri özetleyen Tablo 5.17 ve 5.18 dikkate alınmıştır. Veri dönemine ait enkesit bilgilerinin bulunduğu Tablo 5.22'de sunulan 68 adet askıda katı madde gözlemine 3.22-3.26 denklemleri sırasıyla uygulanmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 6.30'da verilmiştir. Tablo 6.30 incelendiğinde bazı modellerin aşırı tahminleme yaparken bazı modellerin de eksik tahminde bulunduğu görülmektedir. Eklenik yük, determinasyon katsayısı ve toplam yük performans ölçütleri dikkate alındığında söz konusu dört ampirik yaklaşımdan en iyi sonuçları veren bağıntının bu istasyonda da Brooks metodu olduğu görülmektedir (Ülke ve diğ., 2010). Tablo 6.31'de arazi koşulları için kalibre edilen Brooks metodunun Genetik Algoritma kalibrasyon katsayısı yer

alırken Tablo 6.32 ve Şekil 6.27’de de Genetik algoritma ile iyileştirilmiş Brooks metodu sonuçları ve ANN ile ANFIS karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 6.30 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu’nda uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Lane&Kalinske	286.805	22.560	-12.695	19.656.387	153.626	0,32
Einstein	13.543	1.866	-595	1.067.557	153.626	0,30
Brooks	1.425	73	50	76.444	153.626	0,52
Chang, Simons & Richardson	1.796	104	63	57.222	153.626	0,22

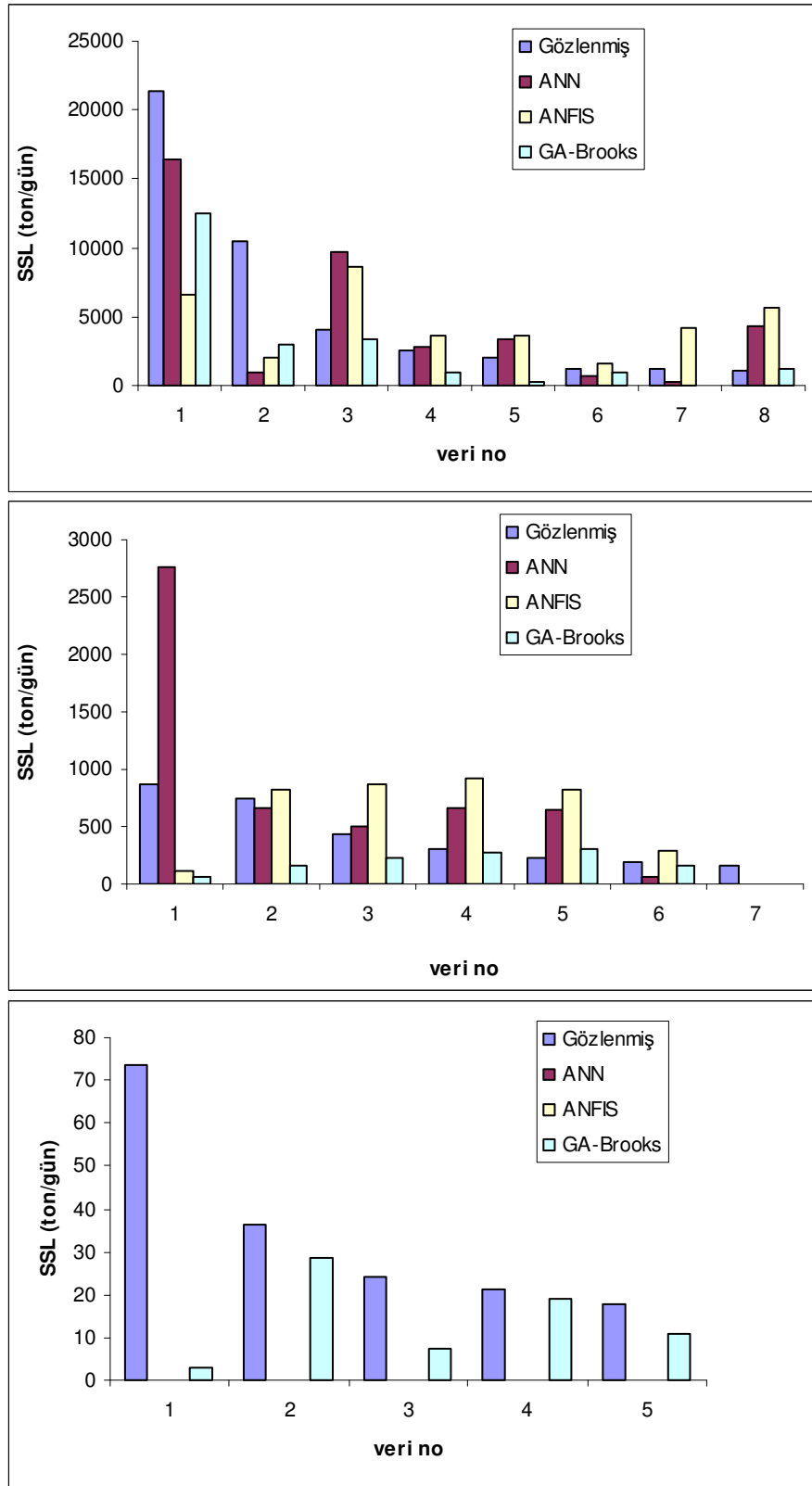
Tablo 6.31 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu’na ait kalibrasyon ve test veri sayıları ile Genetik Algoritma düzeltme katsayısı

İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (Fc)
Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu	68	48	20	1,096

Tablo 6.32 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu’nda test setinde GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
GA-Brooks	1.202	52	50	23.404	46.875	0,92
ANN	1.501	99	7	43.670	46.875	0,66
ANFIS	2.096	124	15	39.727	46.875	0,29

Tablo 6.32’den de görüldüğü üzere eklenik yük performansı açısından GA-Brooks metodu, ANN kadar başarılı değildir. Bununla birlikte Şekil 6.27’den, SSL’un 3.000 ton/gün’den küçük olduğu kısımlarda yapay zeka modellerinin SSL için ya aşırı tahminde buldukları ya da sıfır tahmin ettikleri görülmektedir. Küçük değerlerde GA-Brooks modelinin tahminleri gözlenmiş değerlere daha çok yaklaşmaktadır.



Şekil 6.27 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu test verilerinde GA-Brooks ile ANN, ANFIS Modellerinin karşılaştırılması

6.3. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonuna Ait Çalışmalar ve Model Sonuçları

Küçük Menderes Nehri'nde yer alan 601 numaralı Selçuk istasyonuna en yakın meteoroloji istasyonu 17854 no'lu Selçuk meteoroloji istasyonudur. 06.01.1975–30.09.2005 tarihleri arasında toplamda 282 veri ile çalışılmıştır. Tablo 6.34'deki girdi değişkenlerinin en büyük, en küçük ve ortalama değerleri de dikkate alınarak 282 veri çiftinin 226'sı eğitim setinde, diğer 56'sı da test setinde kalacak şekilde veri seti oluşturulmuştur. Tablo 4.7'den istasyona ait verilerde yağış ve akım arasında korelasyon değerinin düşük olduğu görülmektedir. İstasyon verilerinde yaz aylarında akarsuyun tamamen kuruya geçtiği bilinmektedir. Akarsu genel olarak Haziran-Temmuz-Ağustos ve bazen Eylül aylarını kuruda geçirir. Havzada yaz aylarında az miktarlarda da olsa yağın yağışın akıma bir etkisi olmamaktadır. Tablo 4.7'de görüldüğü gibi akımlar arasındaki korelasyon yüksek olduğundan iki gün önceki akım değerleri de dikkate alınarak Tablo 6.33'de sunulan senaryolar hazırlanmıştır.

Tablo 6.33 EİE Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda model girdi senaryoları

Senaryolar	Senaryo Adları	Girdi değişkenleri
Senaryo I	Sim I-1	$Q_{(t)}$
	Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
Senaryo II	Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$
	Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	SimII-4	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$
	Sim II-5	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$

Modellerde kullanılan veri setine ait veri aralığı ve verilerin temel istatistikleri Tablo 6.34'de verilmektedir.

Tablo 6.34 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	x_{max}	x_{min}
Eğitim	06.01.1975-26.02.1993 04.01.1999-08.06.2005	$P_{(t)}$	4,31	9,43	2,19	2,73	56,6	0
		$P_{(t-1)}$	5,2	12,56	2,41	3,58	75,4	0
		$Q_{(t)}$	19,05	35,84	1,88	4,44	284	0,04
		$Q_{(t-1)}$	16,61	30,55	1,84	4,8	295	0,05
		$Q_{(t-2)}$	14,79	22,38	1,51	2,59	124	0,01
		$SSL_{(t)}$	1.772,5	4.669,1	2,63	4,42	35.505,91	0,3
Test	08.03.1993-25.12.1998	$P_{(t)}$	7,37	14,95	2,03	2,56	64,1	0
		$P_{(t-1)}$	7,98	13,74	1,72	2,08	64,1	0
		$Q_{(t)}$	15,97	22,62	1,42	2,21	108	0,35
		$Q_{(t-1)}$	10,54	13,16	1,25	2,07	55	0,01
		$Q_{(t-2)}$	8,95	12,41	1,39	2,45	58,3	0
		$SSL_{(t)}$	1.797,9	3.928,6	2,19	2,62	17.661,55	0,8

6.3.1 Sediment Anahtar Eğrisi (SRC) Modeli

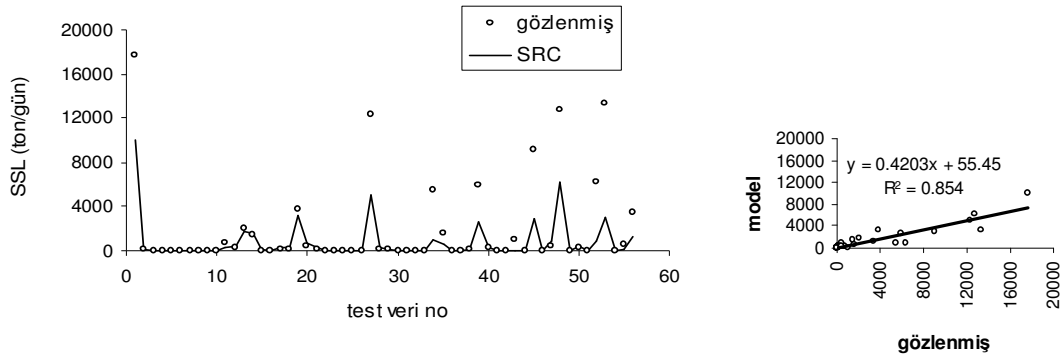
601 istasyonu için elde edilen SRC denklemi şu şekildedir;

$$SSL = 4,182Q^{1,6628} \quad (6.15)$$

Denklem 6.15'e göre elde edilen sonuçlar Tablo 6.35 ve Şekil 6.28'de sunulmaktadır.

Tablo 6.35 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için SRC sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,71	0,85	2.799	2.554	1.043	1.052



Şekil 6.28 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda SRC ile modelleme

Şekil 6.28'den görüldüğü gibi her ne kadar determinasyon katsayısı ($R^2=0,85$) yüksek olsa da regresyon denklemindeki a_0 ve a_1 katsayıları istenen kriterlerde değildir. Modelin askıda katı madde yükü davranışını yansıtamadığı görülmektedir. Model gözlenen 17.661 ton/gün pik değeri 10.000 ton/gün olarak tahmin etmektedir.

6.3.2 Regresyon Metotları

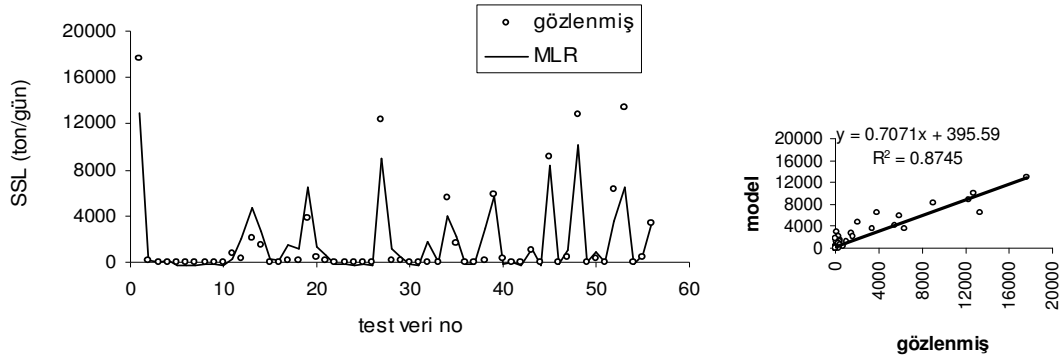
6.3.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)

Küçük Menderes Nehri 601 no'lu Selçuk istasyonunda Tablo 6.31'de belirtilen tüm senaryolar için çoklu doğrusal regresyon modelleri kurulduğunda elde edilen performans ölçütleri Ek-4'de yer almaktadır. Burada en büyük determinasyon katsayısını ($R^2=0,82$) veren senaryo Sim II-4'de Denklem 6.16 olmaktadır. Bu denkleme göre Tablo 6.36 ve Şekil 6.29 hazırlanmıştır.

$$SSL = 39,22P_{(t)} + 120,95Q_{(t)} + 7,71Q_{(t-1)} - 33,23Q_{(t-2)} - 337,36 \quad (6.16)$$

Tablo 6.36 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için MLR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-4	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,82	0,87	2.021	1.551	1.046	863



Şekil 6.29 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda MLR ile modelleme

MLR modelinde determinasyon katsayısı ($R^2=0,87$) yüksektir. Model askıda katı madde yükü davranışını yansıtamamakla birlikte, tüm ölçütlerde SRC'ye göre daha iyi bir performans göstermektedir. Model gözlenen 17.661 ton/gün pik değeri 13.000 ton/gün olarak tahmin etmektedir.

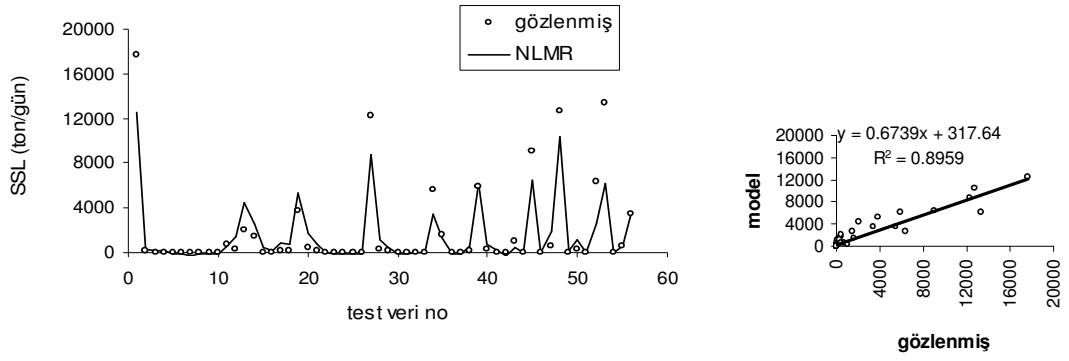
6.3.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR)

EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk istasyonununda tüm çoklu doğrusal olmayan regresyon modelleri kurulduğunda (Denklem 6.3-6.7), yine 6.5 denklemi ile gösterilen model yüksek determinasyon katsayısı vermiştir. Bu sebeple tüm senaryolara bu model uygulanmıştır, senaryolara göre bulunan performans ölçütleri Ek-9'de yer almaktadır. Ek-9'den görüldüğü gibi, en iyi modellemeyi ($R^2=0,90$) senaryo Sim I-2'de Denklem 6.17 ile gerçekleşmektedir. NLMR ile ilgili sonuçlar Tablo 6.37 ve Şekil 6.30'dan görülmektedir.

$$SSL = 144,45Q_{(t)} - 0,0668Q_{(t)}^2 - 47,65Q_{(t-1)} + 0,15Q_{(t-1)}^2 - 266,95 \quad (6.17)$$

Tablo 6.37 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için NLMR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,80	0,90	2.080	1.576	1.025	806



Şekil 6.30 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda NLMR ile modelleme

Burada NLMR modelinin performansı MLR modeli ile benzerdir. Determinasyon katsayısı ($R^2=0,90$) daha yüksektir. NLMR modeli de askıda katı madde yükü davranışını kısmen yansıtmaktadır. Model gözlenen 17.661 ton/gün pik değeri 12.486 ton/gün olarak tahmin etmektedir.

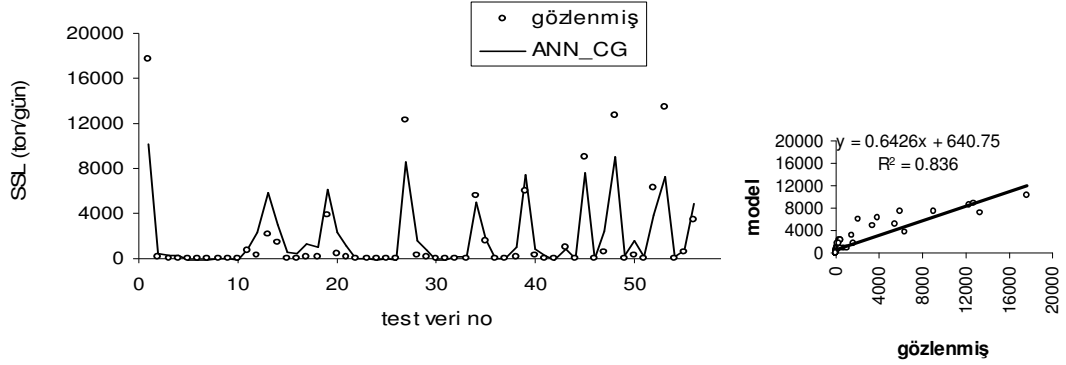
6.3.3 Yapay Zeka Metotları

6.3.3.1 ANN

Küçük Menderes Nehri 601 no'lu Selçuk istasyonunun yağış ve akım verileri kullanılarak oluşturulan ANN modelinde eğitim ve test setindeki veriler yine [0,1; 0,9] aralığında ölçeklendirilmiş, ağı eğitiminde sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve tek saklı tabaka kullanılırken, saklı tabakada 2'den 10'a kadar değişen sayıda nöron denenmiştir. İterasyon sayıları ise diğer istasyonlarda olduğu gibi Conjugate Gradient algoritmasında 500, ve Levenberg Marquardt algoritmasında ise 150 olarak kullanılmıştır. Tablo 6.31'de verilen senaryolara göre uygulanan ANN modelleri ve bulunan performans ölçütleri Ek-14'de yer alırken, burada en iyi performansı veren algoritmalar arasında senaryolar açısından Gediz-518'de olduğu gibi yine bir fark söz konusudur. Bu istasyonda, en iyi modelleme ANN_CG'de senaryo Sim I-2'de gerçekleşirken, ANN_LM algoritmasında senaryo Sim II-1'de gerçekleşmektedir. ANN_CG ve ANN_LM algoritmaları ile ilgili sonuçlar sırasıyla Tablo 6.38 ve Tablo 6.39'de yer alırken, Şekil 6.31 ve 6.32'de ise modellerin askıda katı maddeyi tahminlemedeki performansları sunulmaktadır.

Tablo 6.38 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için ANN_CG sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	0,89	0,84	2.300	1.779	1.120	981

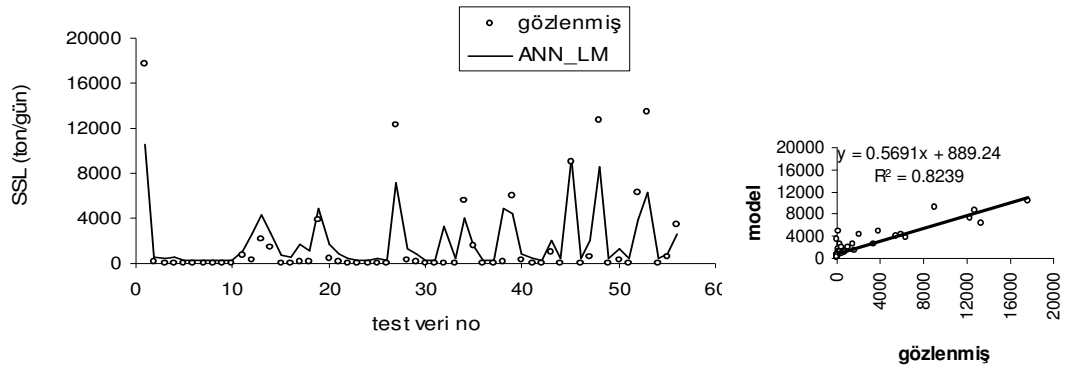


Şekil 6.31 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANN_CG ile modelleme

Şekil 6.31'den de görüldüğü gibi, burada da model kısmen askıda katı madde gidiş davranışını yansıtmakla birlikte, kimi yerlerde pik değerleri yakalayamamaktadır. Model gözlenen 17.661 ton/gün pik değeri de 10.186 ton/gün olarak düşük modellemektedir.

Tablo 6.39 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için ANN_LM sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,81	0,824	2.148	1.969	1.182	1.181



Şekil 6.32 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANN_LM ile modelleme

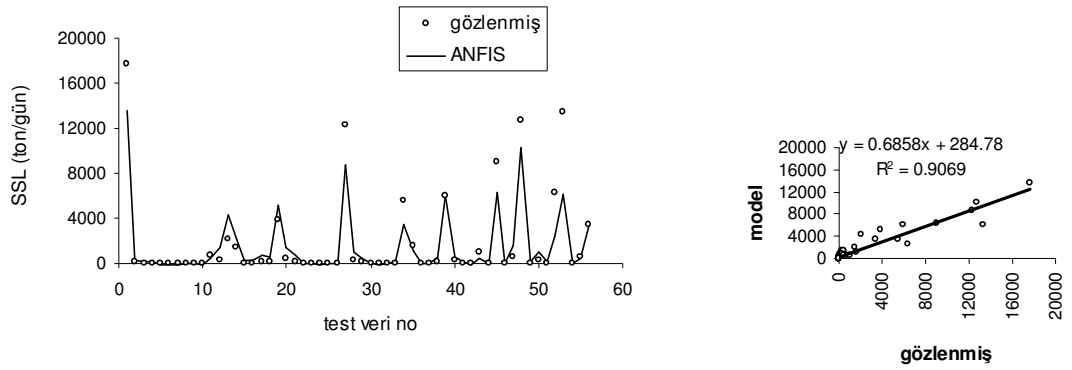
ANN_LM modelinin determinasyon katsayısı ($R^2=0,824$) olup, Şekil 6.32'den de görüldüğü gibi model askıda katı madde davranışını kısmen yansıtmaktadır. Model gözlenen 17.661 ton/gün pik değeri de 10.500 ton/gün olarak düşük modellemektedir.

6.3.3.2 ANFIS

ANFIS modelinde en iyi performansı Ek-19'da görüldüğü üzere determinasyon katsayısı açısından Senaryo Sim I-2 sağlamıştır. Akım değerlerinin olduğu diğer senaryolarında başarılı olmasına karşın performans ölçütleri incelendiğinde Sim I-2'de modelin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Yine en basit modeli kurmak hedeflendiğinden girdileri az olan senaryo tercih edilmiştir. $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$ girdileri için (2-4) adet üçgen (trimf) üyelik fonksiyonu kullanılarak Tablo 6.40'da verilen performans ölçütleri elde edilmiştir. Şekil 6.33'de Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için ANFIS model sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.40 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için ANFIS sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,82	0,91	2.021	1.518	971	740



Şekil 6.33 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANFIS İle modelleme

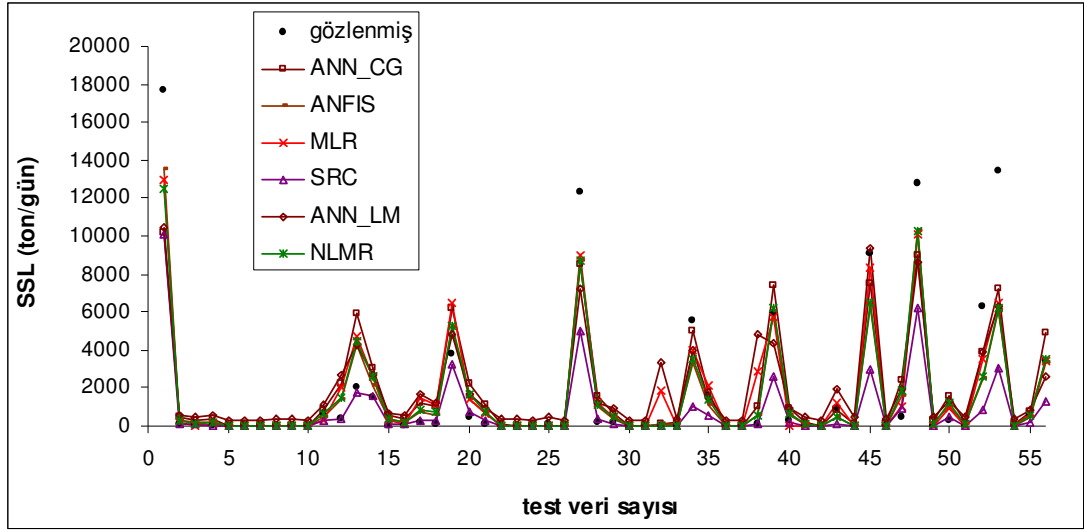
Şekil 6.33'den de görüldüğü gibi ANFIS modeli ANN modellerinden daha başarılı sayılabilir. Model gözlenen 17.661 ton/gün pik değeri de 13.521 ton/gün şeklinde diğer tüm modellerden daha iyi tahmin etmektedir.

6.3.4 Değerlendirme

Bu bölümde yine tüm modellerin performans ölçütleri birlikte değerlendirilmiş ve Tablo 6.41 hazırlanmıştır. Tablo incelenecek olursa bu istasyonda yapay zeka modellerinin ve çoklu doğrusal olmayan regresyon modelinin diğer modellere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Yapay zeka modellerinin arasında ise ANFIS'in daha başarılı olduğu söylenebilir. Şekil 6.34'de tüm model sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.41 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda tüm modellerin sonuçları

Modeller	R ²	RMSE ton/gün	MAE ton/gün	Eklenik Hata	Determinasyon Denklemi
ANFIS	0,91	1.518	740	14	$y = 0,69x + 285$
ANN_CG	0,84	1.776	981	-1,51	$y = 0,64x + 640,75$
ANN_LM	0,82	1.969	1.181	-6,37	$y = 0,57x + 889,2$
SRC	0,85	2.554	1.052	55	$y = 0,42x + 55,45$
MLR	0,87	1.551	863	3,2	$y = 0,71x + 395,59$
NLMR	0,90	1.576	806	13	$y = 0,674x + 317,64$



Şekil 6.34 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda tüm modeller

6.3.5 Ampirik Yaklaşımlar

Ampirik yaklaşımlarda, Küçük Menderes Nehri'ne ait karakteristikleri özetleyen Tablo 5.19 ve 5.20 dikkate alınmıştır. Veri dönemine ait enkesit bilgilerinin bulunduğu Tablo 5.23'de sunulan 60 adet askıda katı madde gözlemine 3.22-3.26 denklemleri sırasıyla uygulanmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 6.42'de verilmiştir. Tablo 6.42 incelendiğinde tüm modellerin aşırı tahminde bulunduğu görülmektedir. Eklenik yük, determinasyon katsayısı ve toplam yük gibi performans ölçütleri dikkate alındığında söz konusu dört ampirik yaklaşımdan en iyi sonuçları veren bağıntının bu istasyonda da yine Brooks metodu olduğu görülmektedir. Modelin iyileştirilmesinde kullanılan Genetik Algoritma yönteminin kalibrasyon katsayısı Tablo 6.43'de yer alırken, Tablo 6.44 ve Şekil 6.35'de de GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS metotları ile karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 6.42 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R^2
Lane&Kalinske	123.787	23.420	-7.524	752.5945	98.704	0,78
Einstein	15.088	2.385	-917	1.003.775	98.704	0,73
Brooks	2.942	837	-24	122.272	98.704	0,76
Chang, Simons & Richardson	2.987	911	-128	225.004	98.704	0,77

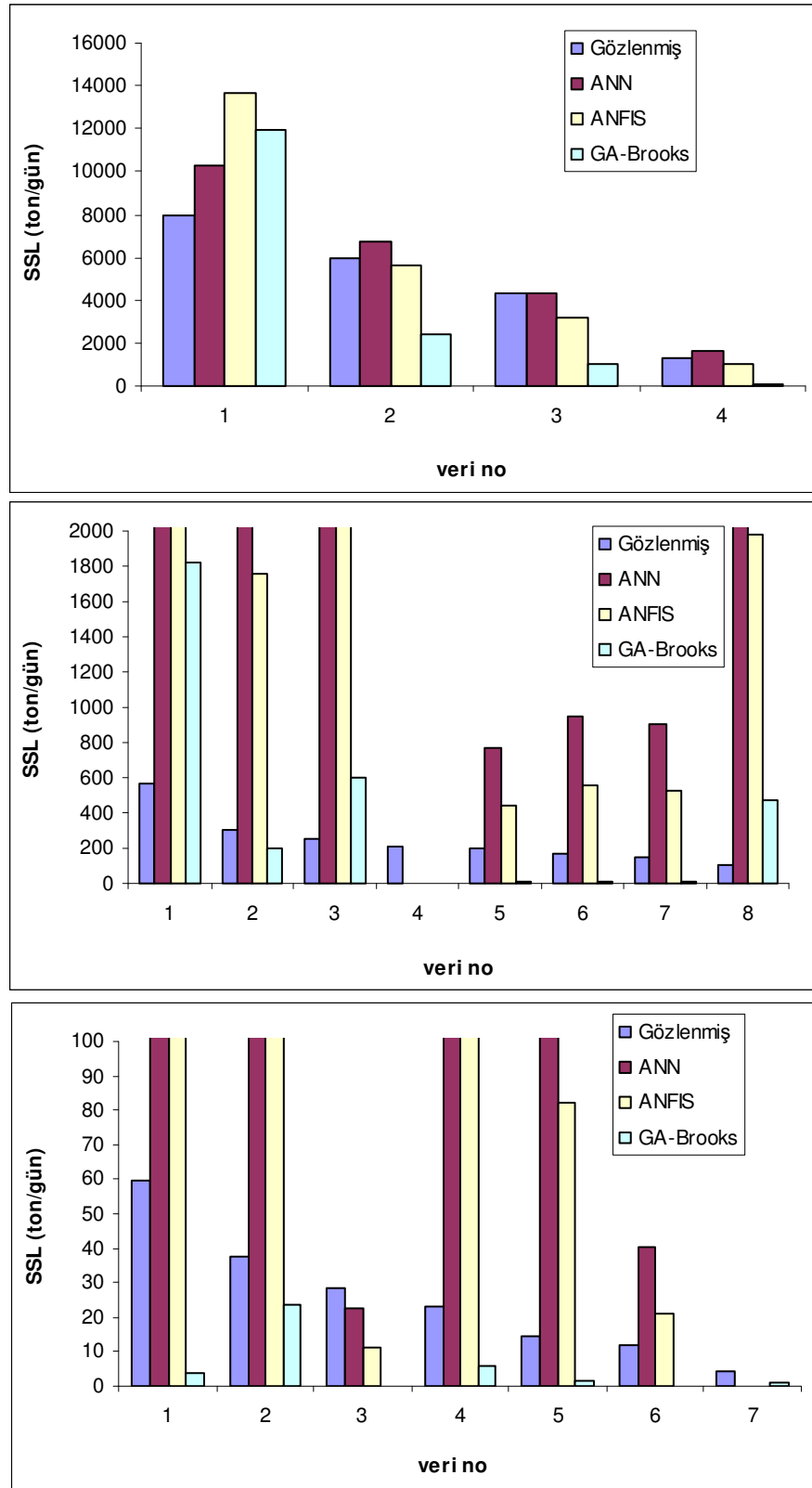
Tablo 6.43 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'na ait kalibrasyon ve test veri sayıları ile Genetik Algoritma düzeltme katsayısı

İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (Fc)
EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu	60	41	19	0,5431

Tablo 6.44 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda test setinde GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R^2
GA-Brooks	786	103	14	18.681	21.755	0,69
ANN	1142	812	-97	42.967	21.755	0,75
ANFIS	1017	490	-70	37.040	21.755	0,79

Tablo 6.44 incelendiğinde tüm performans ölçütleri açısından GA-Brooks metodu, yapay zeka modellerinden daha başarılıdır ve gözlenmiş toplam yüke hepsinden daha çok yaklaşmaktadır. Şekil 6.35 incelendiğinde, burada da yine SSL'un 2.000 ton/gün'den küçük olduğu kısımlarda yapay zeka modellerinin ya aşırı tahminde bulunduğu ya da kimi noktalarda sıfır tahmin ettikleri görülmektedir. Bu kısımlarda GA-Brooks metodunun tahminleri daha başarılıdır.



Şekil 6.35 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu test verilerinde GA-Brooks ile ANN, ANFIS Modellerinin karşılaştırılması

6.4. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonununa Ait Çalışmalar ve Model Sonuçları

Büyük Menderes Nehri, 701-Çine Çayı, Kayırlı istasyonununa en yakın meteoroloji istasyonu 17886 no'lu Yatağan meteoroloji istasyonudur. İstasyonda model çalışmalarında 10.01.1975-09.09.2005 tarihleri arasındaki 379 veri çifti kullanılmıştır. Tablo 6.46'daki girdi değişkenlerinin en büyük, en küçük ve ortalama değerleri de dikkate alınarak 379 veri çiftinin 303'ü eğitim setinde, diğer 76'sı da test setinde kalacak şekilde veri seti oluşturulmuştur. Tablo 4.9'dan görüldüğü gibi bu istasyondaki yağışlar arasındaki otokorelasyon değerleri düşüktür. Fakat yağış-askıda katı madde çapraz korelasyonu yüksektir, kurulacak modellerde yağışın etkin olabileceği görülmektedir. Hem akımın hem de yağışın bir gün önceki çapraz korelasyon değerleri (Tablo 4.9) ise düşüktür. Buna göre Tablo 6.45'de görülen senaryolar oluşturulmuştur.

Tablo 6.45 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda model girdi senaryoları

Senaryolar	Senaryo Adları	Girdi değişkenleri
Senaryo I	Sim I-1	$Q(t)$
	Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$
Senaryo II	Sim II-1	$P(t), Q(t)$
	Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$
	Sim II-3	$P(t), P(t-1), Q(t), Q(t-1)$

Modellerde kullanılan veri setine ait veri aralığı ve verilerin istatistiksel parametreleri Tablo 6.46'da verilmektedir.

Tablo 6.46 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	x_{max}	x_{min}
Eğitim	10.01.1975-09.04.1987 09.03.1993-09.09.2005	$P_{(t)}$	3,3	7,86	2,38	2,74	38,6	0
		$P_{(t-1)}$	2,99	8,29	2,77	3,9	59,7	0
		$Q_{(t)}$	7,9	13,86	1,75	3,64	103	0,14
		$Q_{(t-1)}$	6,89	11,59	1,68	4,16	88,6	0,12
		$SSL_{(t)}$	475,3	2.100	4,42	6,69	18.681,7	0,51
Test	14.05.1987-17.02.1993	$P_{(t)}$	2,45	6,49	2,65	3,3	33,1	0
		$P_{(t-1)}$	2,91	8,4	2,89	4,12	54	0
		$Q_{(t)}$	3,58	8,88	4,73	2,48	57,7	0,05
		$Q_{(t-1)}$	4,15	11,45	2,76	5,41	80,6	0,04
		$SSL_{(t)}$	132,56	620,58	4,68	5,79	4.314,9	0,15

6.4.1 Sediment Anahtar Eğrisi (SRC) Modeli

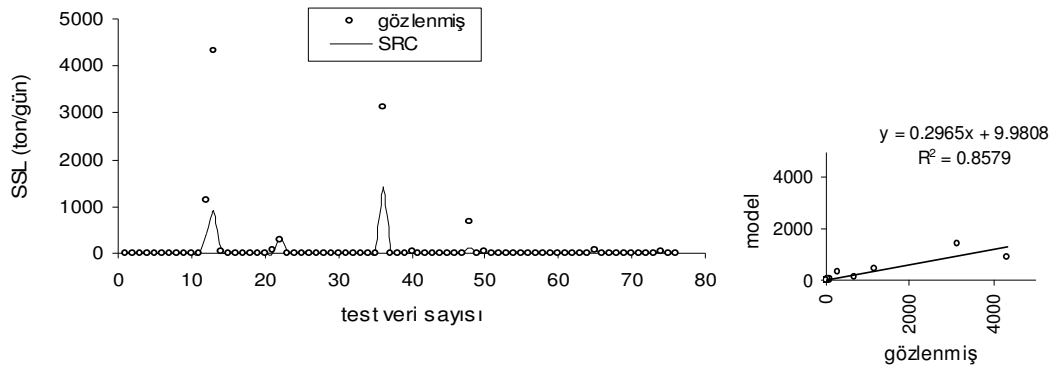
EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı istasyonu için elde edilen SRC denklemini şu şekildedir;

$$SSL = 3,002Q^{1,516} \quad (6.18)$$

Modelin eğitim ve test setindeki başarısı ise Tablo 6.47'de verilmektedir. Şekil 6.36'da da SRC modelinin test setine uygulanması görülmektedir.

Tablo 6.47 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için SRC sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,58	0,86	1.867	448	376	89



Şekil 6.36 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda SRC ile modelleme

Determinasyon katsayısı yüksek olmakla birlikte, SRC modelinin gözlenen 4.315 ton/gün pik değeri yakalayamadığı ve askıda katı madde yükü davranışını yansıtamadığı Şekil 6.35'den görülmektedir.

6.4.2 Regresyon Metotları

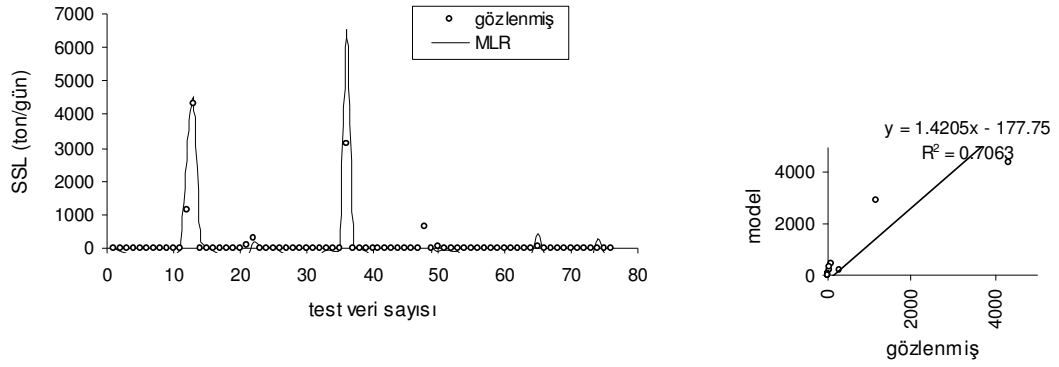
6.4.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)

Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı istasyonunda Tablo 6.45'de belirtilen tüm senaryolar için çoklu doğrusal regresyon modelleri kurulduğunda elde edilen performans ölçütleri Ek-5'de yer almaktadır. Burada en büyük determinasyon katsayısını ($R^2=0,59$) veren senaryo Sim II-2'de Denklem 6.19 olmaktadır. Bu denkleme göre Tablo 6.48 ve Şekil 6.37 hazırlanmıştır.

$$SSL = -12,49P_{(t)} + 139,39Q_{(t)} - 46,37Q_{(t-1)} - 265,81 \quad (6.19)$$

Tablo 6.48 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için MLR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,59	0,71	1.354	633	498	288



Şekil 6.37 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda MLR ile modelleme

Burada MLR modeli 4.315 ton/gün olan pik değeri 4.442 ton/gün olarak tahmin etmiş fakat bazı noktalarda aşırı tahminlemede bulunmuştur. Ayrıca model bu istasyonda çok fazla negatif tahminde bulunmuştur.

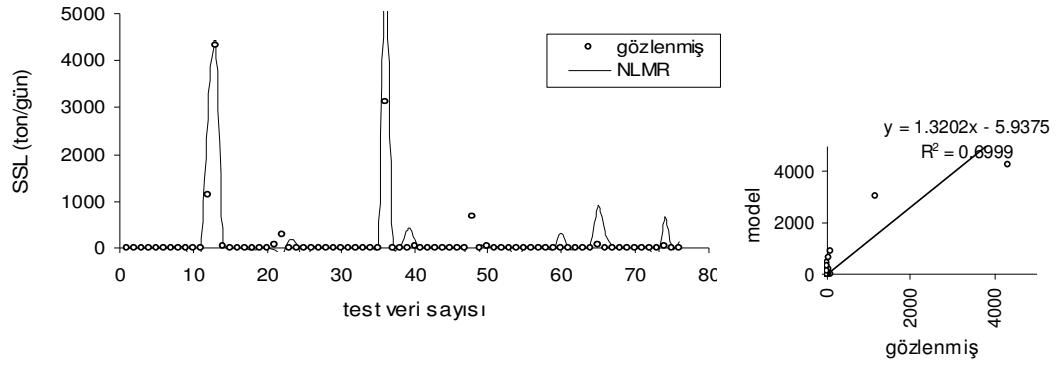
6.4.2.2 Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon (NLMR)

EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı istasyonunu tüm çoklu doğrusal olmayan regresyon modelleri Denklem (6.3-6.7) kurulduğunda, yine 6.5 denklemi ile gösterilen model yüksek determinasyon katsayısı vermiştir. Buna göre Tablo 6.45'deki tüm senaryolara bu model uygulandığında, Ek-10 elde edilmiştir. Ek-10'dan da görüldüğü gibi, en iyi modellemeyi ($R^2=0,63$) senaryo Sim II-2'de Denklem 6.20 ile gerçekleşmektedir. NLMR ile ilgili sonuçlar Tablo 6.49 ve Şekil 6.38'den görülmektedir.

$$SSL = 70,36P_{(t)} + 143,76Q_{(t)} - 136,9Q_{(t-1)} - 3,16P_{(t)}^2 + 0,21Q_{(t)}^2 + 1,26Q_{(t-1)}^2 - 3,844 \quad (6.20)$$

Tablo 6.49 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için NLMR sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,63	0,70	1.280	570	376	182



Şekil 6.38 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda NLMR ile modelleme

Şekil 6.38'den de görüldüğü üzere NLMR modeli 4.315 ton/gün olan pik değeri 4.310 ton/gün olarak tahmin etmiş fakat kimi noktalarda aşırı tahminde bulunmuştur.

6.4.3 Yapay Zeka Metotları

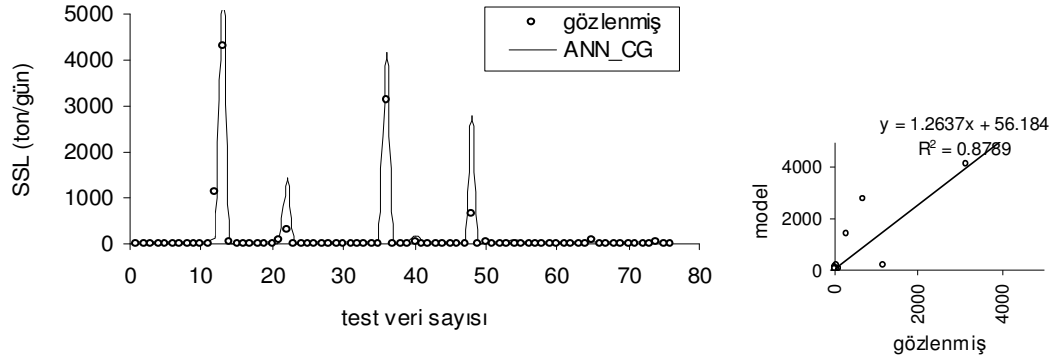
6.4.3.1 ANN

Büyük Menderes Nehri 701-Çine Çayı, Kayırlı istasyonunda yağış ve akım verileri kullanılarak oluşturulan ANN modelinde eğitim ve test setindeki veriler diğer istasyonlarda olduğu gibi $[0,1; 0,9]$ aralığında ölçeklendirilmiş, ağız eğitiminde sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve tek saklı tabaka kullanılırken, saklı tabakada 2'den 10'a kadar değişen sayıda nöron denenmiştir. İterasyon sayıları da diğer istasyonlarda olduğu gibi Conjugate Gradient algoritmasında 500, ve Levenberg Marquardt algoritmasında ise 150 olarak seçilmiştir.

Tablo 6.42'de verilen senaryolara göre uygulanan ANN modelleri ve bulunan performans ölçütleri Ek-15'de yer alırken, burada da yine en iyi performansı veren algoritmalar farklı senaryolarda gerçekleşmektedir. Şöyle ki, en iyi modelleme ANN_CG'de senaryo Sim II-3'de gerçekleşirken, ANN_LM algoritmasında senaryo Sim II-1'de gerçekleşmektedir. ANN_CG ve ANN_LM algoritmaları ile ilgili sonuçlar sırasıyla Tablo 6.50 ve Tablo 6.51'de yer alırken, Şekil 6.39 ve 6.40'da ise modellerin askıda katı maddeyi tahminlemedeki performansı görülmektedir.

Tablo 6.50 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için ANN_CG sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}$ $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,81	0,88	904	344	270	118

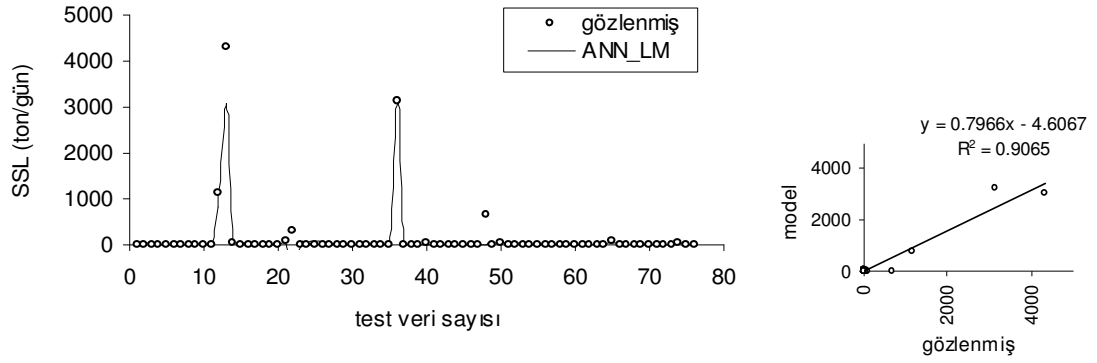


Şekil 6.39 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda ANN_CG ile modelleme

Şekil 6.39'dan da görüldüğü gibi model genel olarak aşırı tahminde bulunmaktadır. Modelin, test setindeki 4.315 ton/gün olan pik değeri de 5.387 ton/gün olarak tahminlediği görülmektedir.

Tablo 6.51 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için ANN_LM sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,81	0,91	924	204	294	61



Şekil 6.40 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda ANN_LM ile modelleme

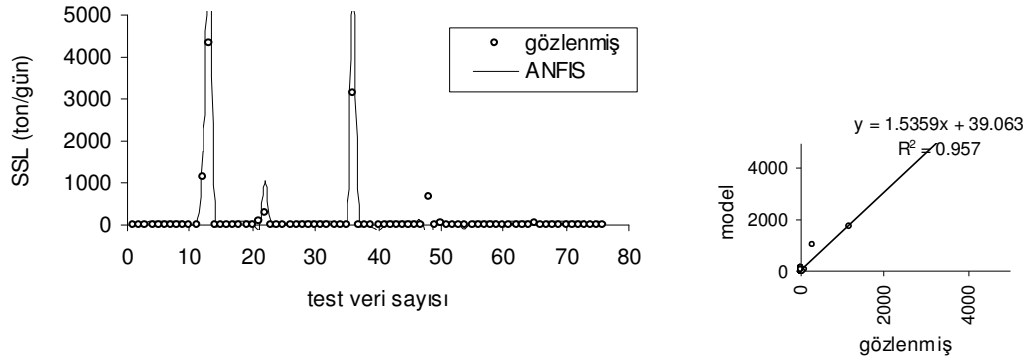
ANN_LM modelinin de performansı ANN_CG modelinden daha iyidir. Model, test setindeki 4.315 ton/gün olan pik değeri 3.066 ton/gün olarak tahmin etmiş olmakla birlikte determinasyon katsayısı daha yüksektir.

6.4.3.2 ANFIS.

Ek-20'de görüldüğü üzere ANFIS modelinde en iyi performans determinasyon katsayısı açısından Senaryo Sim II-1'de sağlanmıştır. $P_{(t)}$, $Q_{(t)}$ girdileri için (4-3) adet genelleştirilmiş çan eğrisi (gbellmf) üyelik fonksiyonu kullanılarak Tablo 6.52'de verilen performans ölçütleri elde edilmiştir. Şekil 6.41'de Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı istasyonu için ANFIS model sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.52 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için ANFIS sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R^2		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,73	0,957	1.105	403	299	152



Şekil 6.41 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda ANFIS ile modelleme

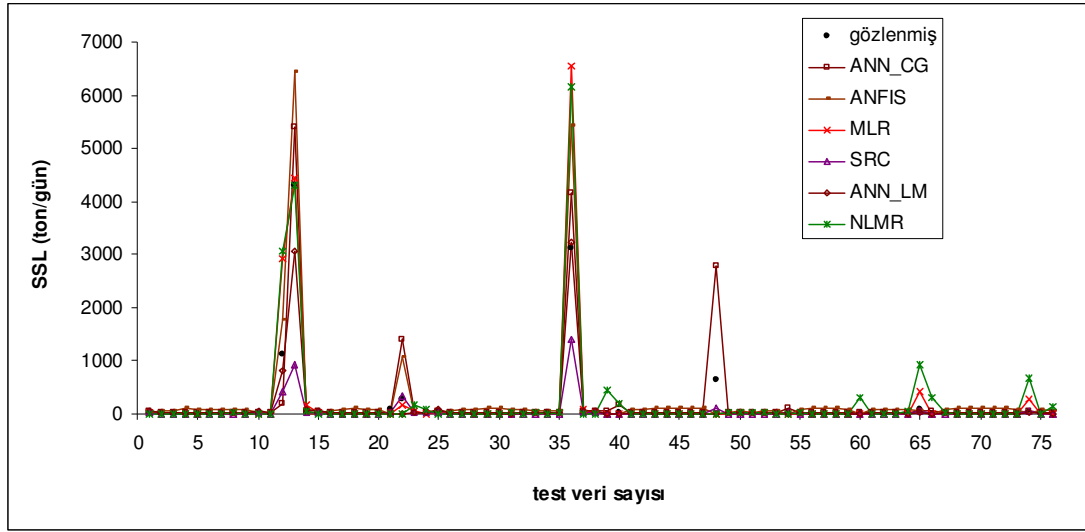
Şekil 6.41'den görüldüğü gibi ANFIS modelinde determinasyon katsayısı her ne kadar yüksek olsa da askıda katı madde gidiş grafiğinden modelin aşırı tahminleme yaptığı görülmektedir. Model, test setindeki 4.315 ton/gün olan pik değeri 6.439 ton/gün olarak tahminlemektedir.

6.4.4 Değerlendirme

Değerlendirme bölümünde yine tüm modellerin performans ölçütleri birlikte değerlendirilmiş ve Tablo 6.53 hazırlanmıştır. Burada istasyon akımlarına pınar katkısı olduğu göz önünde tutulmalıdır. Modeller, performans ölçütleri ve askıda katı madde davranışını yansıtmaya açısından incelendiğinde yine yapay zeka modellerinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Yapay sinir ağları modellerinden ANN_LM modelinin eklenik hata ve determinasyon katsayısı ölçütlerinde ANN_CG'den daha başarılıdır. Şekil 6.42'de tüm model sonuçları görülmektedir.

Tablo 6.53 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda tüm modellerin sonuçları

Modeller	R ²	RMSE ton/gün	MAE ton/gün	Eklenik Hata	Determinasyon Denklemi
ANFIS	0,96	403	152	-90	$y = 1,54x + 39,06$
ANN_CG	0,88	344	118	-68	$y = 1,26x + 56,18$
ANN_LM	0,91	204	61	16	$y = 0,80x - 4,6$
SRC	0,86	448	89	63	$y = 0,29x + 9,98$
MLR	0,71	633	288	-51	$y = 1,42x - 177,75$
NLMR	0,70	570	182	-70	$y = 1,32x - 5,93$



Şekil 6.42 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda tüm modeller

6.4.5 Ampirik Yaklaşımlar

Bu bölümde yine Büyük Menderes Nehrine ait karakteristikleri özetleyen Tablo 5.19 ve 5.20 dikkate alınmıştır. Veri dönemine ait enkesit bilgilerinin bulunduğu Tablo 5.24'de sunulan 73 adet askıda katı madde gözlemine 3.22-3.26 denklemleri sırasıyla uygulanmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 6.54'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde yine tüm modellerin aşırı tahminleme yaptığı görülmektedir. Eklenik yük, determinasyon katsayısı ve toplam yük performans ölçütleri dikkate alındığında söz konusu dört ampirik yaklaşımdan en iyi sonuçları veren bağıntı bu istasyonda da yine Brooks metodudur. Tablo 6.55'de Genetik Algoritma kalibrasyon katsayısı yer alırken Tablo 6.56 ve Şekil 6.43'de de Genetik Algoritma ile iyileştirilmiş Brooks metodu sonuçları ve ANN ile ANFIS karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 6.54 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R²
Lane&Kalinske	389.520	465.929	-67.239	28.477.198	42.290	0,50
Einstein	230.058	191.230	-39.712	16.836.538	42.290	0,46
Brooks	6.257	2.143	-1.080	499.048	42.290	0,55
Chang, Simons & Richardson	7.120	2.459	-1.485	670.503	42.290	0,51

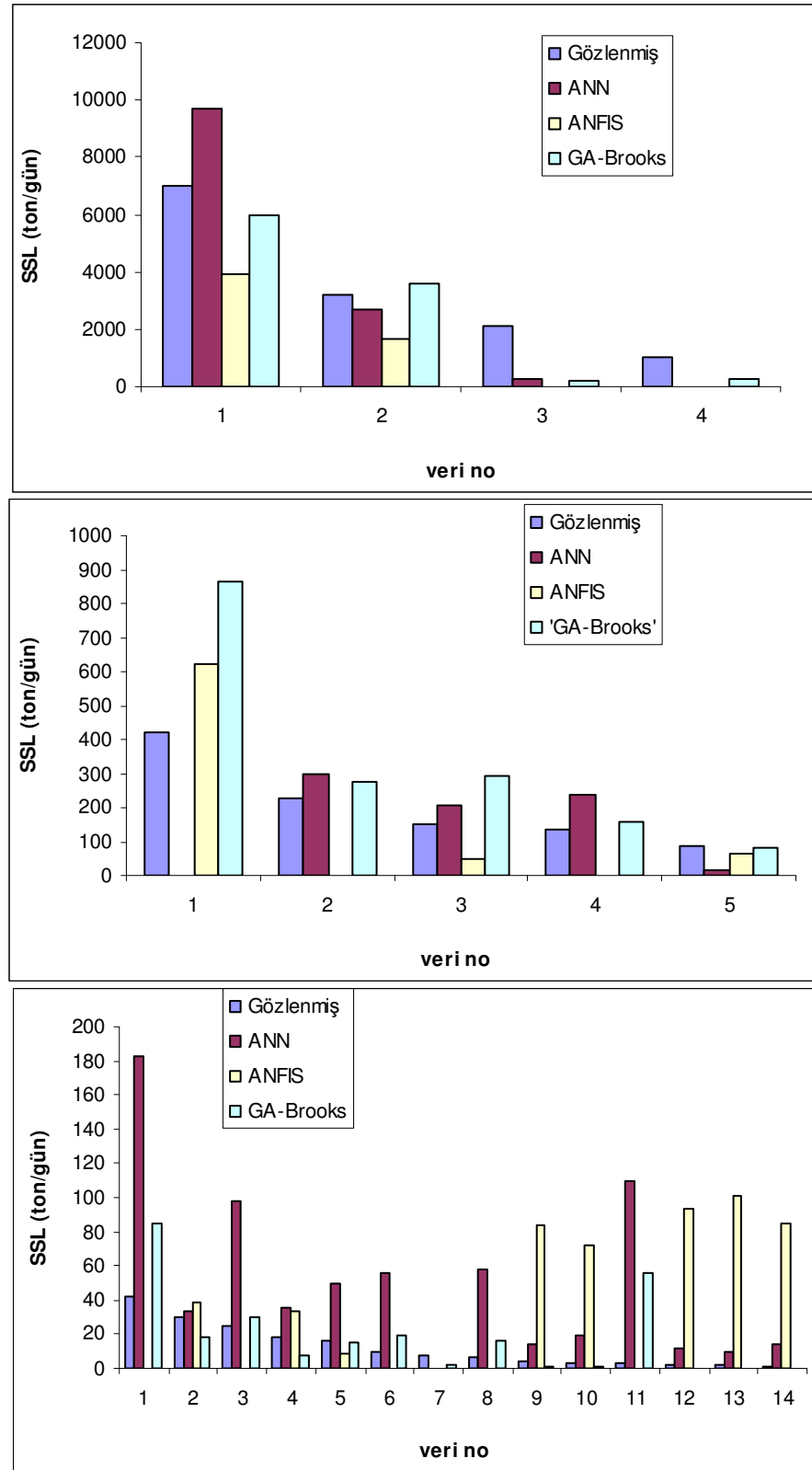
Tablo 6.55 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'na ait kalibrasyon ve test veri sayıları ile Genetik Algoritma düzeltme katsayıları

İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (Fc)
EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu	73	50	23	0,0591

Tablo 6.56 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda test setinde GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R²
GA-Brooks	212	143	18	11.910	14.532	0,91
ANN	313	444	3	14.109	14.532	0,90
ANFIS	392	1.215	53	6.815	14.532	0,89

Tablo 6.56 ve Şekil 6.43 incelendiğinde tüm performans ölçütleri açısından GA-Brooks metodunun, ANN modeli kadar başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.43 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu test verilerinde GA-Brooks ile ANN, ANFIS Modellerinin karşılaştırılması

BÖLÜM YEDİ

BÖLGESEL ÇALIŞMA

Ampirik yöntemlerden Brooks metodunun iyileştirme çalışmalarında uygulanan Genetik Algoritma yönteminde bölgedeki akarsuların memba ve mansaptaki dört istasyonu için farklı katsayıların elde edilmiş olması (Tablo 7.1), her ne kadar bu havzalar Ege Bölgesi içinde yer alsalar da, bu istasyonlarda boyuna eğim, bitki örtüsü, ortalama dane çapı ve su kalitesi gibi askıda katı madde taşınımını birebir etkileyen parametrelerinin farklı oluşu ile açıklanabilir (Tablo 5.17-5.20).

Tablo 7.1 Tüm istasyonlara ait Genetik Algoritma düzeltme katsayıları

İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (Fc)
EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu	63	42	21	0,0636
EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu	68	48	20	1,096
EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu	60	41	19	0,5431
EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu	73	50	23	0,0591

Büyük Menderes Nehri'nin membasında yer alan 701 no'lu istasyonda akımlara pınar katkısı olduğu, ayrıca Gediz Nehri mansabında yer alan 518 no'lu istasyonun, Demirköprü Barajından kaynaklanan bir düzenlemenin etkisi altında olduğu da göz önünde tutulmalıdır. Yine Gediz Nehri mansabında yer alan 518 no'lu istasyon ile Küçük Menderes Nehri'nde yer alan 601 no'lu istasyonda endüstriyel, tarımsal ve evsel atıkların olduğu, bu atıkların askıda giden katı madde tanecikleri ile de taşındığı bilinmektedir. Bununla birlikte her bir istasyon için ayrı ayrı iyileştirilen Brooks metodu sonuçları, altıncı bölümde de verildiği gibi yapay zeka metotlarının sonuçları ile oldukça uyumludur. Ampirik model çalışmasının sonucunda, ampirik yaklaşımlardan Brooks yönteminin Ege Bölgesindeki akarsulara uygulanabileceği, ancak sonuçların değerlendirilmesinde havza özelliklerini temsil eden akım ve sediment karakteristiklerinin göz önünde bulundurulması gerektiği belirlenmiştir.

Havzalarda, tüm istasyonlar için tek tek uyguladığımız ampirik yaklaşımlar, bizi bölgesel bir çalışma yapmaya, havzalardaki memba ve mansap istasyonlarını bir arada düşünmeye sevk etmiştir.

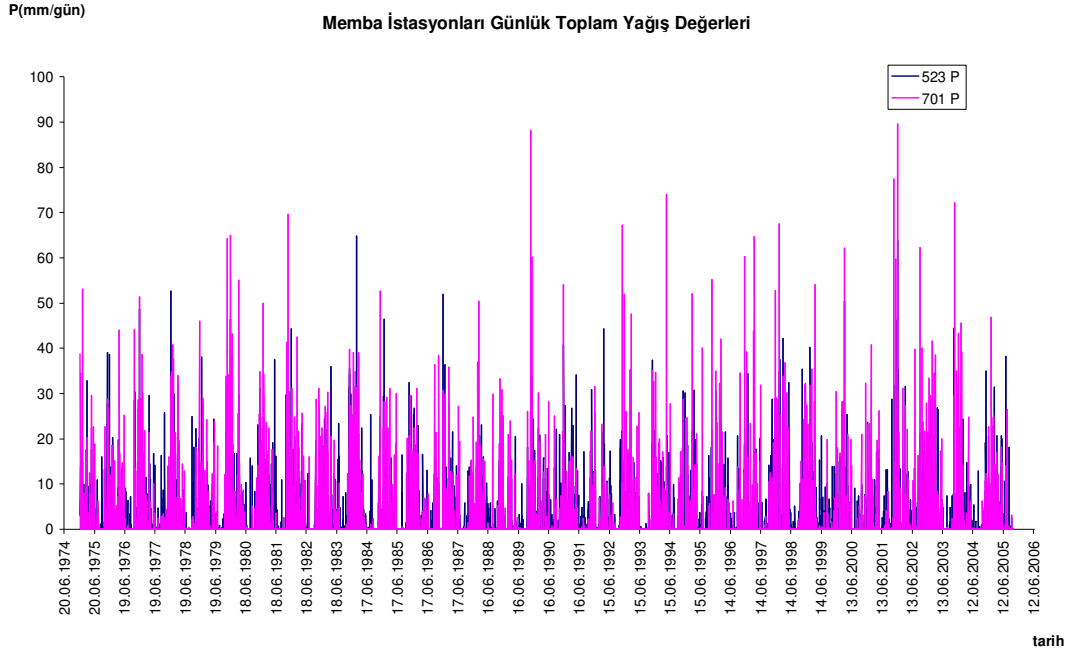
Bölgesel analizde amaçlanan Ege Bölgesi için çalışma alanını oluşturan tüm istasyonların memba, mansap ve tüm istasyonlar başlıkları altında hem ANN, ANFIS hem de Ampirik bağıntılardan Brooks metodu ile modellenmesidir. Bu bağlamda bölgedeki istasyonlardan membada yer alanlar memba istasyonları ve mansapta kalanlar mansap istasyonları olarak değerlendirilmiştir. Bölüm 7.1’de yapay zeka metotları, Bölüm 7.2’de ise ampirik metotlardan Brooks metodu ile yapılan bölgesel çalışma yer almaktadır.

7.1 Yapay Zeka Metotları ile Bölgesel Çalışma

7.1.1 Memba Yaklaşımı

Gediz Nehri’nde 523 ve Büyük Menderes Nehri’nde 701 no’lu istasyonlar (Şekil 4.1 ve 4.15), havzaların membasında yer almalarından dolayı memba yaklaşımında birlikte düşünülmüş, ilk önce bu istasyonlardaki yağış, akım ve askıda katı madde gözlem değerlerinin hangi aralıklarda değiştiği görsel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 7.1-7.3). Memba istasyonlarını oluşturan istasyonların karakteristikleri kısaca özetlenecek olursa Gediz Nehri 523 no’lu istasyonun 373 metre yükseltisi vardır ve net yağış alanı 3272 km²’dir. Diğer istasyon, Büyük Menderes Akarsuyu’nun Çine Çayı üzerinde yer alan EİE’ ye ait 701 no’lu akım gözlem istasyonudur, yükseltisi 262 metre olup, yağış alanı 948 km²’dir. 523 no’lu istasyonda ölçülen maksimum akım Şekil 7.2 ve 7.3’den görüldüğü gibi 876 m³/s, maksimum askıda katı madde 98.409 ton/gün iken, 701 istasyonunda ölçülen maksimum akım 250 m³/s ve istasyonda ölçülen maksimum askıda katı madde 18.682 ton/gün’dür. 523 no’lu istasyonun boyuna eğimi % 0.3, Manning pürüzlülük katsayısı 0,04’dür. 701 no’lu istasyonda ise, boyuna eğimi % 0.5, Manning pürüzlülük katsayısı 0,035’dir (Tablo 5.17 ve 5.19). Bu değerler her ne kadar birbirine yakın olsa da istasyonlarda gözlenen maksimum akım ve askıda katı madde değerleri Şekil 7.2 ve 7.3’den

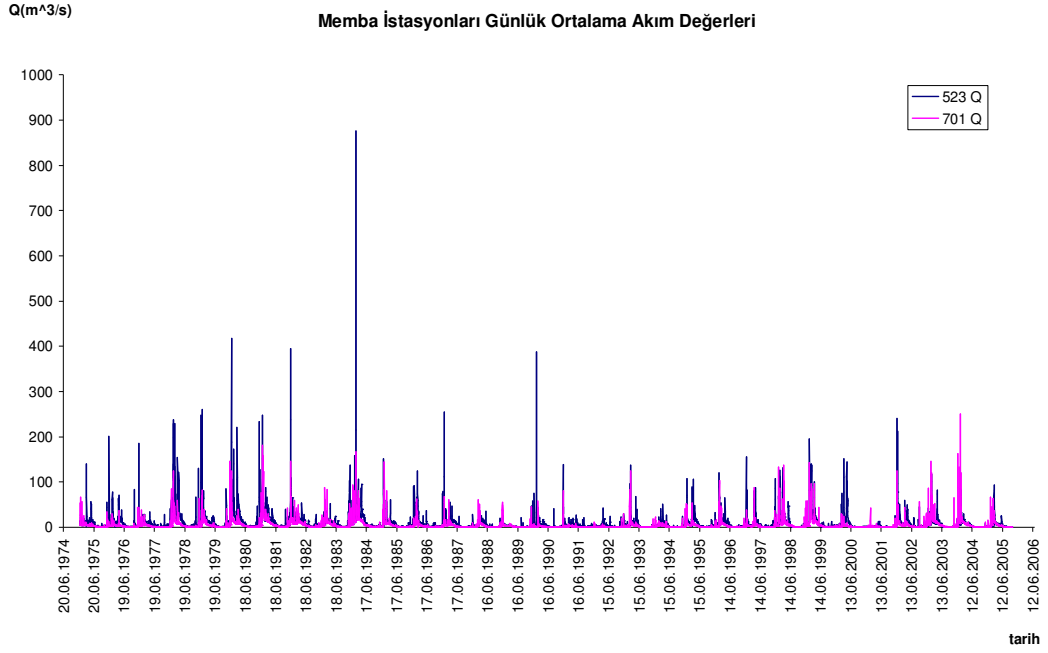
görüldüğü gibi birbirinden çok farklıdır. Yine aynı şekilde bu iki istasyonda gözlenen yatak yükü dane çapları 523 no'lu istasyon için 1,3 mm, 701 no'lu istasyon için 0,14 mm ve askıda katı madde dane çapları 523 için 0,1182, 701 için 0,319 mm'dir (Tablo 5.18 ve 5.20). İstasyonların bu dane çapı değerleri de birbirinden oldukça farklıdır.



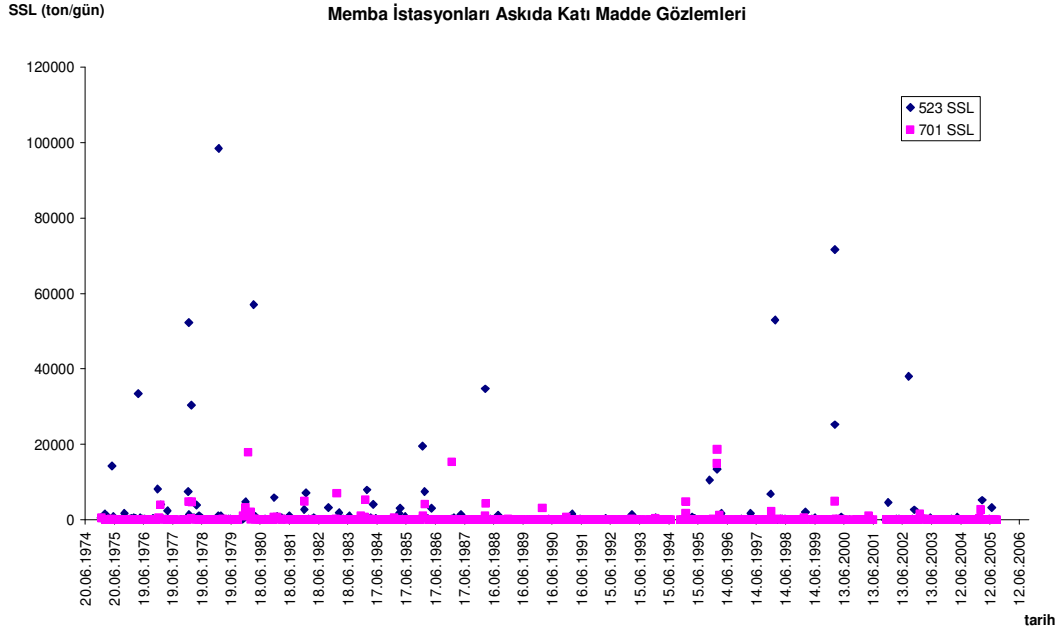
Şekil 7.1 Memba İstasyonları'nda (523-701) gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi

Memba istasyonunu oluşturan toplam 730 veri çiftinin, Tablo 7.2'deki girdi değişkenlerinin en büyük, en küçük ve ortalama değerleri de dikkate alınarak 548'i eğitim setinde, diğer 182'si de test setinde kalacak şekilde veri seti oluşturulmuştur.

Senaryolar ise 523 ve 701 no'lu istasyonların özelliklerine bağlı olarak Tablo 7.3'de gösterildiği gibi oluşturulmuş ve 6. bölümde yapılan çalışmalardan yola çıkılarak ANN modellerinden Conjugate Gradient ile ANFIS modelleri kurulmuştur.



Şekil 7.2 Memba İstasyonları'nda (523-701) gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 7.3 Memba İstasyonları'nda (523-701) gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi

Tablo 7.2 Memba İstasyonları'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	x_{max}	x_{min}
Eğitim	Ocak 1975-Aralık 1990 Ocak 1999-Eylül 2005	$P_{(t)}$	2,48	6,56	2,65	3,27	38,6	0
		$P_{(t-1)}$	2,63	7,49	2,85	4,24	59,7	0
		$Q_{(t)}$	9,26	15,81	1,71	4,91	195	0,03
		$Q_{(t-1)}$	9,99	23,28	2,33	6,48	241,0	0,07
		$SSL_{(t)}$	1.320,3	7.045,6	5,34	9,15	98.409,17	0,14
Test	Ocak 1991-Aralık 1998	$P_{(t)}$	2,63	6,98	2,65	4,56	59,0	0
		$P_{(t-1)}$	2,75	7,37	2,67	4,19	55,2	0
		$Q_{(t)}$	6,96	14,43	2,07	4,88	114,0	0,05
		$Q_{(t-1)}$	6,54	13,49	2,06	5,73	126,0	0,04
		$SSL_{(t)}$	780,11	4.492,8	5,76	9,49	52.997,25	0,20

Burada en çok dikkati çeken askıda katı madde yükünün değişkenlik ve çarpıklık değerlerinin tek istasyon istatistiklerine göre daha fazla olmasıdır. Değişkenlik ve çarpıklık değerlerinin fazla olmasının, askıda katı madde davranışını modelleyen yapay zeka uygulamalarını güçleştirdiği bilinmektedir (Alp ve Ciğizoglu, 2007).

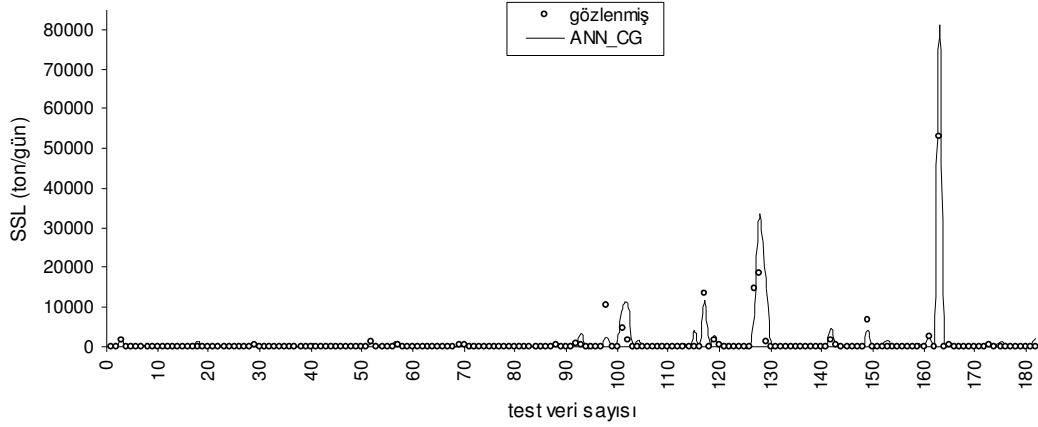
Tablo 7.3 Memba İstasyonları'nda model girdi senaryoları

Senaryolar	Senaryo Adları	Girdi değişkenleri
Senaryo I	Sim I-1	$Q_{(t)}$
	Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
Senaryo II	Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$
	Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$

Tablo 7.4'de ANN_CG modelinin performans ölçütleri ile Şekil 7.4'de de ANN_CG modelinin test setindeki sonuçları görülmektedir.

Tablo 7.4 Memba İstasyonları için ANN_CG sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,73	0,90	3.642	2.898	934	787

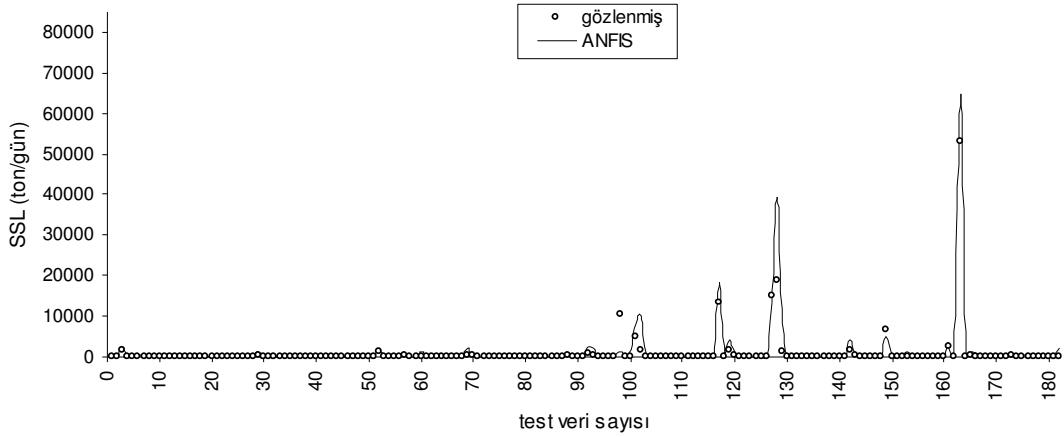


Şekil 7.4 Memba İstasyonları'nda test setinde ANN_CG ile modelleme

ANFIS modelinde $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$ girdileri için (2-3) adet Gauss üyelik fonksiyonu kullanılarak Tablo 7.5'de verilen performans ölçütleri elde edilmiştir. Şekil 7.5'de de memba istasyonları için ANFIS modelinin test setindeki sonuçları görülmektedir.

Tablo 7.5 Memba İstasyonları için ANFIS sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,63	0,91	4.281	2.155	1.070	575



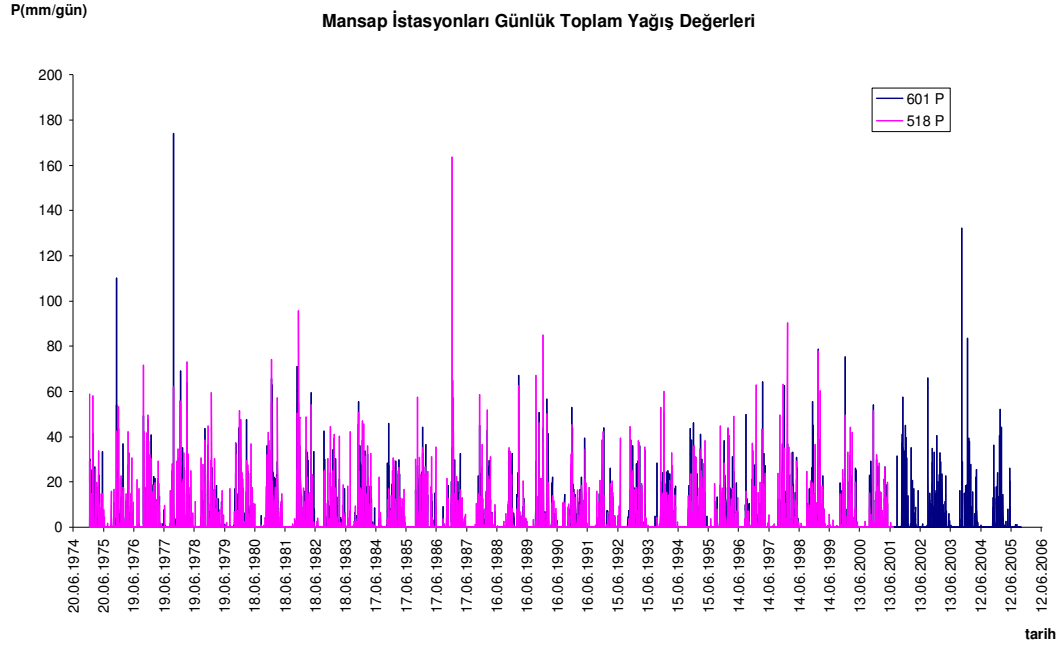
Şekil 7.5 Memba İstasyonları'nda test setinde ANFIS ile modelleme

Yapay zeka modellerinin her ne kadar test setindeki performans ölçütleri iyi olsa da, modellerin bazı pikleri yakalayamadıkları bazıları ise fazla tahminledikleri görülmektedir.

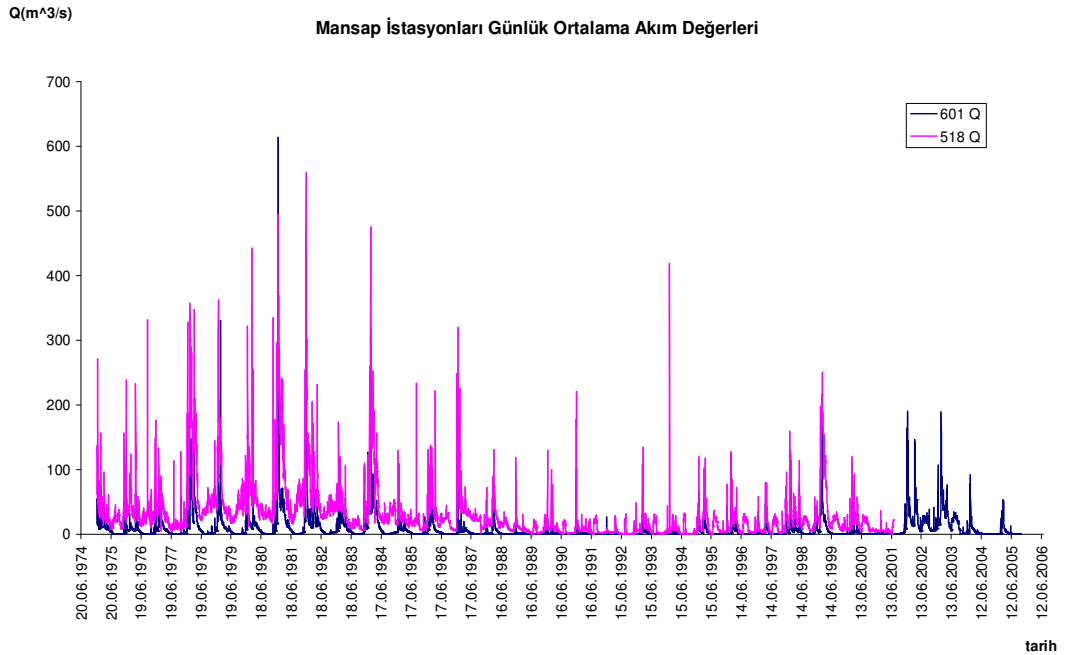
7.1.2 Mansap Yaklaşımı

Gediz Nehri'nde 518 ve Küçük Menderes Nehri'nde 601 no'lu istasyonlar (Şekil 4.1 ve 4.10), havzaların mansabında yer almalarından dolayı birlikte düşünülmüş, ilk olarak bu istasyonlardaki yağış, akım ve askıda katı madde gözlem değerlerinin hangi aralıklarda değiştiği görsel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 7.6-7.8). Mansap istasyonlarını oluşturan istasyonların karakteristikleri kısaca özetlenecek olursa Gediz Nehri 518 no'lu istasyonun 23 metre yükseltisi vardır ve net yağış alanı 15616 km²'dir. Diğer istasyon, Küçük Menderes Akarsuyu üzerinde yer alan EİE' ye ait 601 no'lu akım gözlem istasyonudur, yükseltisi 4 metre olup, yağış alanı 3255 km²'dir. Şekil 7.9 ve 7.10'dan görüldüğü gibi 518 no'lu istasyonda ölçülen maksimum akım 559 m³/s, maksimum askıda katı madde 35.060 ton/gün iken, 601 istasyonunda ölçülen maksimum akım 614 m³/s ve istasyonda ölçülen maksimum askıda katı madde 35.506 ton/gün' dür. 518 no'lu istasyonun boyuna eğimi % 0,08, Manning pürüzlülük katsayısı 0,025'dir. 601 no'lu istasyonda ise, boyuna eğimi % 0,06 Manning pürüzlülük katsayısı 0,025'dir (Tablo 5.17 ve 5.19). Hem bu değerler, hem de istasyonlarda gözlenen maksimum akım ve özellikle askıda katı madde değerleri birbirine çok yakındır. Yine aynı şekilde bu iki istasyonda gözlenen yatak

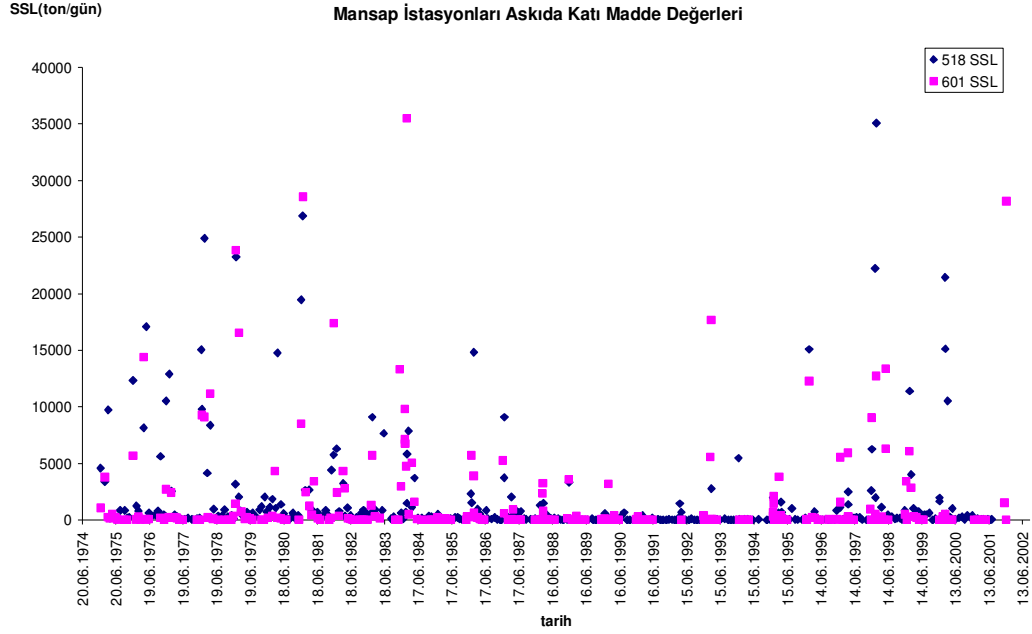
yükü çapları 518 no'lu istasyon için 0,098 mm, 601 no'lu istasyon için 0,18 mm ve askıda katı madde dane çapları 518 için 0,19496 mm, 601 için 0,1723 mm'dir (Tablo 5.18 ve 5.20).



Şekil 7.6 Mansap İstasyonları'nda (518-601) gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi



Şekil 7.7 Mansap İstasyonları'nda (518-601) gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi



Şekil 7.8 Mansap İstasyonları'nda (518-601) gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi

Mansap istasyonunu oluşturan veriler, 518 no'lu istasyonun 2001 yılında kapatılması nedeniyle 1975-2001 yılları ile sınırlandırılmıştır. Tablo 7.6'daki girdi değişkenlerinin en büyük, en küçük ve ortalama değerleri de dikkate alınarak 586 veri çiftinin 464'ü eğitim setinde, diğer 122'si de test setinde kalacak şekilde veri seti oluşturulmuştur. Senaryolar da ise 518 ve 601 no'lu istasyonların özelliklerine bağlı olarak akımın iki gün önceki değeri de dikkate alınmış ve Tablo 7.7 oluşturulmuştur.

Tablo 7.6 Mansap İstasyonları'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	X_{max}	X_{min}
Eğitim	Ocak 1975-Aralık 1989 Ocak 1996-Aralık 2001	$P_{(t)}$	3,45	9,68	2,8	4,49	77,9	0
		$P_{(t-1)}$	4,35	11,16	2,57	4,10	90,4	0
		$Q_{(t)}$	33,53	49,17	1,48	3,33	349,0	0,17
		$Q_{(t-1)}$	32,78	52,14	1,59	3,93	475,0	0,01
		$Q_{(t-2)}$	30,58	45,93	3,48	1,5	333	0
		$SSL_{(t)}$	2.129,0	4.989,9	2,34	3,69	35.505,91	0,30
Test	Ocak 1990-Aralık 1995	$P_{(t)}$	2,81	8,14	2,90	3,97	56,6	0
		$P_{(t-1)}$	2,48	7,90	3,19	4,06	50,7	0
		$Q_{(t)}$	10,14	15,04	1,48	3,39	108,0	0,04
		$Q_{(t-1)}$	9,79	14,66	1,50	3,12	90,0	0,05
		$Q_{(t-2)}$	9,66	17,79	5,08	1,84	135	0,01
		$SSL_{(t)}$	488,29	1.811,6	3,71	7,62	17.661,55	0,32

Askıda katı madde yükünün değişkenlik ve çarpıklık değerleri tek istasyon istatistiklerinden test setinde biraz fazla olmakla birlikte, eğitim setinde bu değerler neredeyse aynıdır. Bu da yapay zeka modellerinin mansapda memba istasyonlarından daha iyi sonuç vereceği şeklinde yorumlanabilir.

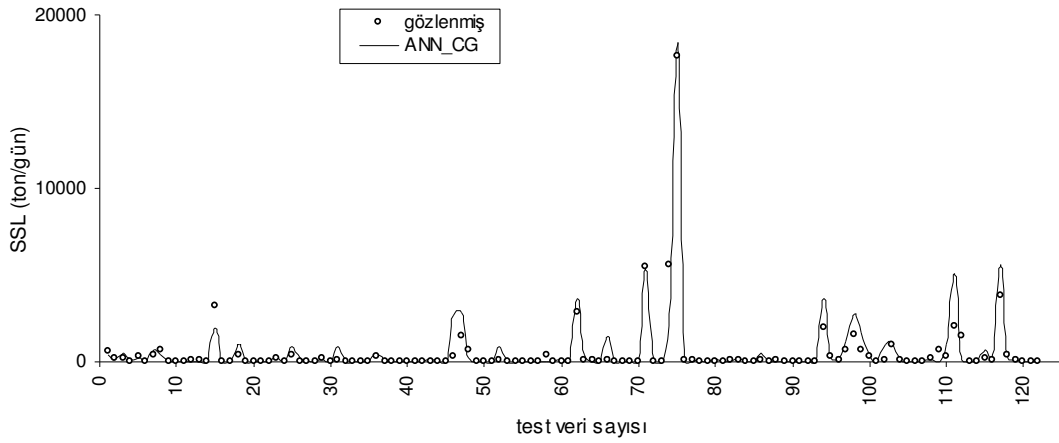
Tablo 7.7 Mansap İstasyonları'nda model girdi senaryoları

Senaryolar	Senaryo Adları	Girdi değişkenleri
Senaryo I	Sim I-1	$Q_{(t)}$
	Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	Sim I-3	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$
Senaryo II	Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$
	Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$

ANN_CG modelinin performans ölçütleri Tablo 7.8’de yer alırken, Şekil 7.9’da da ANN_CG modelinin test setindeki sonuçları görülmektedir.

Tablo 7.8 Mansap İstasyonları için ANN_CG sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-3	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,76	0,89	2.447	637	1.145	274

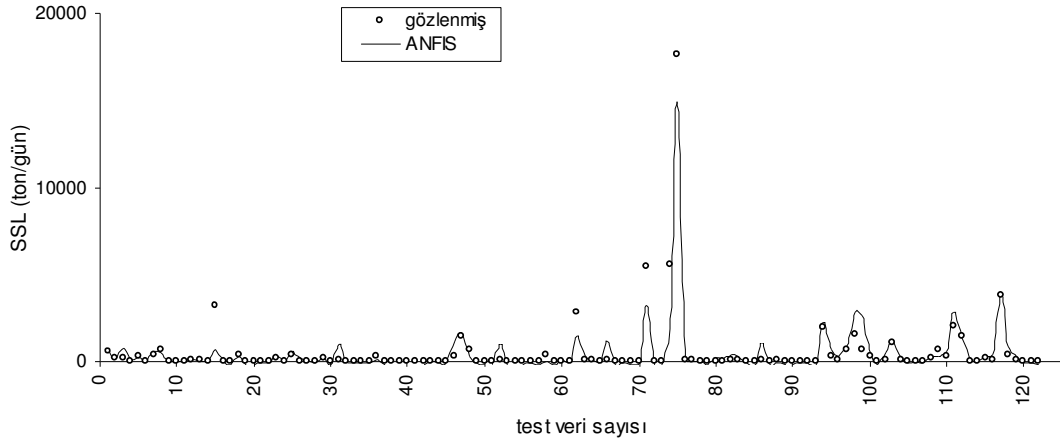


Şekil 7.9 Mansap İstasyonları’nda test setinde ANN_CG ile modelleme

Mansap yaklaşımının ANFIS modelinde ise $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$ girdileri için (3-4) adet Gauss üyelik fonksiyonu kullanılarak Tablo 7.9’da verilen performans ölçütleri elde edilmiştir. Şekil 7.10’da da mansap istasyonları için ANFIS modelinin test setindeki sonuçları görülmektedir.

Tablo 7.9 Mansap İstasyonları için ANFIS sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,66	0,89	2.928	630	1.438	311



Şekil 7.10 Mansap İstasyonları'nda test setinde ANFIS ile modelleme

Memba ve mansap istasyonlarında yapay zeka model sonuçları (Tablo 7.4 ile Tablo 7.8 ve Tablo 7.5 ile Tablo 7.9) karşılaştırıldığında mansap istasyonlarındaki sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir.

7.1.3 Tüm İstasyonların Birlikte Düşünüldüğü Yaklaşım

Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü bu yaklaşımda toplam 1228 veri çiftinin 1070'i eğitimde, 158'i test setinde kalacak şekilde veri seti oluşturulmuştur. Burada da yine veriler 2001 yılı ile sınırlandırılmıştır. Bu veri setine ait istatistik değerleri ve oluşturulan senaryolar sırasıyla Tablo 7.10 ve Tablo 7.11'de verilmektedir.

Tablo 7.10 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	x_{max}	x_{min}
Eğitim	Ocak 1975-Aralık 1990 Ocak 1995-Aralık 2001	$P_{(t)}$	3,13	8,51	2,72	4,25	77,9	0
		$P_{(t-1)}$	3,58	9,60	2,69	4,19	90,4	0
		$Q_{(t)}$	20,22	36,96	1,83	4,49	349,0	0,03
		$Q_{(t-1)}$	20,13	39,23	1,95	5,09	475,0	0,01
		$Q_{(t-2)}$	19,21	36,44	1,90	4,41	333,0	0
		$SSL_{(t)}$	1.692,3	6.191,3	3,66	8,04	98.409,17	0,14
Test	Ocak 1991-Aralık 1994	$P_{(t)}$	1,51	4,90	3,24	4,92	35,80	0
		$P_{(t-1)}$	1,59	5,45	3,43	5,94	50,7	0
		$Q_{(t)}$	5,54	11,1	2,0	5,97	108,0	0,04
		$Q_{(t-1)}$	5,19	9,23	1,78	4,72	78,80	0,04
		$Q_{(t-2)}$	5,84	15,11	2,59	7,21	135,0	0,01
		$SSL_{(t)}$	273,19	1.550,7	5,68	9,63	17.661,55	0,20

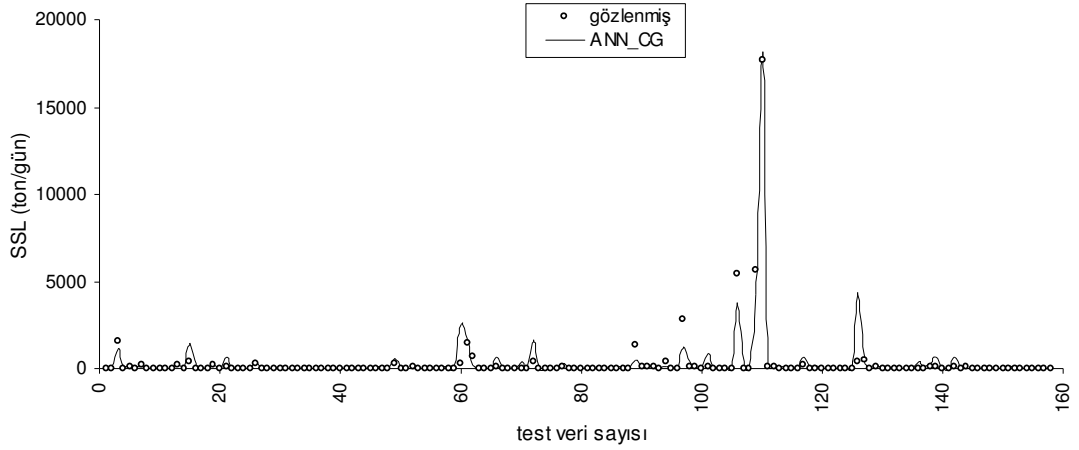
Tablo 7.11 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda model girdi senaryoları

Senaryolar	Senaryo Adları	Girdi değişkenleri
Senaryo I	Sim I-1	$Q_{(t)}$
	Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	Sim I-3	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$
Senaryo II	Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$
	Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$
	Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$

ANN_CG modelinin performans ölçütleri Tablo 7.12'de yer alırken, Şekil 7.11'de de ANN_CG modelinin test setindeki sonuçları görülmektedir.

Tablo 7.12 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşım için ANN_CG sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,66	0,91	3.607	468	1.106	152

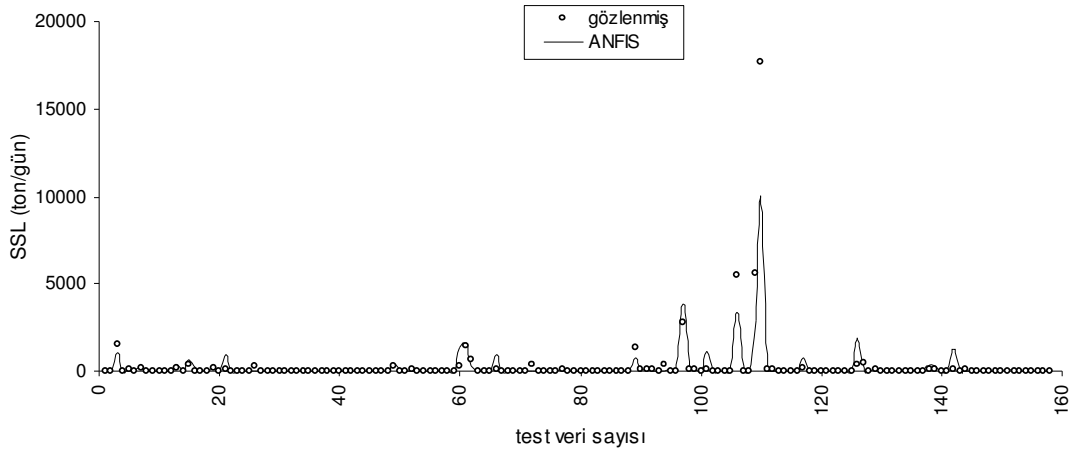


Şekil 7.11 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda test setinde ANN_CG ile modelleme

Tüm istasyonların verilerinin birlikte düşünüldüğü yaklaşımının ANFIS modelinde ise $P_{(t)}, Q_{(t)}$ girdileri için (3-5) adet Gauss üyelik fonksiyonu kullanılarak Tablo 7.13’de verilen performans ölçütleri elde edilmiştir. Şekil 7.12’de de tüm istasyon verileri için ANFIS modelinin test setindeki sonuçları görülmektedir.

Tablo 7.13 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşım için ANFIS sonuçları

Senaryo	Model Girdileri	R ²		RMSE (ton/gün)		MAE(ton/gün)	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,50	0,90	4.398	983	1.290	237



Şekil 7.12 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda test setinde ANFIS ile modelleme

Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda tüm ölçütler performans ölçütleri dikkate alındığında ANN_CG modelinin, ANFIS'den daha iyi bir performans gösterdiği ortadadır. Bu model test setindeki pik değerleri de iyi yakalamaktadır.

7.2 Ampirik Metotla Bölgesel Çalışma

İstasyon bazında tek tek yapılan çalışmalarda ampirik yaklaşımlardan Brooks metodunun Ege Bölgesi için uygun olduğu, tüm istasyonlarda iyi sonuç verdiği altıncı bölümde gösterilmişti. Bu bölümde Brooks metodunun bölgesel analize uygun bir şekilde Genetik Algoritma ile iyileştirilmesi söz konusudur. Bu aşamada ilk önce ham verilerle çalışılmıştır. Ham verilerle yapılan çalışmada, genetik algoritma ile iyileştirmede birlikte düşünülen istasyonlardan birinin her zaman Fc katsayısının belirlenmesinde daha baskın olduğu ve yapılan bölgesel çalışmadaki hata oranını artırdığı gözlenmiştir. Modellerin iyi sonuç vermemesinde havza konumu, bitki örtüsü, taşınan katı maddenin dane çapı, yağış, gibi havzayı temsil eden özelliklerinin farklı olmasının etkili olduğu düşünülmüştür. Bu bağlamda, bölgesel çalışmada Genetik Algoritma ile Brooks metodu sonuçlarının iyileştirmesinde gözlenmiş en büyük akım ve yine gözlenmiş en büyük katı madde yüklerinin istasyonlarda çok farklı değerlere sahip olması nedeniyle standardizasyon işlemine gidilmiş, böylece bölgesel analiz çalışmalarında istasyonlarda ölçülen tüm değerleri aynı aralıkta değerlendirebilmek mümkün olmuştur. Burada memba, mansap ve tüm

istasyonlarda gözlenmiş askıda katı madde ($SSL_{göz}$) değerleri ve Brooks metodu (SSL_{Brooks}) sonuçları dikkate alınmış, standartlaştırma işlemi memba, mansap ve tüm istasyonların kendi gözlemleri, ortalama değeri ile oranlanarak gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritma ile bulunan düzeltme katsayısı standardize edilmiş değerler için bulunmuştur. Denklem 7.1-7.4'de standartlaştırma da kullanılan bağıntılar verilmiştir.

$$SSL_{gözstd} = \frac{SSL_{göz}}{SSL_{göz}} \quad (7.1)$$

$$SSL_{Brooksstd} = \frac{SSL_{Brooks}}{SSL_{Brooks}} \quad (7.2)$$

$$SSL_{GA-Brooksstd} = Fc' * SSL_{Brooksstd} \quad (7.3)$$

$$SSL_{GA-Brooks} = SSL_{GA-Brooksstd} * \overline{SSL_{göz}} \quad (7.4)$$

İyileştirme çalışmalarından sonra, Brooks metodunun ham veri kullanılarak iyileştirilmiş hali olan GA-Brooks, standartlaştırılıp iyileştirilmiş hali olan M-Brooks ayrı tablolar halinde ANN, ANFIS ve Brooks metodunun kendisi ile kıyaslanmış, tüm performans kriterleri açısından hem kalibrasyon hem de test verilerinde değerlendirilmiştir.

7.2.1 Memba Yaklaşımı

7.2.1.1 Ham Veri Kullanılarak İyileştirilen Memba Sonuçları

Memba yaklaşımında dikkate alınan istasyonlardan 523 ve 701 için tek istasyon bazında bulunan iyileştirme katsayıları sırasıyla 0,0636 ve 0,059'dur. İki istasyonun Brooks metodundaki toplam veri sayısı 136'dır. Burada yapılan işlem, her bir

istasyonun Brooks metodu sonuçlarını iyileştirmeye çalışmaktadır. Tablo 7.14’de membada kullanılan kalibrasyon ve test veri sayısı ile genetik algoritma katsayısı yer almaktadır. Tablo 7.14’den de görüldüğü gibi iyileştirme katsayısı $F_c=0,059$ olarak bulunmaktadır, bu değer 701 no’lu istasyon için bulunan iyileştirme katsayısı ile aynıdır, 701 no’lu istasyon memba verilerine baskındır. Bu nedenle Bölüm 7.2.2’de standardize edilmiş veri ile çalışılmıştır. Tablo 5.21 ve 5.24’deki enkesit bilgilerinin olduğu tarihlere göre hem kalibrasyon hem de test verisinde ANN, ANFIS, Brooks ve GA-Brooks ile karşılaştırma yapılmıştır. Kalibrasyon ve test verilerine ait Brooks, iyileştirilmiş Brooks (GA-Brooks) ve ANN ile ANFIS sonuçları sırasıyla Tablo 7.15 ve 7.16’da yer almaktadır.

Tablo 7.14 Memba İstasyonları’na ait ham verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları

İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (F_c)
Memba İstasyonları (523-701)	136	92	44	0,059

Tablo 7.15 Memba İstasyonları’nda kalibrasyon verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R^2
Brooks	3.643	1.591	-712	368.937	45.450	0,42
GA-Brooks	394	94	52	21.812	45.450	0,42
ANN	451	1.438	2	44.469	45.450	0,78
ANFIS	937	2.035	-71	77.965	45.450	0,10

Tablo 7.16 Memba İstasyonları’nda test verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R^2
Brooks	8.780	2.010	-1.134	420.348	34.045	0,78
GA-Brooks	367	101	27	24.851	34.045	0,78
ANN	492	1.255	-29	44.093	34.045	0,84
ANFIS	950	1.255	-27	43.458	34.045	0,12

7.2.1.2 Standardizasyonlu Veri Kullanılarak İyileştirilen Memba Sonuçları

Bu bölümde membayı oluşturan istasyonların gözlenmiş SSL ve Brooks metodu SSL değerlerini, Denklem 7.1 ve 7.2’de olduğu gibi ortalama değerlerine bölerek standardizasyon işlemi yapılmıştır. Bu işlemden sonra Genetik Algoritma ile iyileştirme yapılmış ve farklı bir Fc’ katsayısı elde edilmiştir (Tablo 7.17). Denklem 7.3 ve 7.4’de takip edilerek standart değerlerden normal değerlere dönüş yapılmıştır. Sırasıyla kalibrasyon ve test veri iyileştirme sonuçlarının ANN ve ANFIS ile karşılaştırması Tablo 7.18 ve 7.19’dan görülmektedir. Şekil 7.13’de de hem standardizasyonlu (M-Brooks) hem de ham verinin (GA-Brooks) grafiği yer almaktadır.

Tablo 7.17 Memba İstasyonları’na ait standardizasyonlu verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları

İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (Fc’)
Memba İstasyonları (523-701)	136	92	44	0,939

Tablo 7.18 Memba İstasyonları’nda standardizasyonlu verinin kalibrasyon kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

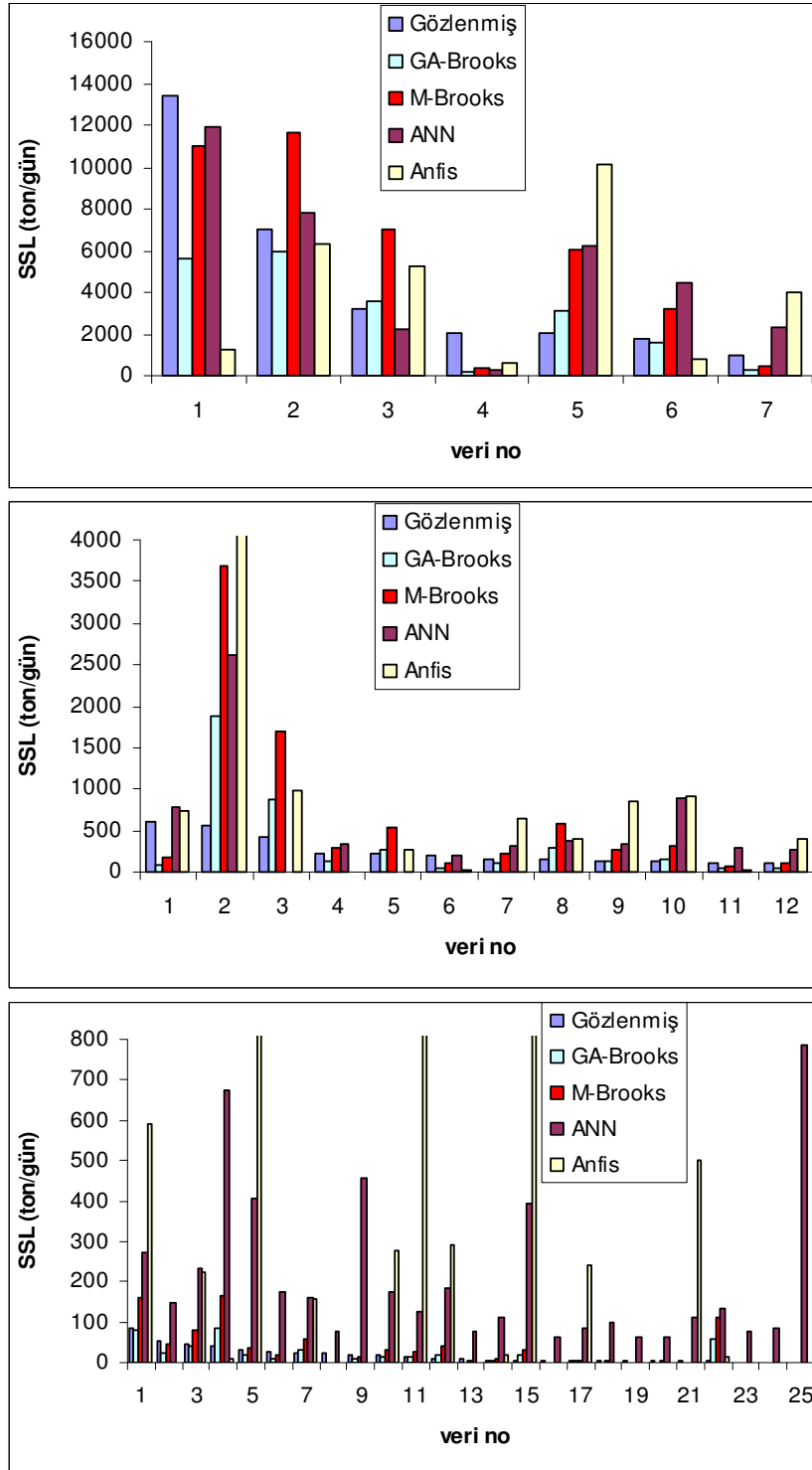
Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Brooks	3.643	1.591	-712	368.937	45.450	0,42
M-Brooks	487	166	6	42.689	45.450	0,42
ANN	451	1.438	2	44.469	45.450	0,78
ANFIS	937	2.035	-71	77.965	45.450	0,10

Tablo 7.19 Memba İstasyonları’nda standardizasyonlu verinin test kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Brooks	8.780	2.010	-1.134	420.348	34.045	0,78
M-Brooks	571	189	-43	48.638	34.045	0,78
ANN	492	1.255	-29	44.093	34.045	0,84
ANFIS	950	1.255	-27	43.458	34.045	0,12

7.2.1.3 Değerlendirme

Ham veri ile yapılan iyileştirmenin tabloları (Tablo 7.15 ve 7.16) ile standardizasyonlu veri ile yapılan iyileştirmenin tabloları incelenecek olursa (Tablo 7.18 ve 7.19) kalibrasyon kısmında standardizasyonlu veri ile yapılan iyileştirme sonuçlarının özellikle eklenik yük performansı açısından oldukça düzeldiği görülebilir. Fakat test kısmında aynı değerlendirmeyi yapmak çok da mümkün değildir. Bölgeye göre iyileştirme yapılmış olmasına rağmen ampirik model sonuçları memba yaklaşımında pek de iyi sonuç vermemiştir. Bunun başlıca nedeni havzaların komşu havzalar olmasına rağmen birbirinden çok farklı yağış ve akış rejimlerine sahip olması ve istasyonlarda gözlenmiş maksimum akım ve SSL değerleri (Şekil 7.2 ve 7.3) ile taşınan dane çaplarının (Tablo 5.18 ve 5.20) birbirinden çok farklı olması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 7.13 Mamba İstasyonları'nda (523-701) tüm modellerin karşılaştırması

7.2.2 Mansap Yaklaşımı

Bölüm 7.1.2’de anlatıldığı gibi mansap yaklaşımında birlikte düşünülen 518 ve 601 no’lu istasyonların yatak yükü dane çapları ve askıda katı madde dane çapları birbirine oldukça yakındır. Fakat yine de tutarlılık olması açısından mansap istasyonlarında da aynı Bölüm 7.2.1’deki memba istasyonlarında olduğu gibi önce ham verilerle sonra standardizasyonu yapılmış verilerle çalışılmıştır.

7.2.2.1 Ham Veri Kullanılarak İyileştirilen Mansap Sonuçları

Mansapta yer alan her bir istasyon için Brooks metoduna göre kalibrasyonda bulunan katsayıları sırasıyla 518 için 1,096 ve 601 için 0,54’dür. İki istasyonun Brooks metodundaki toplam veri sayısı 110 olup, Tablo 7.20’de mansapta kullanılan kalibrasyon ve test veri sayısı ile genetik algoritma katsayısı yer almaktadır. Tablo 7.20’den de görüldüğü gibi iyileştirme katsayısı $F_c=0,543$ olarak bulunmaktadır, bu değer 601 no’lu istasyon için bulunan iyileştirme katsayısı ile aynıdır, burada da 601 no’lu istasyon mansap verilerine baskındır. Bu nedenle Bölüm 7.2.2.2’de standardize edilmiş veri ile çalışılmıştır. Enkesit bilgilerinin olduğu Tablo 5.22 ve 5.24’deki tarihlere göre göre hem kalibrasyon hem de test verilerine ait Brooks, iyileştirilmiş Brooks (GA-Brooks) ve ANN ile ANFIS sonuçları sırasıyla Tablo 7.21 ve 7.22’de yer almaktadır.

Tablo 7.20 Mansap İstasyonlarına ait ham verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları

İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (F_c)
Mansap İstasyonları (518-601)	110	78	32	0,543

Tablo 7.21 Mansap İstasyonları’nda kalibrasyon verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gerçek yük	R^2
Brooks	1.627	85	24	132.390	174.100	0,45
GA-Brooks	1.453	80	58	71.887	174.100	0,45
ANN	1.117	156	12	154.118	174.100	0,73
ANFIS	1.241	152	24	132.188	174.100	0,71

Tablo 7.22 Mansap İstasyonları'nda test verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Brooks	941	64	55	23.946	53.639	0,92
GA-Brooks	1.270	78	76	13.002	53.639	0,92
ANN	1.352	116	23	41.300	53.639	0,46
ANFIS	1.316	125	8	49.372	53.639	0,55

7.2.2.2 Standardizasyonlu Veri Kullanılarak İyileştirilen Mansap Sonuçları

Bu bölümde tıpkı memba istasyonunda anlatıldığı gibi bir program takip edilmiştir. Buna göre elde edilen Fc' katsayısı (Tablo 7.23) ile kalibrasyon ve test veri iyileştirme sonuçlarının ANN ve ANFIS ile karşılaştırması sırasıyla Tablo 7.24, ve 7.25'te verilmiştir. Şekil 7.14'de de hem standardizasyonlu hem de ham verinin grafiği yer almaktadır.

Tablo 7.23 Mansap İstasyonlarına ait standardizasyonlu verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları

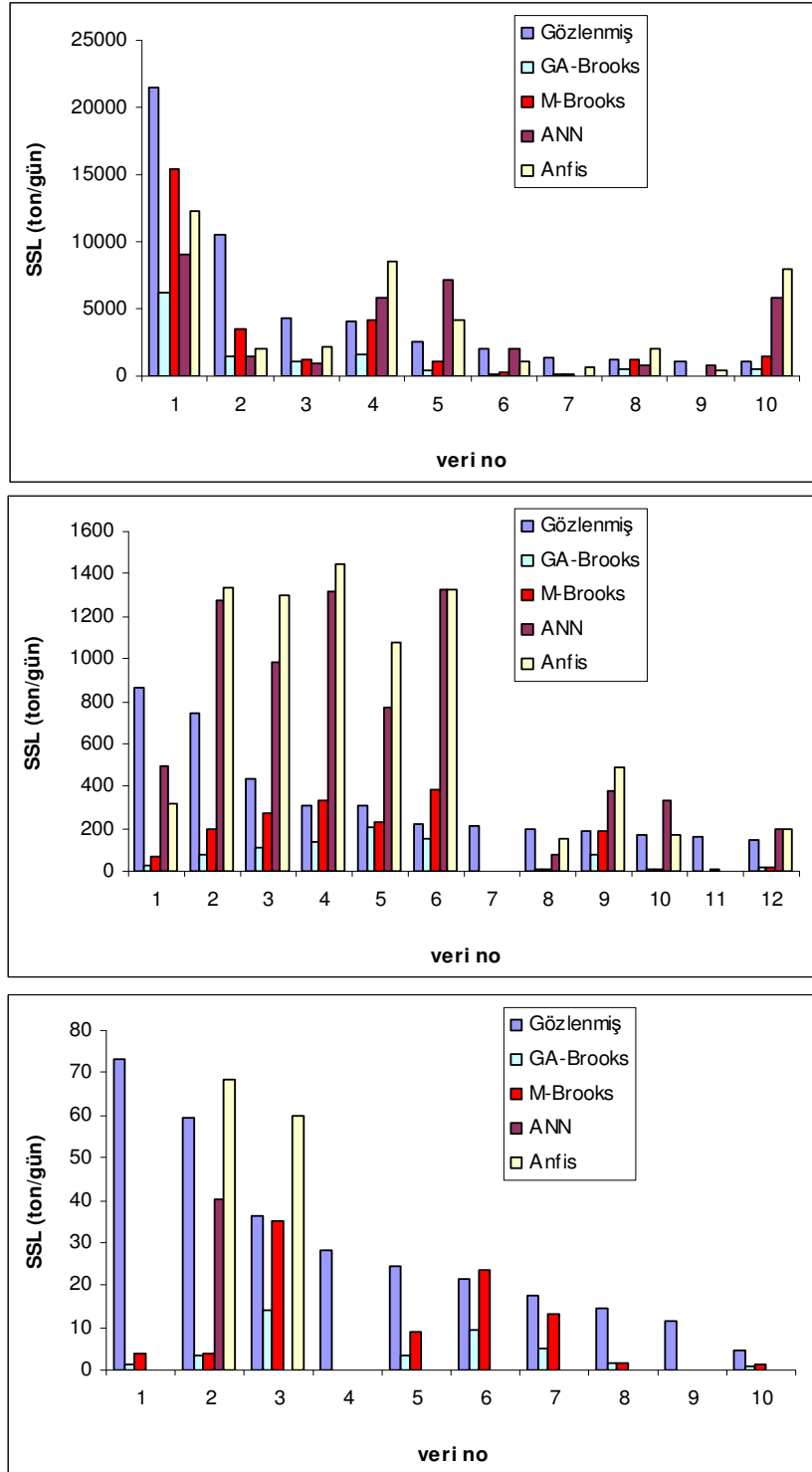
İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (Fc')
Mansap İstasyonları (518-601)	110	78	32	0,698

Tablo 7.24 Mansap İstasyonları'nda standardizasyonlu verinin kalibrasyon kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Brooks	1.627	85	24	132.390	174.100	0,45
M-Brooks	1.407	91	30	121.457	174.100	0,55
ANN	1.117	156	12	154.118	174.100	0,73
ANFIS	1.241	152	24	132.188	174.100	0,71

Tablo 7.25 Mansap İstasyonları'nda standardizasyonlu verinin test kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Brooks	941	64	55	23.946	53.639	0,92
M-Brooks	781	62	43	30.442	53.639	0,92
ANN	1.352	116	23	41.300	53.639	0,46
ANFIS	1.316	125	8	49.372	53.639	0,55



Şekil 7.14 Mansap İstasyonları'nda (518-601) tüm modellerin karşılaştırması

7.2.2.3 Değerlendirme

Mansap istasyonlarının ham veri ile (Tablo 7.15 ve 7.16) ve standardizasyonlu veri ile yapılan iyileştirme tabloları (Tablo 7.18 ve 7.19) incelenirse, standardizasyonlu veri ile yapılan iyileştirmenin hem eğitim hem de test aşamasında eklenik yük performansı ve toplam yük açısından oldukça düzeldiği görülmektedir. Burada istasyonlarda ölçülmüş askıda katı madde ile yatak yükü dane çapı değerlerinin (Tablo 5.18 ve 5.20) birbirine çok yakın olmasının önemi büyüktür. Ayrıca istasyonlarda gözlenmiş maksimum akım ve SSL değerleri de Şekil 7.9 ve 7.10'dan görüldüğü üzere birbirine çok yakındır. Bu yüzden ampirik model çalışmalarında mansap istasyonlarından elde edilen sonuçların başarılı olduğu söylenebilir.

7.2.3 Tüm İstasyonların Birlikte Düşünüldüğü Yaklaşım

Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü bu yaklaşımda da tıpkı memba ve mansap yaklaşımlarında olduğu gibi önce ham verilerle, sonra standardizasyonu yapılmış verilerle çalışılmıştır.

7.2.3.1 Ham Veri Kullanılarak İyileştirilen Tüm İstasyon Sonuçları

Dört istasyonun Brooks metodundaki toplam veri sayısı 212 olup, Tablo 7.26'da tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda kullanılan kalibrasyon ve test veri sayısı ile genetik algoritma katsayısı yer almaktadır. Tablo 7.26'dan da görüldüğü gibi iyileştirme katsayısı $F_c=0,25$ olarak bulunmaktadır. Ham veri kullanılarak yapılan iyileştirme sonuçları Tablo 7.27 ve 7.28'da yer almaktadır.

Tablo 7.26 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşıma ait ham verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları

İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (F_c)
Tüm İstasyonlar (523-518-601-701)	212	138	74	0,25

Tablo 7.27 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda kalibrasyon verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Brooks	2.652	707	-87	399.572	213.644	0.25
GA-Brooks	1.374	195	53	99.905	213.644	0.25
ANN	934	196	0.33	212.984	213.644	0.67
ANFIS	997	150	12	188.815	213.644	0.61

Tablo 7.28 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda test verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Brooks	5.053	629	-365	400.120	86.024	0.25
GA-Brooks	1.514	169	-16	100.042	86.024	0.25
ANN	947	273	-11	95.686	86.024	0.50
ANFIS	823	141	-14	98.229	86.024	0.65

7.2.3.2 Standardizasyonlu Veri Kullanılarak İyileştirilen Tüm İstasyon Sonuçları

Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşıma ait standardizasyonlu veri kullanılarak yapılan iyileştirmede de tıpkı diğer memba ve mansap bölgesel çalışmalarında anlatıldığı gibi bir program takip edilmiştir. Buna göre elde edilen Fc' katsayısı (Tablo 7.29) ile kalibrasyon ve test veri iyileştirme sonuçlarının ANN ve ANFIS ile karşılaştırması sırasıyla Tablo 7.30 ve 7.31'de verilmiştir. Şekil 7.15'de de hem standardizasyonlu hem de ham verinin grafiği yer almaktadır.

Tablo 7.29 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşıma ait standardizasyonlu verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları

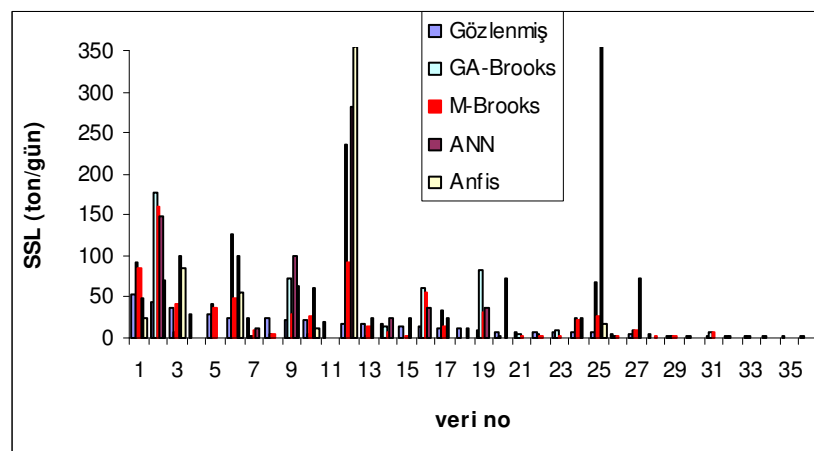
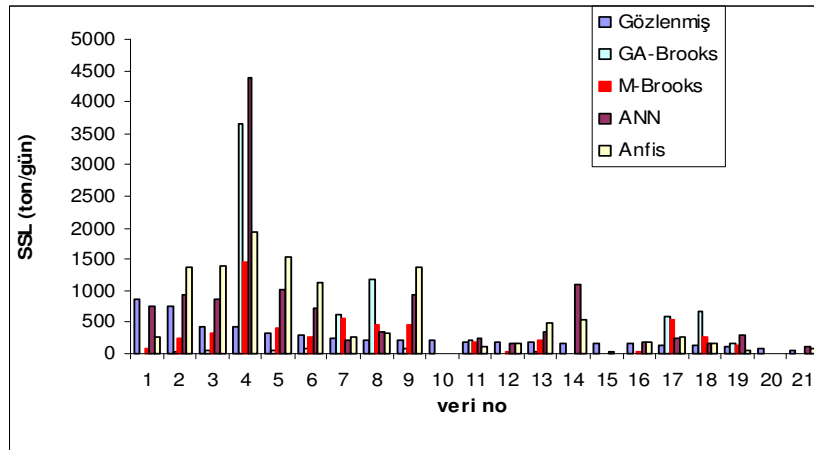
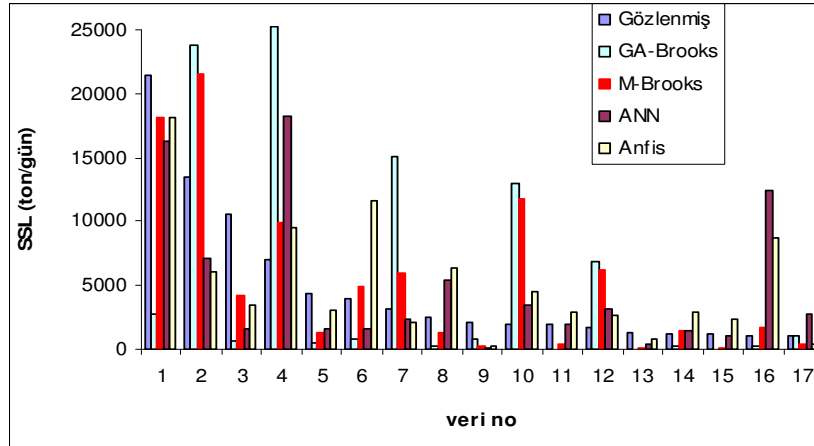
İstasyon	Veri sayısı	Kalibrasyon veri sayısı	Test veri sayısı	Kalibrasyon katsayısı (Fc')
Tüm İstasyonlar (523-518-601-701)	212	138	74	0,822

Tablo 7.30 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda standardizasyonlu verinin kalibrasyon kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R ²
Brooks	2.652	707	-87	399.572	213.644	0,25
M-Brooks	1.155	142	18	175.702	213.644	0,54
ANN	934	196	0.33	212.984	213.644	0,67
ANFIS	997	150	12	188.815	213.644	0,61

Tablo 7.31 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda standardizasyonlu verinin test kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması

Modeller	MAE	MARE %	CME %	Σ yük	Σ gercek yük	R^2
Brooks	5.053	629	-365	400.120	86.024	0,25
M-Brooks	745	99	-11	96.105	86.024	0,74
ANN	947	273	-11	95.686	86.024	0,50
ANFIS	823	141	-14	98.229	86.024	0,65



Şekil 7.15 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda (523-518-601-701) tüm modellerin karşılaştırması

7.2.3.3 Değerlendirme

Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda ham veri ile (Tablo 7.27 ve 7.28) ve standardizasyonlu veri ile yapılan iyileştirme tabloları (Tablo 7.30 ve 7.31) incelenirse, standardizasyonlu veri ile yapılan iyileştirmenin hem eğitim hem de test aşamasında eklenik yük performansını ve toplam yükü düzettiği görülmektedir.

Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları istasyonlardan tek bir günde alınan numuneler üzerinde yapılmıştır. Geçmiş yıllarda ölçümlere ait dane çaplarına dair herhangi bir bilgiye erişilemediğinden istasyonlarda belirlenen dane çaplarının tüm akım koşullarında geçerli olduğu kabul edilmiştir. Yapılan bu kabulün etkisini, yani ampirik bağıntıların dane çaplarına ne kadar bağlı olduğunu belirlemek üzere bir sonraki bölümde duyarlılık analizi yapılmıştır.

7.3 Duyarlılık Analizi

Nagy vd., 2002 çalışmalarında toplam sediment yükü ile ilgili yaptıkları duyarlılık analizinde akarsu hidroliğinde en etkin parametreleri birim genişlik debisi (q), akım derinliği (h), akarsu boyuna eğimi (S), kayma gerilmesi (τ), ortalama dane çapı (d), suyun özgül ağırlığı (γ), sedimentin özgül ağırlığı (γ_s), kinematik viskozite (ν), yerçekimi ivmesi (g), ve çökme hızı (ω) olarak belirlemişlerdir. Askıda katı madde taşınımında tüm bunlara ilaveten yatak yükü (q_{bw}) ile yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyon (Ca) parametrelerinin de düşünülmesi gerekmektedir.

Doğal akarsularda su ve sedimentin özgül ağırlığının değişmediği, kayma gerilmesinin kayma hızına bağlı olduğu, kayma gerilmesi hızının ise Denklem 3.29'da belirtildiği gibi boyuna eğim, yerçekimi ivmesi ve derinliğin bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Bu bölümde yapılan duyarlılık analizinde, akım ve sediment karakteristiklerine ait parametrelerden hangisinin Brooks metodu üzerinde diğerlerine nazaran daha etkin bir parametre olduğunun bulunması hedeflenmektedir. Bunun için duyarlılık analizinde boyuna eğim, özgül ağırlık, kinematik viskozite gibi akarsu ve sedimentin genel, fazla değişiklik göstermeyen karakteristik

parametrelerinden ziyade, her ölçümde değişiklik gösterebilecek dane çapı değerleri, ve buna bağlı olarak çökme hızı üzerinde durulmuştur. Literatürden yapılan araştırmalar, sediment taşınım problemlerinde ve depolamadaki en önemli fiziksel parametrenin dane çapı olduğunu göstermektedir. Sediment partikülünün dane çapı, o partikülün akımın hidrolik karakteristikleri etkisiyle ne zaman ve ne şekilde hareket edeceğini ve depolanacağını belirler. Askıda taşınan malzemenin dane çaplarının, rezervuardaki yığılmanın dağılımı ve toplam hacim üzerinde önemli etkileri vardır. Askıda taşınan katı maddenin dane çapı öncelikli olarak çökme hızını etkiler (Altınbilek, 1988).

İstasyonlara yapılan arazi çalışmaları yağışlı dönemlere rastlamakla birlikte, tek bir dane çapını yansıtır. Ampirik yöntemlere ait yapılan hesaplamalar, bu dane çapının akarsu genelinde yıl boyunca taşınan dane çapı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Akım durumuna bağlı olarak gerek yatak yükü, gerekse askıda katı madde dane çaplarında taşınan sediment yükünü etkileyecek büyük farklılıklar söz konusu olabilir (Brownlie, 1981). Bu nedenle 523 no'lu istasyonda çeşitli akımlarda taşınan sediment yükünün dane çapından ne kadar değiştiğini belirlemek üzere 63 veriden 10 değişik akım değerinden oluşan bir kontrol düzeneği hazırlanmıştır.

1)Öncelikli olarak askıda katı madde dane çapı değerleri (d_{90}), %10, 20, 30, 40 artırılıp, azaltılmıştır. Askıda katı madde dane çapı değerinin değişmesi en başta çökme hızını (ω) etkilemektedir. Tablo 7.32 ve 7.33'de askıda katı madde dane çapının ($d_{90}=0,1182$ mm) % 10, 20, 30, 40 artırılması ve azaltılması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğini % olarak ifadesi yer almaktadır. Tablolarda ayrıca artırılmış ve azaltılmış askıda dane çapları ile çökme hızları yer almaktadır.

2)İkinci kısımda yatak yükü dane çapı değiştirilmiştir. Yatak yükü dane çapının değişmesi ilk olarak yatak yükü kalınlığının (a) ve Meyer Peter yatak yükünün değişmesine (q_{bw}), buna bağlı olarak yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyonun (Ca) değişmesine neden olmaktadır (Tablo 7.34 ve 7.35). Buradaki

tablolarda artırılmış ve azaltılmış yatak yükü dane çapları ile yatak yükü tabaka kalınlıkları yer almaktadır.

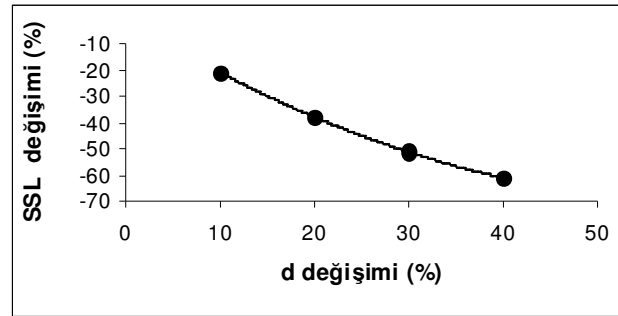
Tablo 7.32 ve Şekil 7.16'den görüldüğü üzere askıda katı madde dane çapının % 10, 20, 30, 40 artırılması halinde Brooks metodu sonuçları sırasıyla % 20, 38, 50 ve 61 oranlarında azalmaktadır. Aynı şekilde Tablo 7.33 ve Şekil 7.17 incelendiğinde de askıda katı madde dane çapının % 10, 20, 30, 40 azaltılması halinde Brooks metodu sonuçlarının % 27, 57, 91 ve 129 oranlarında arttığı görülür. Bu da bize askıda katı madde dane çapının özellikle daha düşük olması durumunda Brooks metodu sonuçlarında % 100'e varan değişiklikler olacağını gösterir. Askıda katı madde dane çap değerinin ölçülenden daha düşük olması, Brooks metodu sonuçlarını çap değerinin daha büyük olmasından daha fazla etkilemektedir.

Diğer yandan Tablo 7.34 ve Şekil 7.18 incelendiğinde yatak yükü dane çapının ($d_{b50}=1,3$ mm) % 10, 20, 30, 40 artırılması halinde Brooks metodu sonuçları sırasıyla % 9, 17, 24 ve 30 oranlarında azalmaktadır. Aynı şekilde Tablo 7.35 ve Şekil 7.19 incelendiğinde de yatak yükü dane çapının % 10, 20, 30, 40 azaltılması halinde Brooks metodu sonuçlarının % 11, 24, 41 ve 62 oranlarında arttığı görülür.

Bu sonuçlar gösteriyor ki, yatak yükü dane çapının ölçülenden % 40 kadar büyük olması durumu Brooks metodu sonuçlarını % 30, küçük olması durumu da % 60 oranında değiştirebilmektedir. Benzer şekilde askıda katı madde dane çapının ölçülenden % 40 kadar büyük olması Brooks metodu sonuçlarını % 60 ve küçük olması durumu da % 130 değiştirebilmektedir. Bu nedenle ampirik metotların uygulanışında bu iki parametre değerinin gerçeğe uygun elde edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Tablo 7.32 Askıda katı madde dane çapının ($d_{90}=0,1182$ mm) % 10,20,30,40 artırılması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğini % olarak ifadesi

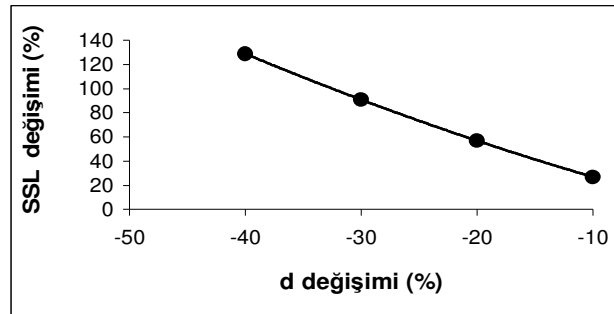
Sıra No	Q	SSL gözlenmiş	Orijinal Brooks sonuçları	% 10 artış (Brooks hesaplanan)	% azalma	% 20 artış (Brooks hesaplanan)	% azalma	% 30 artış (Brooks hesaplanan)	% azalma	% 40 artış (Brooks hesaplanan)	% azalma
1	14,9	10512,45	4808,77	3895,95	0,19	3124,52	0,35	2505,57	0,48	2009,02	0,58
2	63,5	13435,64	95335,76	77849,50	0,18	62987,71	0,34	50963,09	0,47	41234,03	0,57
3	29,2	1657,03	19309,28	15568,72	0,19	12692,20	0,34	10133,82	0,48	8174,54	0,58
4	6,43	199,72	888,44	717,74	0,19	573,91	0,35	458,85	0,48	366,82	0,59
5	10,4	232,73	2452,71	2007,47	0,18	1627,21	0,34	1305,38	0,47	1058,00	0,57
6	16,9	65,12	6591,16	5362,85	0,19	4413,74	0,33	3557,70	0,46	2897,26	0,56
7	11,8	2657,74	2888,57	2217,83	0,23	1664,38	0,42	1261,91	0,56	956,67	0,67
8	12,3	127,79	3158,09	2424,06	0,23	1818,60	0,42	1378,43	0,56	1044,68	0,67
9	6,52	19,54	641,10	485,95	0,24	363,54	0,43	269,18	0,58	203,39	0,68
10	11,4	650,54	2187,26	1670,51	0,24	1246,74	0,43	940,06	0,57	708,74	0,68
				- 0,21		- 0,38		- 0,51		- 0,61	
Askıda katı madde dane çapı (d_{90})			0,1182	0,13		0,142		0,154		0,165	
Çökeltme hızları (ω)			0,0123	0,0145		0,0168		0,0191		0,0214	



Şekil 7. 16 Askıda katı madde dane çapının (d) artışının (%) Brooks Metodu sonuçlarına olan etkisi (%)

Tablo 7.33 Askıda katı madde dane çapının ($d_{90}=0,1182$ mm) % 10,20,30,40 azalması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğini % olarak ifadesi

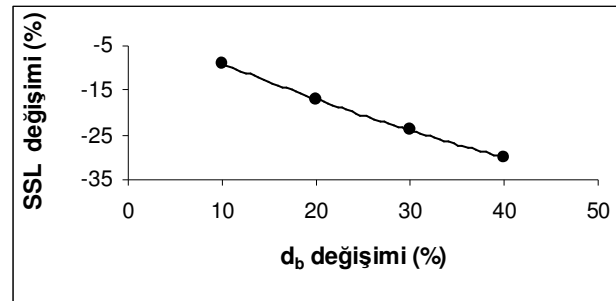
Sıra No	Q	SSL gözlenmiş	Orijinal Brooks sonuçları	% 10 azalış (Brooks hesaplanan)	% artış	% 20 azalış (Brooks hesaplanan)	% artış	% 30 azalış (Brooks hesaplanan)	% artış	% 40 azalış (Brooks hesaplanan)	% artış
1	14,9	10512,453	4808,77	5997,94	0,25	7288,35	0,52	8750,26	0,82	10303,72	1,14
2	63,5	13435,645	95335,76	116749,71	0,22	139590,49	0,46	165065,32	0,73	191750,20	1,01
3	29,2	1657,028	19309,28	23948,56	0,24	28956,17	0,50	34602,07	0,79	40575,09	1,10
4	6,43	199,721	888,44	1111,31	0,25	1353,79	0,52	1629,18	0,83	1922,46	1,16
5	10,4	232,727	2452,71	3028,25	0,23	3646,85	0,49	4341,61	0,77	5074,03	1,06
6	16,9	65,123	6591,16	8100,80	0,23	9716,47	0,47	11524,02	0,75	13422,77	1,03
7	11,8	2657,739	2888,57	3761,76	0,30	4792,40	0,66	6014,64	1,08	7368,94	1,55
8	12,3	127,785	3158,09	4113,94	0,30	5242,40	0,66	6580,98	1,08	8064,51	1,55
9	6,52	19,533	641,10	845,67	0,32	1089,63	0,70	1382,12	1,16	1709,46	1,66
10	11,4	650,541	2187,26	2863,53	0,31	3665,11	0,68	4620,00	1,11	5682,43	1,59
				0,27		0,57		0,91		1,29	
Askıda katı madde dane çapı (d_{90})			0,1182	0,1064		0,0946		0,0827		0,0709	
Çökme hızları (ω)			0,0123	0,0101		0,00817		0,00633		0,00472	



Şekil 7. 17 Askıda katı madde dane çapının (d) azalışının (%) Brooks Metodu sonuçlarına olan etkisi (%)

Tablo 7.34 Yatak yükü dane çapının ($d_{b50}=1,3$ mm) % 10,20,30,40 artırılması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğini % olarak ifadesi

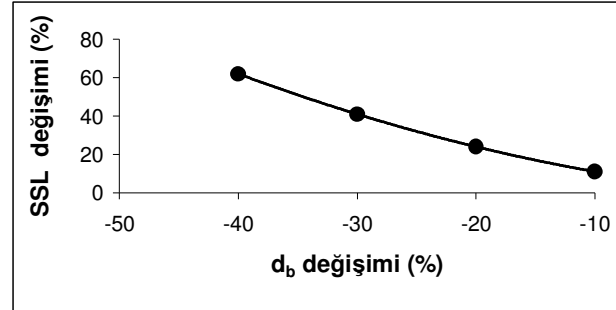
Sıra No	Q	SSL gözlenmiş	Orijinal Brooks sonuçları	% 10 artış (Brooks hesaplanan)	% azalma	% 20 artış (Brooks hesaplanan)	% azalma	% 30 artış (Brooks hesaplanan)	% azalma	% 40 artış (Brooks hesaplanan)	% azalma
1	14,9	10512,453	4808,77	4373,84	0,09	4003,33	0,17	3683,42	0,23	3404,04	0,29
2	63,5	13435,645	95335,76	87590,79	0,08	81018,01	0,15	75362,36	0,21	70438,71	0,26
3	29,2	1657,028	19309,28	17683,05	0,08	16299,56	0,16	15106,41	0,22	14065,51	0,27
4	6,43	199,721	888,44	796,13	0,10	717,39	0,19	649,35	0,27	589,90	0,34
5	10,4	232,727	2452,71	2218,27	0,10	2018,71	0,18	1846,55	0,25	1696,32	0,31
6	16,9	65,123	6591,16	5999,79	0,09	5496,93	0,17	5063,46	0,23	4685,49	0,29
7	11,8	2657,739	2888,57	2630,00	0,09	2409,08	0,17	2217,80	0,23	2050,33	0,29
8	12,3	127,785	3158,09	2877,38	0,09	2637,55	0,16	2429,90	0,23	2248,09	0,29
9	6,52	19,533	641,10	574,38	0,10	517,30	0,19	467,84	0,27	424,53	0,34
10	11,4	650,541	2187,26	1985,24	0,09	1812,52	0,17	1662,89	0,24	1531,83	0,30
					- 0,09		- 0,17		- 0,24		- 0,30
Yatak yükü dane çapı (d_{b50})			1,3	1,43		1,56		1,69		1,82	
Yatak yükü tabak kalınlığı (a)			2,6	2,86		3,12		3,38		3,64	



Şekil 7.18 Yatak yükü dane çapının (d_b) artışının (%) Brooks Metodu sonuçlarına olan etkisi (%)

Tablo 7.35 Yatak yükü dane çapının ($d_{b50}=1,3$ mm) % 10,20,30,40 azaltılması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğini % olarak ifadesi

Sıra No	Q	SSL gözlenmiş	Orijinal Brooks sonuçları	% 10 azalış (Brooks hesaplanan)	% artış	% 20 azalış (Brooks hesaplanan)	% artış	% 30 azalış (Brooks hesaplanan)	% artış	% 40 azalış (Brooks hesaplanan)	% artış	
1	14,9	10512,453	4808,77	5327,68	0,11	5959,24	0,24	6747,37	0,40	7763,20	0,61	
2	63,5	13435,645	95335,76	104614,84	0,10	115960,50	0,22	130191,50	0,37	148639,43	0,56	
3	29,2	1657,028	19309,28	21252,47	0,10	23621,54	0,22	26583,58	0,38	30409,62	0,57	
4	6,43	199,721	888,44	998,39	0,12	1131,91	0,27	1298,10	0,46	1511,60	0,70	
5	10,4	232,727	2452,71	2732,64	0,11	3073,61	0,25	3499,46	0,43	4048,82	0,65	
6	16,9	65,123	6591,16	7298,13	0,11	8160,49	0,24	9239,30	0,40	10633,68	0,61	
7	11,8	2657,739	2888,57	3196,07	0,11	3568,98	0,24	4032,50	0,40	4627,28	0,60	
8	12,3	127,785	3158,09	3491,92	0,11	3896,79	0,23	4400,05	0,39	5045,85	0,60	
9	6,52	19,533	641,10	720,30	0,12	816,14	0,27	934,93	0,46	1086,83	0,69	
10	11,4	650,541	2187,26	2427,31	0,11	2718,19	0,24	3079,36	0,41	3542,26	0,62	
					0,11			0,24			0,41	0,62
Yatak yükü dane çapı (d_{b50})			1,3	1,17		1,04		0,91		0,78		
Yatak yükü tabak kalınlığı (a)			2,6	2,34		2,08		1,82		1,56		



Şekil 7.19 Yatak yükü dane çapının (d_b) azalışının (%) Brooks Metodu sonuçlarına olan etkisi (%)

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLAR

Sunulan tez çalışmasında Ege Bölgesi'nde yer alan Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes akarsularında taşınan askıda katı madde regresyon, yapay zeka, ampirik metotlar ve sediment anahtar eğrisi ile modellenmiş ve bölgeye uygun en iyi model belirlenmeye çalışılmıştır.

Akarsular üzerinde, doğal yapısı fazla bozulmamış, baraj etkilerine uzak, fazla kirlilik barındırmayan ve gözlem süresi uzun olan istasyonlar seçilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda en iyi model sonuçları Gediz Nehri'nin üst havzasında yer alan 523-Acısü İstasyonu'nda elde edilmiştir. Aynı akarsu üzerindeki 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda Demirköprü Barajı'nın etkileri görülmüştür. Şöyle ki istasyonda ölçülen akımlar barajdaki sulama suyu salınımından dolayı oldukça düzenlidir. Bu nedenle akımlar arasındaki korelasyon değerleri yüksek olmakla birlikte, bu doğal bir yağış ya da akışın sonucu değildir. Yine bu istasyonda ve Küçük Menderes Nehri üzerinde yer alan 601-Selçuk İstasyonu'nda endüstriyel, tarımsal ve evsel atıkların olduğu bilinmektedir.

Kurulan modeller arasında genel olarak yapay zeka modellerinin daha iyi sonuç verdiği, özellikle askıda katı madde davranışını yansıtmada ve pik değerleri tahminlemede günümüzde kullanılan sediment anahtar eğrisinden daha başarılı olduğu görülmüştür. Söz konusu yapay zeka modellerinde, girdi değişkenlerinin az ve öz olması için modele konu olan hidrolojik olayı birebir etkileyen parametrelerin bulunması önem teşkil etmektedir. Bu tez çalışmasında dikkat çeken bir başka özellik de kurulan senaryolardır. Yağışın model girdilerine olan katkısı bütün istasyonlarda hissedilmektedir.

Çalışma bulgularından yapay sinir ağları modellerinde ağız ezber sonuçlar vermesinden kaçınmak için; tek saklı tabaka kullanımının etkin olduğu, saklı tabakadaki nöron sayısının girdi değişkenine, iterasyon sayısınınsa eğitim fonksiyonuna göre belirlenmesi gerektiği elde edilmiştir. Yapay zeka metotlarından

ANFIS modellerinde ise fazla sayıda kural kullanmanın model sonuçlarına olumsuz etki yaptığı yine çalışma esnasında görülmüştür.

Öte yandan tek istasyon bazında kurulan ampirik modellerin içinden en iyisi tüm istasyonlarda Brooks metodudur. Burada Brooks metodunun Ege Bölgesi akarsularına uygulanabilirliği için kalibre edilmesi söz konusu olmuş, Genetik Algoritma ile yapılan kalibrasyon çalışmalarında tüm istasyonlarda farklı katsayılar elde edilmiştir. Bunun nedeni bu istasyonlarda boyuna eğim, bitki örtüsü, ortalama dane çapı ve su kalitesi gibi askıda katı madde taşınımını birebir etkileyen parametrelerinin farklı oluşu ile açıklanabilir. GA-Brooks metodunun eldeki veriler doğrultusunda diğer metotlarla yapılan karşılaştırmasında, kimi istasyonlarda yapay zeka modelleri ile benzer, hatta daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Özellikle, küçük askıda katı madde değerlerinde yapay zeka modellerinin aşırı tahminde bulunduğu, GA-Brooks metodunun ise bu küçük değerleri daha iyi tahminlediği görülmektedir. Ampirik model çalışmasının sonucunda, ampirik yaklaşımlardan Brooks yönteminin Ege Bölgesindeki akarsulara uygulanabileceği, ancak sonuçların değerlendirilmesinde havza özelliklerini temsil eden akım ve sediment karakteristiklerinin göz önünde bulundurulması gerektiği belirlenmiştir.

Bölgesel analizde ise, bir arada düşünülen istasyonların birbiri ile benzer yağış ve akış rejimlerine sahip olması, istasyonlarda gözlenmiş maksimum akım ve askıda katı madde değerlerinin birbirine yakın karakter taşıması ve akarsularda taşınan katı madde dane çaplarının birbirinden çok farklı olmaması durumunda ampirik yaklaşımların başarıya ulaşacağı sonucuna varılmıştır.

Gerçekleştirilen duyarlılık analizinde ise, askıda katı madde dane çapının % 40 değişmesinin Brooks metodu sonuçlarını % 130 kadar, benzer şekilde yatak yükü dane çapının % 40 değişmesinin de Brooks metodu sonuçlarını % 60 oranında değiştirebildiği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla ampirik metotlarda en etkin parametreler askıda katı madde dane çapı ve yatak yükü dane çapı değerleridir. Bu nedenle dane çapı değerlerinin gerçeğe uygun belirlenmesi ampirik metotların başarılı uygulanabilmesi için oldukça önemlidir.

Tez çalışması sonucunda akarsularda katı madde taşınımı için Türkiye'deki tüm havzalarda yapay zeka metotlarının uygulanabileceği, bu metotlar kullanılarak o akarsuya ait yeni bir modelin oluşturulabileceği ve bu modelin sediment tahmininde kullanılabileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte, eldeki mevcut imkanlar doğrultusunda akarsulardaki ölçümlerin daha kısa aralıklarla ve daha fazla noktada gerçekleştirilmesi önem taşır. Özellikle havzaya düşen büyük yağışların akabinde mutlaka istasyonlardan eşzamanlı akım ölçümü ve askıda katı madde numune alımı yapılmalıdır. Böylelikle akarsuların taşıdığı sediment kapasitesi daha iyi belirlenebilir hale gelecek ve inşa edilecek herhangi bir su yapısından daha fazla fayda sağlanabilecektir.

KAYNAKÇA

- ASCE Task Committee on application of artificial neural networks in Hydrology, (2000a). Artificial neural networks in hydrology, I: Preliminary concepts. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE 5 (2), 115-123.
- ASCE Task Committee on application of artificial neural networks in Hydrology, (2000b). Artificial neural networks in hydrology, II: Hydrologic applications. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE 5 (2), 124-137.
- Alışık, A. (1995). Sediment taşınımı ve ölçüm metotları. Ankara: EİE, Hidrolik Etütler Dairesi Sediment Etütleri Şubesi Müdürlüğü.
- Alp, M. ve Cığızoğlu H. K. (2007). Suspended sediment load estimation by two artificial neural network methods using hydrometeorological data. Environmental Modelling & Software, 22, 2-13.
- Altınbilek, H.D. (1988). Design of stable channels. Sediment Transport Technology, Post Graduate Course Book, 2. cilt içinde (14) (1-53), Ankara: DSİ Matbaası.
- Asselman, N. E. M. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology, 234, 228-248.
- Aytek, A. ve Kişi, Ö. (2008). A genetic programming approach to suspended sediment modelling. Journal of Hydrology 351, 288-298.
- Bayazıt, M. (1971). Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği, İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bayazıt, M. (1988). Bed material transport. Sediment Transport Technology, Post Graduate Course Book, 1. cilt içinde (5) (1-28), Ankara: DSİ Matbaası.

Bayazıt, M ve Oguz, B. (1998). İstatistik.. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Baykal, N. ve Beyan, T. (2004). Bulanık mantık, uzman sistemler ve denetleyiciler. Ankara: Bıçaklar Kitabevi.

Baytas, D. (2000). Yukarı Gediz Havzası ve Demirköprü Barajı sediment gözlemlerinin irdelenmesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Diploma Projesi, No: 209. (Yön: S. Özkul).

Blaskova, S., Ninov, P. ve Tzankov, K. (1996). Investigation of heavy metal content in sediments of the Bulgarian Danube's tributaries. Proceedings of XVIII Conference of the Danube Countries, Graz, D-41-46.

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, 297-302.

Brownlie, W. R., (1981). Prediction of flow depth and discharge in open channels. California: W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources Division of Engineering and Applied Science California Institute of Technology Pasadena, Report.No:KH-R-43A.

Chaudhry, M., H. (1993). Open-channel flow. New Jersey, USA: Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Chaves, P. ve Kojiri, T. (2007). Conceptual fuzzy neural network model for water quality simulation. Hydrological Processes, 21, 634-646.

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. (2003). Estimation, forecasting and extrapolation of flow data by artificial neural networks. *Hydrological Sciences Journal* 48 (3), 349-361.
- 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, 221-238.
- Cıgızoğlu, H. K. ve Alp, M. (2006). Generalized regression neural network in modelling river sediment yield. *Advances in Engineering Software* 37, 63-68.
- Dawson, C. W. ve Wilby, R. L. (1998). An artificial neural network approach to rainfall- runoff modeling, *Hydrologic Sciences Journal*, 43 (1), 47-66.
- Dawson, C. W. ve Wilby, R. L. (2001). Hydrological modeling using artificial neural networks. *Progress in Physical Geography* 25 (1), 80-108.
- Dawson, C.W., Abrahart, R.J., Shamseldin A.Y. ve Wilby, R.L. (2006). Flood estimation at ungauged sites using artificial neural network. *Journal of Hydrology* 319, 391-409.
- Demuth, H ve Beale, M. (2001). *Neural network toolbox user's guide-version 4*.
- Diamantopoulou, M. J., Antonopoulos, V. S. ve Papamichail, D. M. (2007). Cascade correlation artificial neural Networks for estimating missing monthly values of water quality parameters in rivers. *Water Resources Management*, 21, 649-662.
- Dietrich, W.E (1982). Settling velocity of natural parts. *Water Resources Research*, 18 (6), 1615-1626.

- Doğan, E., Yüksel, İ. ve Kişi, Ö. (2007). Estimation of total sediment load concentration obtained by experimental study using artificial neural networks. *Environmental Fluid Mechanics*, 7 (4), 271-288.
- DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2007). *Sediment Transport Technology, Post Graduate Course Book*, Ankara: DSİ Matbaası.
- EİE, Elektrik İşleri İdaresi Genel Müdürlüğü. (2006). *Türkiye Sularında Süspanse Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınıımı*, Ankara: EİE Matbaası.
- Elshorbagy, A., Simonovic, S. P. ve Panu, U. S. (2002). Estimation of missing streamflow data using principles of chaos theory. *Journal of Hydrology* 255, 123-133.
- Fıstıkoğlu, O. ve Harmancıoğlu, N. (2001). Yukarı Gediz Havzasında aylık su bütçesi modeli uygulaması. III. Ulusal Hidroloji Kongresi Kitapçığı, İzmir, 269-278.
- Freiwan, M. ve Cığızoğlu, H. K. (2005). Prediction of monthly rainfall in Jordan using feed forward backpropagation method. *Fresenius Environmental Bulletin* 14 (1),x.
- Graf, W. H., (1984). *Hydraulics of sediment transport*. Colorado, USA: Water Resources Publications.
- Gray, J. ve Fisk, G. (1992). Monitoring radionuclide and suspended sediment transport in the Little Colorado Rover Basin, Arizona and New Mexico, USA. *Proceedings of the Symposium Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins*. Oslo, IAHS publ. No. 210, 505-516.

- Goldstein, S. (1929). The steady flow of viscous fluid past a fixed spherical obstacle at small Reynolds number. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, vol:123.
- Ham, F. M. ve Kostanic, I. (2001). *Principles of neurocomputing for science and engineering*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Haykin, S. (1999). *Neural Network: A Comprehensive Foundation*, second ed. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Horowitz, A. J. (1997). Some thoughts on problems associated with various sampling media used for environmental monitoring. *Analyst*, 122, 1193–1200.
- Hsu, K., Gupta, H. V. ve Sorooshian, S. (1995). Artificial Neural Network modeling of the rainfall-runoff process. *Water Resources Research*, 31, 2517-2530.
- Imrie, C. E. ve Durucan, S. (2000). River flow prediction using ANNs generalisation beyond the calibration range. *Journal of Hydrology*, 233, 138-153.
- Jain, S. K. ve Chalisgaonkar, D. (2000). Setting up stage-discharge relations using ANN. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5 (4), 428-433.
- Jain, S. K. (2001). Development of integrated sediment rating curves using ANN's. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127 (1), 30-37.
- Jain, A. ve Indurthy S. K. V. P. (2003). Comparative analysis of event-based rainfall-runoff modeling techniques-deterministic, statistical and artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE* 8 (2), 93-98.
- Jain, A., Sudheer, K. P. ve Srinivasulu, S. (2004). Identification of physical inherent in artificial neural network rainfall runoff models. *Hydrological Processes*, 18, 571-581.

- Jang J. S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23 (3), 65–85.
- Jimanez, J. A. ve Madson, O. S. (2003). A simple formula to estimate settling velocity of natural sediments. *Journal of Watervay Port, Coastal and Ocean Engineering*, 129 (2), 70-78.
- Julien, P. Y. (2002). *River mechanics*. , Cambridge, UK: Cambridge University Pres.
- Keskin, M. E. ve Terzi, Ö. (2001). Yapay sinir ağıları metodu ile buharlaşma miktarının belirlenmesi, *Mühendislikte Modern Yöntemler Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul, 107-113.
- Khalil, M., Panu, U. S. ve Lennox W. C. (2001). Groups and neural Networks based streamflow data infilling procedures. *Journal of Hydrology*, 241, 153-176.
- Kişi, Ö., Karahan, M. E. ve Şen, Z. (2003). Nehirlerdeki askı maddesi miktarının bulanık mantık ile modellenmesi. *İTÜ Dergisi*, Cilt:2, Sayı: 3, 43-54.
- Kişi, Ö. (2005). Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches. *Hydrological Sciences Journal*, 50 (4), 683-696.
- Kişi, Ö., Yüksel, İ. ve Doğan E. (2008). Modelling daily suspended sediment of rivers in Turkey using several data-driven techniques. *Hydrological Sciences Journal*, 53 (6), 1270-1285.
- Kumar, A. R., Sudheer, K.P., Jain, S. K. ve Agarwal, P. K. (2005). Rainfall-runoff modeling using ANNs: comparison of network types. *Hydrological Process*, 19, 1277-1291.

- Li, Z., Zhang, Y.K., Schilling, K. ve Skopec, M., (2006). Cokriging estimation of daily suspended sediment loads. *Journal of Hydrology*, 327, 389-398.
- Loughran, R.ve Elliott, G. (1996). Rates of soil erosion in Australia determined by the caesium-137 technique: a national reconnaissance survey. *Proceedings of the Symposium Erosion of Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*, IAHS Publ. No. 236, Exeter, 275-283.
- McBean, E. A. ve Al-Nassri, S. (1988). Uncertainty in suspended sediment transport curves. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 114 (1), 63-73.
- Minns, A. W. ve Hall, M. J. (1996). Artificial neural networks as rainfall runoff models. *Hydrological Sciences Journal*, 41 (3), 399-417.
- Morris, G. L. ve Fan, J. (1997). *Reservoir sedimentation handbook*. New York.: McGraw-Hill.
- Nagy, H.M., Watanabe, K. ve Hirano, M. (2002). Prediction of sediment load concentration in rivers using artificial neural network model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128 (6), 588-595.
- Nakato T. (1990). Test of selected sediment-transport formulas. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 116 (3), 362–379.
- Olive, L.J. ve Rieger, W.A. (1988). Qn 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.
- Oseen, C. (1927). *Hydrodynamik*, chapter 10, Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft.

Özbek T. ve Özcan Ç. (2001). Akarsularda katı madde. Ankara : TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası .

Öztemel, E. (2003). Yapay sinir ağları. İstanbul: Papatya yayıncılık.

Öztürk, F., Apaydın, H. ve Walling, D.E. (2001). Suspended sediment loads through flood events for streams of Sakarya River Basin. Turk. J. Eng. Environ. Sci., 25, 643-650.

Partal, T. ve Kişi, Ö. (2007). Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting. Journal of Hydrology, 342, 199-212.

Particle Size Analyzer Mastersizer 2000. (Temmuz 2009).<http://www.malvern.com>.

Raman, H ve Sanilkumar, N. (1995). Multivariate modelling of water resources time series using artificial neural networks. Hydrological Sciences Journal, 40 (2), 145-163.

Ranjithan, S., Eheart, J.W. ve Garret, J.H. (1993). Neural network based screening for groundwater reclamation under uncertainty. Water Resources Research, 29 (3), 563-574.

Rubey, W.W. (1933). Settling velocities of gravel, sand and silt particles. American Journal of Science, 25, 325-388.

Schilling, K.E. (2000). Patterns of discharge and suspended sediment transport in the Walnut and Squaw Creek watersheds, Jasper Country, Iowa: Water Years 1996-1998. Iowa Department of Natural Resources, Geological Survey Bureau, Technical Information Series 42.

Shamseldin, A.Y. (1997). Application of a neural network technique to rainfall-runoff modelling. Journal of Hydrology, 199, 272-294.

- Simons, D.B. ve Şentürk, F. (1992). Sediment transport technology, water and sediment dynamics. Colorado, USA: Water Resources Publications.
- Sudheer, K.P., Gosain, A.K. ve Ramasastri, K.S. (2002). A data-driven algorithm for constructing artificial neural network rainfall-runoff models. *Hydrological Processes*, 16, 1325-1330.
- Sudheer, K.P., Nayak, P.C. ve Ramasastri, K.S. (2003). Improving peak flow estimates in artificial neural network river flow models. *Hydrological Processes*, 17, 677-686.
- Şen, Z. (2004). Fuzzy logic and system models in water sciences. İstanbul: Turkish Water Foundation.
- Şentürk, F. (1969). Nehir hidroliği, Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü, yayın no:660, grup no:X, özel no:64.
- 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.
- Tayfur, G., Moramarco, T. ve Singh, V.P. (2007). Predicting and forecasting flow discharge at sites receiving significant lateral inflow. *Hydrol. Processes* 21, 1848-1859.
- Tayfur, G. ve Moramarco, T. (2008). Predicting hourly based flow discharge hydrographs from level data using genetic algorithms. *Journal of Hydrology* 352, 77-93.

- Tokar, A.S. ve Johnson, P.A. (1999). Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4 (2), 232-239.
- Thirumalaiah K. ve Deo, M.C. (1998). River stage forecasting using artificial neural Networks. *Journal of Hydrologic Engineering* 3 (1), 26-32.
- lke, A, zku, S. ve Tayfur, G. (2007a). Akarsulardaki askıda katı madde miktarının farklı yapay sinir ağları eğitim algoritmaları ile tahmini. III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Gümüldür-İzmir, 369-380.
- lke, A, zku, S. ve Tayfur, G. (2007b). YSA ile Gediz Nehri için askıda katı madde yükü tahmini. V. Ulusal Hidroloji Kongresi, ODTÜ, Ankara, 257-267.
- lke, A. ve Doğan, M. (2008). Infilling the missing precipitation values with ANFIS and regression techniques. 5th ARCHENG, International Architecture and Engineering Symposiums, K.K.T.C., 34-40.
- lke, A. ve Aksoy A. (2008). Estimation of groundwater level by using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems in Torbali Region. IAHR, International Groundwater Symposium, İstanbul, 814-821.
- lke, A, Tayfur, G. ve zku, S. (2009). Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz River, Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering ASCE*, 14 (9), 954-965.
- lke, A, zku, S. ve Tayfur, G., (2010). Ampirik yöntemlerle Gediz Nehri için askıda katı madde yükü tahmini. İnaaat Mhendisleri Odası Teknik Dergi, basımda.
- Vanoni, V. A. (1977). Sedimentation engineering, manuals and reports on Engineering Practice. New York, USA: ASCE.

Walling, D.,E. ve Webb, B., W. (1988). The Reliability of Rating Curve Estimates of Suspended Sediment Yield; Some Further Comments. Sediment Budgets No. 174, 337-350. (Ed. Bordas, M.,P., Walling, D.E.). Wallingford, UK: IAHS Publication, IAHS Pres.

Yang, C.T. (1996). Sediment transport theory and practice. USA: McGraw-Hill.

Yang C.T., Molinas, A. ve Wu, B. (1996). Sediment transport in the Yellow River. Journal of Hydraulic Engineering, 122 (5), 237-244.

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.

E K L E R

TABLO DİZİNİ

Tablo 1.1 Tez çalışmasının adımları.....	12
Tablo 2.1 Akım karakteristikleri	16
Tablo 3.1 Aktivasyon fornkسیونlarına göre literatürde kullanılan ölçeklendirme denklemleri	41
Tablo 4.1 Yağış verilerinin alansal ortalaması.....	61
Tablo 4.2 523-Acısü (EİE) İstasyonu'na ait verilerin temel istatistikleri	64
Tablo 4.3 523-Acısü (EİE) İstasyonu'na ait verilerin çapraz ve oto-korelasyonu	64
Tablo 4.4 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'na ait verilerin temel istatistikleri	67
Tablo 4.5 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'na ait verilerin çapraz ve otokorelasyonu	67
Tablo 4.6 601-Selçuk (EİE) İstasyonu'na ait verilerin temel istatistikleri	71
Tablo 4.7 601-Selçuk İstasyonu'na ait verilerin çapraz ve otokorelasyonu	71
Tablo 4.8 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'na ait verilerin temel istatistikleri	76
Tablo 4.9 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'na ait verilerin çapraz ve otokorelasyonu	76
Tablo 5.1 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin özgül ağırlık deneyi	79
Tablo 5.2 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin özgül ağırlık deneyi.....	80
Tablo 5.3 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin özgül ağırlık deneyi.....	81
Tablo 5.4 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin özgül ağırlık deneyi.....	82
Tablo 5.5 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin elek analizi deneyi	84
Tablo 5.6 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin elek analizi deneyi.....	85
Tablo 5.7 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin elek analizi deneyi.....	86

Tablo 5.8 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin elek analizi deneyi	87
Tabo 5.9 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin kıvam limitleri deneyi	90
Tablo 5.10 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin kıvam limitleri deneyi	91
Tablo 5.11 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin kıvam limitleri deneyi	92
Tablo 5.12 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda yatak yükü malzemesinin kıvam limitleri deneyi	93
Tablo 5.13 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'ndan alınan askıda katı madde numunesinin dane çapı deney sonuçları.....	94
Tablo 5.14 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'ndan alınan askıda katı madde numunesinin dane çapı deney sonuçları.....	95
Tablo 5.15 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'ndan alınan askıda katı madde numunesinin dane çapı deney sonuçları.....	96
Tablo 5.16 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'ndan alınan askıda katı madde numunesinin dane çapı deney sonuçları	97
Tablo 5.17 Gediz Nehri'ne ait akım karakteristiğini belirleyen parametreler	98
Tablo 5.18 Gediz Nehri'nde taşınan sediment karakteristiğini belirleyen parametreler	98
Tablo 5.19 Küçük ve Büyük Menderes Nehirleri'ne ait akım karakteristiğini belirleyen parametreler	98
Tablo 5.20 Küçük ve Büyük Menderes Nehirleri'nde taşınan sediment karakteristiğini belirleyen parametreler.....	99
Tablo 5.21 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'na ait enkesit bilgileri	100
Tablo 5.22 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'na ait enkesit bilgileri.....	101
Tablo 5.23 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'na ait enkesit bilgileri	102
Tablo 5.24 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'na ait enkesit bilgileri	103
Tablo 5.25 Birim dönüşümleri	104
Tablo 6.1 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda model girdi senaryoları	107

Tablo 6.2 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri	108
Tablo 6.3 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nun Veri Seti I için SRC sonuçları.....	109
Tablo 6.4 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nun Veri Seti I için MLR sonuçları	110
Tablo 6.5 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için NLMR sonuçları .	111
Tablo 6.6 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için ANN_CG sonuçları	113
Tablo 6.7 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için ANN_LM sonuçları	113
Tablo 6.8 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için ANFIS sonuçları .	114
Tablo 6.9 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için tüm modellerin sonuçları.....	116
Tablo 6.10 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları	117
Tablo 6.11 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'na ait kalibrasyon ve test veri sayıları ile Genetik Algoritma düzeltme katsayısı	117
Tablo 6.12 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda test setinde GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	118
Tablo 6.13 Gediz Nehrinde 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri	120
Tablo 6.14 Gediz Nehrinde 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için SRC sonuçları	121
Tablo 6.15 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için MLR sonuçları	122
Tablo 6.16 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için NLMR sonuçları	123
Tablo 6.17 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için ANN-CG sonuçları	124
Tablo 6.18 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için ANN-LM sonuçları	124
Tablo 6.19 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için ANFIS sonuçları	125

Tablo 6.20 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyon'unda Veri Seti II için tüm modellerin sonuçları.....	126
Tablo 6.21 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda model girdi senaryoları.....	131
Tablo 6.22 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri.....	132
Tablo 6.23 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için SRC sonuçları	132
Tablo 6.24 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu için MLR sonuçları	133
Tablo 6.25 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu için NLMR sonuçları	135
Tablo 6.26 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için ANN_CG sonuçları	136
Tablo 6.27 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonunu için ANN_LM sonuçları	136
Tablo 6.28 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için ANFIS sonuçları	137
Tablo 6.29 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda tüm modellerin sonuçları.....	139
Tablo 6.30 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları	140
Tablo 6.31 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'na ait kalibrasyon ve test veri sayıları ile Genetik Algoritma düzeltme katsayısı	140
Tablo 6.32 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda test setinde GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	140
Tablo 6.33 EİE Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda model girdi senaryoları.....	142
Tablo 6.34 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri.....	143
Tablo 6.35 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için SRC sonuçları	143
Tablo 6.36 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için MLR sonuçları	144
Tablo 6.37 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için NLMR sonuçları	145
Tablo 6.38 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için ANN_CG sonuçları	147
Tablo 6.39 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için ANN_LM sonuçları	147
Tablo 6.40 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu için ANFIS sonuçları	148

Tablo 6.41 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda tüm modellerin sonuçları.....	149
Tablo 6.42 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları.....	150
Tablo 6.43 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'na ait kalibrasyon ve test veri sayıları ile Genetik Algoritma düzeltme katsayısı	151
Tablo 6.44 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda test setinde GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	151
Tablo 6.45 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda model girdi senaryoları.....	153
Tablo 6.46 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri.....	154
Tablo 6.47 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için SRC sonuçları	154
Tablo 6.48 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu için MLR sonuçları	155
Tablo 6.49 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için NLMR sonuçları	156
Tablo 6.50 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için ANN_CG sonuçları	158
Tablo 6.51 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için ANN_LM sonuçları	158
Tablo 6.52 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu için ANFIS sonuçları	159
Tablo 6.53 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda tüm modellerin sonuçları.....	160
Tablo 6.54 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda uygulanan ampirik bağıntıların sonuçları	162
Tablo 6.55 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'na ait kalibrasyon ve test veri sayıları ile Genetik Algoritma düzeltme katsayısı	162
Tablo 6.56 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda test setinde GA-Brooks Metodunun ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması ...	162

Tablo 7.1 Tüm istasyonlara ait Genetik Algoritma düzeltme katsayıları	164
Tablo 7.2 Memba İstasyonları'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri.....	168
Tablo 7.3 Memba İstasyonları'nda model girdi senaryoları	168
Tablo 7.4 Memba İstasyonları için ANN_CG sonuçları	169
Tablo 7.5 Memba İstasyonları için ANFIS sonuçları	169
Tablo 7.6 Mansap İstasyonları'nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri	173
Tablo 7.7 Mansap İstasyonları'nda model girdi senaryoları.....	173
Tablo 7.8 Mansap İstasyonları için ANN_CG sonuçları	174
Tablo 7.9 Mansap İstasyonları için ANFIS sonuçları	174
Tablo 7.10 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri	176
Tablo 7.11 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda model girdi senaryoları.....	176
Tablo 7.12 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşım için ANN_CG sonuçları	177
Tablo 7.13 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşım için ANFIS sonuçları	177
Tablo 7.14 Memba İstasyonları'na ait ham verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları	180
Tablo 7.15 Memba İstasyonları'nda kalibrasyon verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması.....	180
Tablo 7.16 Memba İstasyonları'nda test verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması.....	180
Tablo 7.17 Memba İstasyonları'na ait standardizasyonlu verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları	181
Tablo 7.18 Memba İstasyonları'nda standardizasyonlu verinin kalibrasyon kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	181
Tablo 7.19 Memba İstasyonları'nda standardizasyonlu verinin test kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	181

Tablo 7.20 Mansap İstasyonlarına ait ham verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları	184
Tablo 7.21 Mansap İstasyonları'nda kalibrasyon verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması.....	184
Tablo 7.22 Mansap İstasyonlarında test verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması.....	185
Tablo 7.23 Mansap İstasyonları'na ait standardizasyonlu verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları	185
Tablo 7.24 Mansap İstasyonları'nda standardizasyonlu verinin kalibrasyon kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	185
Tablo 7.25 Mansap İstasyonları'nda standardizasyonlu verinin tet kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	185
Tablo 7.26 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşıma ait ham verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları	187
Tablo 7.27 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda kalibrasyon verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	188
Tablo 7.28 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda test verilerine ait Brooks ve GA-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	188
Tablo 7.29 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşıma ait standardizasyonlu verinin Genetik Algoritma ile iyileştirme sonuçları	188
Tablo 7.30 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda standardizasyonlu verinin kalibrasyon kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması.....	188
Tablo 7.31 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda standardizasyonlu verinin test kısmının Brooks ve M-Brooks Metotlarının, ANN ve ANFIS Metotları ile karşılaştırılması	189

Tablo 7.32 Askıda katı madde dane çapının ($d_{90}=0,1182$ mm) % 10,20,30,40 artırılması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğinin % olarak ifadesi.....	193
Tablo 7.33 Askıda katı madde dane çapının ($d_{90}=0,1182$ mm) % 10,20,30,40 azalması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğinin % olarak ifadesi.....	194
Tablo 7.34 Yatak yükü dane çapının ($d_{b50}=1,3$ mm) % 10,20,30,40 artırılması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğinin % olarak ifadesi.....	195
Tablo 7.35 Yatak yükü dane çapının ($d_{b50}=1,3$ mm) % 10,20,30,40 azaltılması halinde Brooks metodu sonuçlarının ne kadar değişeceğinin % olarak ifadesi	196

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1 Katı maddenin su derinliğine bağlı dağılımı	15
Şekil 2.2 Denge halindeki bir sediment danesi	18
Şekil 2.3 Derinlik boyunca hız ve konsantrasyon dağılımı.....	20
Şekil 2.4 Askıda katı maddenin akarsu içindeki düşey ve yatay dağılımı.....	21
Şekil 2.5 Akarsuyun kesitlere ayrılması	22
Şekil 2.6 Gediz Nehri'nde USDH-48 ile gerçekleştirilen bir ölçüm.....	23
Şekil 2.7 USD-49 Askıda katı madde numune alma aleti (USD-49).....	24
Şekil 2.8 Giriş ağızlıkları ve akım hızına göre şişeyi doldurma süresi.....	24
Şekil 3.1 Üç katmanlı ileri beslemeli bir ANN mimarisi	32
Şekil 3.2 Yapay sinir hücresi	33
Şekil 3.3 ANN'de en çok kullanılan transfer fonksiyonları.....	34
Şekil 3.4 ANN modelinde ağırlık (W) ve hata grafiği (E).....	36
Şekil 3.5 Geri yayılım algoritmasının akış şeması	37
Şekil 3.6 Genelleştirme yeteneği olmayan ANN mimarisi.....	39
Şekil 3.7 Genelleştirme yeteneği olan ANN mimarisi.....	40
Şekil 3.8 Eğitim ve test verilerine göre hatanın dağılımı.....	40
Şekil 3.9 (a) Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı “Sugeno Bulanık Modeli”, (b) Eşdeğer ANFIS yapısı	45
Şekil 3.10 Kesit pürüzlülüğüne bağlı olarak P_L İle ω/U_* arasındaki ilişki	50
Şekil 3.11 K_s/δ değerine göre X'in alacağı değer (Logaritmik hız dağılımındaki düzeltme faktörü)	51
Şekil 3.12 Z'nin değişik değerlerinde $2d_{b65}/D$ 'ye bağlı I_1 'in alacağı değerler	53
Şekil 3.13 Z'nin değişik değerlerinde $2d_{b65}/D$ 'ye bağlı I_2 'nin alacağı değerler	54
Şekil 3.14 Z_1 'in ve $k \frac{V}{u_*}$ 'nin değişik değerlerinde, $\frac{q_{sw}}{qC_{md}}$ 'nin aldığı değerler	55
Şekil 3.15 Farklı ξ_a ve Z_2 değerlerinde elde edilen I_1 değerleri	55
Şekil 3.16 Farklı ξ_a ve Z_2 değerlerinde elde edilen I_2 değerleri	56
Şekil 4.1 Gediz Havzası, Gediz Nehri ile 523-Acısü ve 518-Manisa Köprüsü Akım Gözlem İstasyonları ve Simav Gediz, Uşak, Manisa Meteoroloji Ölçüm İstasyonları	60

Şekil 4.2 Uşak, Simav ve Gediz (DMİ) istasyonlarının Thiessen Metodu ile belirlenen alansal ortalama günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi	62
Şekil 4.3 523-Acısu (EİE) İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi	62
Şekil 4.4 523-Acısu (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi	63
Şekil 4.5 523-Acısu (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi	63
Şekil 4.6 Manisa (DMİ) İstasyonu'nda gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi	65
Şekil 4.7 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi	65
Şekil 4.8 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi	66
Şekil 4.9 518-Manisa Köprüsü (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi.....	66
Şekil 4.10 Küçük Menderes Havzası, Küçük Menderes Nehri ve 601-Selçuk Akım Gözlem İstasyonu ile Selçuk Meteoroloji Ölçüm İstasyonları	69
Şekil 4.11 601-Selçuk (DMİ) İstasyonu'nda gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi	69
Şekil 4.12 601-Selçuk (EİE) İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi	70
Şekil 4.13 601-Selçuk (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi	70
Şekil 4.14 601-Selçuk (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi	71
Şekil 4.15 Büyük Menderes Havzası, Büyük Menderes Nehri ve 701-Çine Çayı Kayırlı Akım Gözlem İstasyonu ile Yatağan Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	73
Şekil 4.16 Yatağan (DMİ) İstasyonu'nda gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi.....	74

Şekil 4.17 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'nda gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi	74
Şekil 4.18 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi	75
Şekil 4.19 701-Çine Çayı Kayırlı (EİE) İstasyonu'nda gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi.....	75
Şekil 5.1 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'na ait dane çapı dağılım grafiği	88
Şekil 5.2 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'na ait dane çapı dağılım grafiği	88
Şekil 5.3 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'na ait dane çapı dağılım grafiği	89
Şekil 5.4 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'na ait dane çapı dağılım grafiği.....	89
Şekil 5.5 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'ndan bir görünüş	100
Şekil 5.6 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nun 1997 su yılına ait enkesit gösterimi	100
Şekil 5.7 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'ndan bir görünüş.....	101
Şekil 5.8 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nun 1997 su yılına ait enkesit gösterimi	101
Şekil 5.9 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'ndan bir görünüş.....	102
Şekil 5.10 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nun 1999 su yılına ait enkesit gösterimi	102
Şekil 5.11 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'ndan bir görünüş	103
Şekil 5.12 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nun 2003 su yılına ait enkesit gösterimi	103
Şekil 6.1 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de SRC ile modelleme .	109
Şekil 6.2 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de MLR ile modelleme	110
Şekil 6.3 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de NLMR ile modelleme.....	112
Şekil 6.4 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de ANN_CG ile modelleme.....	113

Şekil 6.5 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de ANN_LM ile modelleme.....	114
Şekil 6.6 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de ANFIS ile modelleme.....	115
Şekil 6.7 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I'de tüm modeller.....	116
Şekil 6.8 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu test verilerinde GA-Brooks ile ANN, ANFIS Modellerinin karşılaştırılması	119
Şekil 6.9 Gediz Nehrinde 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de SRC ile modelleme.....	121
Şekil 6.10 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de MLR ile modelleme.....	122
Şekil 6.11 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de NLMR ile modelleme.....	123
Şekil 6.12 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de ANN_CG ile modelleme.....	124
Şekil 6.13 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de ANN_LM ile modelleme.....	125
Şekil 6.14 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de ANFIS ile modelleme.....	126
Şekil 6.15 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II'de tüm modeller	127
Şekil 6.16 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağılı değişimi	128
Şekil 6.17 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağılı değişimi	129
Şekil 6.18 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenmiş ve üretilmiş 75 adet askıda katı madde yüklerinin karşılaştırılması	129
Şekil 6.19 EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonunda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında üretilmiş 2213 adet günlük askıda katı madde yükü	130
Şekil 6.20 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda SRC ile modelleme ...	133
Şekil 6.21 EİE, Gediz 518-Manisa Köprüsü İstasyonu'nda MLR ile modelleme ...	134

Şekil 6.22 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda NLMR ile modelleme.....	135
Şekil 6.23 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANN_CG ile modelleme.....	136
Şekil 6.24 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANN_LM ile modelleme.....	137
Şekil 6.25 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANFIS ile modelleme	138
Şekil 6.26 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda tüm modeller	139
Şekil 6.27 EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu test verilerinde GA-Brooks ile ANN, ANFIS Modellerinin karşılaştırılması.....	141
Şekil 6.28 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda SRC ile modelleme ..	144
Şekil 6.29 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda MLR ile modelleme .	145
Şekil 6.30 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda NLMR ile modelleme.....	146
Şekil 6.31 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANN_CG ile modelleme.....	147
Şekil 6.32 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANN_LM ile modelleme.....	148
Şekil 6.33 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANFIS ile modelleme.....	149
Şekil 6.34 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda tüm modeller	150
Şekil 6.35 EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu test verilerinde GA-Brooks ile ANN, ANFIS Modellerinin karşılaştırılması.....	152
Şekil 6.36 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda SRC ile modelleme.....	155
Şekil 6.37 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda MLR ile modelleme.....	156
Şekil 6.38 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda NLMR ile modelleme.....	157
Şekil 6.39 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda ANN_CG ile modelleme.....	158

Şekil 6.40 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda ANN_LM ile modelleme.....	159
Şekil 6.41 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda ANFIS ile modelleme.....	160
Şekil 6.42 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu'nda tüm modeller	161
Şekil 6.43 EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı, Kayırlı İstasyonu test verilerinde GA-Brooks ile ANN, ANFIS Modellerinin karşılaştırılması	163
Şekil 7.1 Memba İstasyonları'nda (523-701) gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi	166
Şekil 7.2 Memba İstasyonları'nda (523-701) gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi	167
Şekil 7.3 Memba İstasyonları'nda (523-701) gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi	167
Şekil 7.4 Memba İstasyonları'nda test setinde ANN_CG ile modelleme.....	169
Şekil 7.5 Memba İstasyonları'nda test setinde ANFIS ile modelleme	170
Şekil 7.6 Mansap İstasyonları'nda (518-601) gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi	171
Şekil 7.7 Mansap İstasyonları'nda (518-601) gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi	171
Şekil 7.8 Mansap İstasyonları'nda (518-601)) gözlenen askıda katı madde yükünün zamana bağlı değişimi	172
Şekil 7.9 Mansap İstasyonlarında test setinde ANN_CG ile modelleme	174
Şekil 7.10 Mansap İstasyonlarında test setinde ANFIS ile modelleme	175
Şekil 7.11 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda test setinde ANN_CG ile modelleme.....	177
Şekil 7.12 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda test setinde ANFIS ile modelleme.....	178
Şekil 7.13 Memba İstasyonları'nda (523-701) tüm modellerin karşılaştırması.....	183
Şekil 7.14 Mansap istasyonlarında (518-601) tüm modellerin karşılaştırması.....	186
Şekil 7.15 Tüm istasyonların birlikte düşünüldüğü yaklaşımda (523-518-601-701) tüm modellerin karşılaştırması.....	189

Şekil 7.16 Askıda katı madde dane çapının (d) artışının (%) Brooks Metodu sonuçlarına olan etkisi (%)	193
Şekil 7.17 Askıda katı madde dane çapının (d) azalışının (%) Brooks Metodu sonuçlarına olan etkisi (%)	194
Şekil 7.18 Yatak yükü dane çapının (d_b) artışının (%) Brooks Metodu sonuçlarına olan etkisi (%)	195
Şekil 7.19 Yatak yükü dane çapının (d_b) azalışının (%) Brooks Metodu sonuçlarına olan etkisi (%)	196

SEMBOLLER

A	; sediment danesinin çökelme yönündeki alanı
A_i	; akarsu enkesitindeki her bir parçanın alanı
ANN	; Yapay Sinir Ağları
$ANFIS$; Adaptif Sinirsel Bulanık Sistemler
A_i	; ANFIS’de bulanık küme
a	; regresyon denkleminde akıma bağlı bir katsayı
a	; yatak yükü kalınlığı
b, b_0, b_1, \dots	; regresyon denklemindeki katsayılar
B_i	; ANFIS’de bulanık küme
B	; su yüzü genişliği
\bar{C}	; y derinliğindeki ortalama konsantrasyon (ppm)
C_{taban}	; tabandan alınan konsantrasyon
$C_{yüzey}$; yüzeyden alınan konsantrasyon
C_{80}	; su derinliğinin %80’indeki konsantrasyon
C_{20}	; su derinliğinin %20’sindeki konsantrasyon
C_{ort}	; su derinliğinin orta noktasından alınan örnekteki konsantrasyon
C_i	; akarsuyun A_i alanlarında hesaplanan sediment konsantrasyon
Ca	; yatak yükü tabaka kalınlığının üzerindeki konsantrasyon
C_D	; akımın sürüklenme katsayısı
C_{md}	; $y=D/2$ ’deki askıda katı madde konsantrasyon
CME	; eklenik hata
C_{S_x}	; verilerin temel istatistiklerinde çarpıklık değeri
C_v	; verilerin temel istatistiklerinde değişkenlik katsayısı
d_b	; tabanda taşınan malzemenin ortalama dane çapı
d	; askıda taşınan malzemenin dane çapı
D	; su derinliği
E	; elastisite modülü
E	; ANN’de hata miktarı
F_c	; Genetik Algoritma kalibrasyon katsayısı
F_c'	; standardize veride Genetik Algoritma kalibrasyon katsayısı

f_i	; ANFIS’de kural çıktısı
g	; yerçekimi ivmesi
i	; ANN’de girdi katmanı
I_1, I_2	; $A=2d_{b65}/D$ değerinin çeşitli z ($z = \omega / k.u_*$) değerleri için katsayılar (Einstein Yaklaşımı)
I_1, I_2	; farklı ξ_a ve çeşitli z_2 ($z = 2\omega / \beta k.u_*$) değerleri için katsayılar (Chang, Simons ve Richards Yaklaşımı)
$i_{BW}^q_{BW}$; yatak yükünün oransal ağırlığı
j	; ANN’de gizli katman
k	; ANN’de çıktı katmanı
k	; Von Karman sabiti
m	; kütle
m	; ANN’de j nöronuna gelen girdilerin toplam sayısı
MAE	; ortalama mutlak hata
MARE	; ortalama göreceli mutlak hata
MLR	; çoklu doğrusal regresyon
N	; veri sayısı
n	; Manning Pürüzlülüğü
NLMR	; çoklu doğrusal olmayan regresyon
$O_{l,i}$; ANFIS’de l . katmandaki i . düğümün çıktısı
P	; basınç
P_L	; Lane ve Kalinske Yaklaşımındaki bir parametre
p	; ANN’de çıktı katmanındaki nöronların sayısı
P	; ANN’de eğitim setindeki örnek sayısı
P	; günlük toplam yağış (mm)
$P_{(t-1)}$; bir gün önceki toplam yağış
$P_{(t-2)}$; iki gün önceki toplam yağış
q	; birim genişlik debisi
Q	; akım debisi (m^3/s)
$Q_{(t-1)}$; bir gün önceki ortalama akım
$Q_{(t-2)}$; iki gün önceki ortalama akım
q_{bw}	; yatak yükü

q_{sw}	; birim genişlikte askıda katı madde yükü
R	; hidrolik yarıçap
$RMSE$; ortalama karesel hatanın karekökü
R^2	; determinasyon katsayısı
r	; korelasyon katsayısı
SRC	; sediment anahtar eğrisi yöntemi
S	; nehir yatağının boyuna eğimi
SSL	; askıda katı madde yükü (ton/gün)
$SSL_{göz}$; askıda katı maddenin gözlenmiş değeri
SSL_{model}	; askıda katı maddenin modellenmiş değeri
$\overline{SSL}_{göz}$; gözlenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalaması
\overline{SSL}_{model}	; modellenmiş askıda katı madde değerlerinin ortalaması
SSL_{Brooks}	; Brooks metodunun verdiği askıda katı madde yükü sonuçları
$SSL_{GA-Brooks}$; Genetik algoritma ile iyileştirilen Brooks metodu sonuçları
$SSL_{gözstd}$; gözlenmiş askıda katı maddenin standardize edilmiş değeri
$SSL_{Brooksstd}$; Brooks metodunun sonuçlarının standardize edilmiş değeri
$SSL_{GA-Brooksstd}$; iyileştirilmiş Brooks metodu sonuçlarının standardize edilmiş değeri
Sx	; verilerin temel istatistiklerinde standart sapma değeri
t_i	; ANN’de gerçek çıktı
U^*	; kayma hızı
U	; ıslak çevre
u_i	; ANN’de bir önceki katmanından gelen, i nöronunun çıktısı
V	; hacim
V	; akım hızı
w_{ij}	; ANN’de nöronlar arasındaki bağlantı gücü
W_s	; sediment danesinin su içindeki ağırlığı
\bar{w}_i	; ANFIS’de katman çıkışı
x	; ANFIS’de sözel girdi değişkeni
X	; $\frac{K_s}{\delta} = \frac{U_* d_{65}}{11.6v}$ değerine göre Şekil 3.11’den okunan bir katsayı

- X^n ; ANN'de $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ değişkenlerinden oluşan n boyutlu girdi vektörü
- x_i ; ANN'de ölçeklendirme yapılacak verinin kendisi
- x_{min} ; ANN'de ölçeklendirme yapılacak veri setindeki en küçük değer
- x_{max} ; ANN'de ölçeklendirme yapılacak veri setindeki en büyük değer
- X ; ANN'de ölçeklendirme sonucu değişkenin aldığı değer
- x_{ort} ; verilerin temel istatistiklerinde ortalama değer
- y ; ANFIS'de sözel girdi değişkeni
- Y^m ; ANN'de $(y_1, y_2, y_3, \dots, y_m)$ tepki değişkenlerinden oluşan m boyutlu çıktı vektörü
- y_j ; j nöronunun aktivasyon fonksiyonundan geçirilmiş çıktısı
- α ; ANN'de momentum katsayısı
- β ; suyun momentum difüzyon katsayısının, sedimentin momentum difüzyon katsayısına oranını gösteren parametre
- Δ ; sedimentin su içindeki özgül ağırlığı
- Δ ; $\frac{ks}{X} = \frac{d_{b65}}{X}$
- $\Delta W_{ij}(n)$; ANN'de i ve j nöronları arasındaki (n) iterasyondaki ağırlık değişimi
- $\Delta W_{ij}(n-1)$; ANN'de i ve j nöronları arasındaki $(n-1)$ iterasyondaki ağırlık değişimi,
- ϵ ; öğrenme katsayısı,
- γ ; suyun özgül ağırlığı
- γ_s ; sedimentin özgül ağırlığı
- ξ_a ; yatak malzemesinin kalınlığı (Chang, Simons ve Richards yaklaşımı)
- μ ; dinamik viskozite
- μ ; ANFIS'de üyelik fonksiyonu
- ρ ; suyun özgül kütlesi
- ρ_s ; katı maddenin özgül kütlesi
- v ; kinematik viskozite
- ω ; çökelme hızı
- $\{a_i, b_i, c_i\}$; ANFIS'de giriş parametre kümesi
- $\{p_i, q_i, r_i\}$; ANFIS'de doğrusal parametre kümesi

Ek-1. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu Veri Seti I için MLR Modelleri

Senaryolar	Model Girdi Değişkenleri	Eğitim R ²	MLR Denklemleri
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,73	$SSL = 466,1Q_{(t)} - 2291,57$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,768	$SSL = 649,51Q_{(t)} - 152,69Q_{(t-1)} - 2415$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,759	$SSL = 416,18P_{(t)} + 413,79Q_{(t)} - 2578$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,78	$SSL = 302,97P_{(t)} + 578,3Q_{(t)} - 125,11Q_{(t-1)} - 2602,6$
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,76	$SSL = 208,14P_{(t)} + 49,84P_{(t-1)} + 584,14Q_{(t)} - 136,03Q_{(t-1)} - 2637,96$

Ek-2. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu Veri Seti II için MLR Modelleri

Senaryolar	Model Girdi Değişkenleri	Eğitim R ²	MLR Equations
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,51	$SSL = 346,21Q_{(t)} - 1596,84$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,60	$SSL = 562,75Q_{(t)} - 224,74Q_{(t-1)} - 1419,97$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,55	$SSL = 345,66P_{(t)} + 295,63Q_{(t)} - 1745,82$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,61	$SSL = 136,09P_{(t)} + 518,69Q_{(t)} - 199,68Q_{(t-1)} - 1498,35$
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,60	$SSL = 111,61P_{(t)} + 131,47P_{(t-1)} + 515,38Q_{(t)} - 217,49Q_{(t-1)} - 1531$

Ek-3. EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan MLR Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Eğitim R ²	MLR Denklemleri
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,467	$SSL = 64,167Q_{(t)} - 596,888$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,523	$SSL = 104,076Q_{(t)} - 40,020Q_{(t-1)} - 538,907$
Sim I-3	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,526	$SSL = 106,396Q_{(t)} - 31,006Q_{(t-1)} - 13,067Q_{(t-2)} - 486,0135$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,50	$SSL = 99,725P_{(t)} + 60,305Q_{(t)} - 724,632$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,54	$SSL = 74,566P_{(t)} + 95,824Q_{(t)} - 34,64Q_{(t-1)} - 642,216$
Sim II-3	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,624	$SSL = 203,928P_{(t-1)} + 65,497Q_{(t)} - 15,103Q_{(t-1)} - 594,871$
Sim II-4	$P_{(t)}, P_{(t-1)},$ $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,628	$SSL = 36,408P_{(t)} + 194,178P_{(t-1)} + 63,312Q_{(t)}$ $- 13,668Q_{(t-1)} - 642,637$
Sim II-5	$P_{(t-1)}, Q_{(t)},$ $Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,627	$SSL = 215,747P_{(t-1)} + 60,852Q_{(t)} - 23,017Q_{(t-1)}$ $- 13,567Q_{(t-2)} - 653,029$

Ek-4. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan MLR Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Eğitim R ²	MLR Denklemleri
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,79	$SSL = 115,93Q_{(t)} - 436,108$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,79	$SSL = 129,107Q_{(t)} - 17,47Q_{(t-1)} - 397,107$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,80	$SSL = 47,35P_{(t)} + 112,12Q_{(t)} - 567,71$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,80	$SSL = 42,98P_{(t)} + 119,92Q_{(t)} - 9,87Q_{(t-1)} - 533,52$
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,80	$SSL = 42,91P_{(t)} + 0,22P_{(t-1)} + 119,89Q_{(t)} - 9,85Q_{(t-1)} - 33,99$
Sim II-4	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,82	$SSL = 39,22P_{(t)} + 120,95Q_{(t)} + 7,71Q_{(t-1)} - 33,23Q_{(t-2)} - 337,36$
Sim II-5	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,80	$SSL = 41,02P_{(t)} - 6,52P_{(t-1)} + 122,05Q_{(t)} + 7,61Q_{(t-1)} - 34,00Q_{(t-2)} - 319,1$

Ek-5. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda tüm senaryolara uygulanan MLR Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Eğitim R ²	MLR Denklemleri
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,54	$SSL = 11,4Q_{(t)} - 405,21$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,58	$SSL = 133,83Q_{(t)} - 45,62Q_{(t-1)} - 268,22$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,54	$SSL = 3,94P_{(t)} + 113,04Q_{(t)} - 405,16$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,59	$SSL = -12,49P_{(t)} + 139,39Q_{(t)} - 46,37Q_{(t-1)} - 265,81$
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,58	$SSL = -12,39P_{(t)} - 0,44P_{(t-1)} + 139,34Q_{(t)} - 46,20Q_{(t-1)} - 265,56$

Ek- 6. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti I için NLMR Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Eğitim R ²	MLR Denklemleri
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,75	$SSL = 331,185Q_{(t)} + 1,085Q_{(t)}^2 - 1448,42$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,83	$SSL = 953,41Q_{(t)} - 581,02Q_{(t-1)} - 2,22Q_{(t)}^2 + 2,32Q_{(t-1)}^2 - 1518,98$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,79	$SSL = 38,13P_{(t)} + 269,89Q_{(t)} + 25,0P_{(t)}^2 + 1,051Q_{(t)}^2 - 1515,4$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,84	$SSL = -66,2P_{(t)} + 847,46Q_{(t)} - 502,76Q_{(t-1)} +$ $14,85P_{(t)}^2 - 1,80Q_{(t)}^2 + 1,99Q_{(t-1)}^2 - 1498,14$
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,845	$SSL = -141,24P_{(t)} - 70,95P_{(t-1)} + 855,84Q_{(t)} - 535,90Q_{(t-1)} +$ $18,39P_{(t)}^2 - 6,06P_{(t-1)}^2 - 1,55Q_{(t)}^2 + 1,90Q_{(t-1)}^2 - 1364,70$

Ek-7. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonu'nda Veri Seti II için NLMR Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Eğitim R ²	MLR Denklemleri
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,58	$SSL = 80,23Q_{(t)} + 3,63Q_{(t)}^2 - 300,11$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,68	$SSL = 653.72Q_{(t)} - 579.05Q_{(t-1)} - 0.45Q_{(t)}^2 + 3.44Q_{(t-1)}^2 - 68.5$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,63	$SSL = 485,39P_{(t)} + 4,92Q_{(t)} - 6,18P_{(t)}^2 + 3,93Q_{(t)}^2 - 418,78$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,69	$SSL = 363.75P_{(t)} + 550.55Q_{(t)} - 518.34Q_{(t-1)} -$ $10.65P_{(t)}^2 + 0.204Q_{(t)}^2 + 3.14Q_{(t-1)}^2 - 187.13$
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,70	$SSL = 292,55P_{(t)} - 154,85P_{(t-1)} + 610,53Q_{(t)} - 537,41Q_{(t-1)} -$ $4,37P_{(t)}^2 + 11,64P_{(t-1)}^2 - 0,88Q_{(t)}^2 + 3,20Q_{(t-1)}^2 - 247,89$

Ek-8.EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan NLMR Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Eğitim R ²	NLMR Denklemleri
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,81	$SSL = 72,065Q_{(t)} - 0,0332Q_{(t)}^2 - 780,79$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,74	$SSL = 114,78Q_{(t)} - 0,0441Q_{(t)}^2 - 42,28Q_{(t-1)} + 0,00756Q_{(t-1)}^2 - 738,9$
Sim I-3	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,75	$SSL = 158,16Q_{(t)} - 0,184Q_{(t)}^2 + 6,34Q_{(t-1)} - 0,108Q_{(t-1)}^2 - 109,27Q_{(t-2)} + 0,332Q_{(t-2)}^2 - 411,89$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,56	$SSL = 349,8P_{(t)} - 4,25P_{(t)}^2 + 59,07Q_{(t)} - 0,0114Q_{(t)}^2 - 922,9$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,61	$SSL = 310,08P_{(t)} - 3,84P_{(t)}^2 + 74,25Q_{(t)} + 0,0265Q_{(t)}^2 - 11,22Q_{(t-1)} - 0,0442Q_{(t-1)}^2 - 932,4$
Sim II-3	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,87	$SSL = 285,42P_{(t-1)} - 1,12P_{(t-1)}^2 + 36,03Q_{(t)} - 0,0736Q_{(t)}^2 + 13,72Q_{(t-1)} - 0,0758Q_{(t-1)}^2 - 689,33$
Sim II-4	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,84	$SSL = 137,43P_{(t)} - 1,47P_{(t)}^2 + 270,5P_{(t-1)} - 1,13P_{(t-1)}^2 + 15,84Q_{(t)} + 0,11Q_{(t)}^2 + 29,88Q_{(t-1)} - 0,0993Q_{(t-1)}^2 - 765,65$
Sim II-5	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,86	$SSL = 290,22P_{(t-1)} - 1,25P_{(t-1)}^2 + 53,2Q_{(t)} + 0,00568Q_{(t)}^2 + 30,366Q_{(t-1)} - 0,14Q_{(t-1)}^2 - 48,7Q_{(t-2)} + 0,22Q_{(t-2)}^2 - 406,12$

Ek-9. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan NLMR Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Eğitim R ²	NLMR Denklemleri
Sim I-1	$Q_{(t)}$	0,85	$SSL = 107,78Q_{(t)} + 0,04093Q_{(t)}^2 - 346,64$
Sim I-2	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,90	$SSL = 144,45Q_{(t)} - 0,0668Q_{(t)}^2 - 47,65Q_{(t-1)} + 0,15Q_{(t-1)}^2 - 266,95$
Sim II-1	$P_{(t)}, Q_{(t)}$	0,87	$SSL = 109,84P_{(t)} - 1,64P_{(t)}^2 + 96,85Q_{(t)} + 0,0696Q_{(t)}^2 - 484,02$
Sim II-2	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,89	$SSL = 96,4P_{(t)} - 1,46P_{(t)}^2 + 124,42Q_{(t)} - 0,0229Q_{(t)}^2 - 33,85Q_{(t-1)} + 0,128Q_{(t-1)}^2 - 412,23$
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)},$	0,88	$SSL = 86,87P_{(t)} - 1,27P_{(t)}^2 + 39,54P_{(t-1)} - 0,66P_{(t-1)}^2 + 117,18Q_{(t)} + 0,007Q_{(t)}^2 - 30,72$
	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$		$Q_{(t-1)} + 0,11Q_{(t-1)}^2 - 416,03$
Sim II-4	$P_{(t)}, Q_{(t)},$	0,89	$SSL = 91,25P_{(t)} - 1,39P_{(t)}^2 + 130,16Q_{(t)} - 0,0626Q_{(t)}^2 - 29,70Q_{(t-1)} + 0,19Q_{(t-1)}^2 +$
	$Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$		$18,32Q_{(t-2)} - 0,49Q_{(t-2)}^2 - 512,99$
Sim II-5	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)},$	0,88	$SSL = 87,23P_{(t)} - 1,31P_{(t)}^2 + 27,02P_{(t-1)} - 0,48P_{(t-1)}^2 + 124,31Q_{(t)} - 0,00374Q_{(t)}^2 -$
	$Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$		$28,20Q_{(t-1)} + 0,187Q_{(t-1)}^2 + 20,5Q_{(t-2)} - 0,50Q_{(t-2)}^2 - 520,24$

Ek-10. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda senaryolara göre kurulan NLMR Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Eğitim R ²	NLMR Denklemleri
Sim I-1	$Q(t)$	0,57	$SSL = 49,64Q_{(t)} + 0,95Q_{(t)}^2 - 156,89$
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	0,61	$SSL = 129,17Q_{(t)} - 120,91Q_{(t-1)} + 0,25Q_{(t)}^2 + 1,144Q_{(t-1)}^2 + 16,74$
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,58	$SSL = 87,93P_{(t)} + 32,39Q_{(t)} - 2,61P_{(t)}^2 + 1,098Q_{(t)}^2 - 160,65$
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	0,63	$SSL = 70,36P_{(t)} + 143,76Q_{(t)} - 136,9Q_{(t-1)} - 3,16P_{(t)}^2 + 0,21Q_{(t)}^2 + 1,26Q_{(t-1)}^2 - 3,844$
Sim II-3	$P(t), P(t-1), Q(t), Q(t-1)$	0,62	$SSL = 64,26P_{(t)} - 14,72P_{(t-1)} + 149,61Q_{(t)} - 140,74Q_{(t-1)} - 3,03P_{(t)}^2 + 0,47P_{(t-1)}^2 + 0,17Q_{(t)}^2 + 1,31Q_{(t-1)}^2 - 3,42$

Ek-11. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonunda Veri Seti I için ANN Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Levenberg-Marguardt				Conjugate Gradient			
		R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
		Eğitim	Test			Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	0,85	0,80	2.847	1.193	0,81	0,71	3.346	1.265
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	0,97	0,76	5.967	1.456	0,90	0,71	4.937	1.169
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,99	0,87	6.557	1.533	0,94	0,75	3.449	922
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	0,92	0,75	7.200	1.612	0,93	0,71	4.238	988
Sim II-3	$P(t), P(t-1), Q(t), Q(t-1)$	0,99	0,927	1.646	820	0,97	0,92	1.799	696

Ek-12. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonunda Veri Seti II için ANN Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Levenberg-Marguardt				Conjugate Gradient			
		R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
		Eğitim	Test			Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	0,80	0,67	9.109	2.395	0,80	0,66	9.057	2.278
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	0,97	0,75	7.370	2.552	0,89	0,78	6.281	2.237
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,91	0,87	4.731	1.614	0,90	0,89	4.384	1.332
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	0,93	0,71	7.097	2.451	0,85	0,84	5.346	1.668
Sim II-3	$P(t), P(t-1), Q(t), Q(t-1)$	0,99	0,65	7.928	2.488	0,91	0,70	7.139	2.356

Ek-13. EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonu'nda ANN Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Levenberg-Marguardt				Conjugate Gradient			
		R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
		Eğitim	Test			Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	0,64	0,70	1.876	613	0,60	0,71	2.209	513
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	0,71	0,75	1.723	562	0,68	0,77	1.576	568
Sim I-3	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,81	0,79	2.411	768	0,69	0,80	1.151	374
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,78	0,71	1.089	842	0,73	0,70	1.262	685
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	0,73	0,75	965	535	0,76	0,73	1.267	893
Sim II-3	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,78	0,75	1.453	748	0,89	0,80	1.112	586
Sim II-4	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,69	0,63	2.025	983	0,68	0,58	2.150	730
Sim II-5	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,64	0,59	1.890	786	0,73	0,52	1.990	872

Ek-14. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANN Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Levenberg-Marguardt				Conjugate Gradient			
		R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
		Eğitim	Test			Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	0,76	0,64	2.430	1.288	0,75	0,73	2.191	1.254
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	0,74	0,73	2.067	1.034	0,89	0,84	1.779	981
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,81	0,82	1.182	1.969	0,76	0,80	1.820	1.022
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	0,78	0,58	2.700	1.398	0,79	0,76	2.043	1.261
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,62	0,53	2.853	1.412	0,59	0,52	3.158	1.728
Sim II-4	$P_{(t)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,73	0,60	2.479	1.539	0,77	0,70	2.145	1.384
Sim II-5	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	0,62	0,51	3.157	1.893	0,66	0,50	3.294	1.825

Ek-15. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda ANN Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	Levenberg-Marguardt				Conjugate Gradient			
		R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
		Eğitim	Test			Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	0,72	0,70	305	137	0,65	0,85	441	88
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	0,98	0,72	332	123	0,70	0,77	564	141
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	0,81	0,91	204	61	0,86	0,84	558	145
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	0,76	0,79	299	119	0,80	0,79	489	189
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)},$ $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	0,65	0,70	467	157	0,81	0,88	344	118

Ek-16. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonunda Veri Seti I için ANFIS Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	MF	N	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
				Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	gaussmf	4	0,76	0,70	3.706	1.420
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	gauss2mf	3 3	0,87	0,72	4.637	1.260
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	gaussmf	3 3	0,91	0,84	3.318	895
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	gaussmf	3 3 2	0,93	0,926	1.692	823
Sim II-3	$P(t), P(t-1),$ $Q(t), Q(t-1)$	gauss2mf	3 2 3 3	0,93	0,71	19.999	3.499

(MF: üyelik fonksiyon tipi; N: üyelik fonksiyon sayısı)

Ek-17. EİE, Gediz 523-Acısü İstasyonunda Veri Seti II için ANFIS Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	MF	N	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
				Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	gbellmf	4	0,60	0,87	7.291	2.140
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	gbellmf	2 2	0,63	0,84	7.124	2.239
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	gbellmf	3 3	0,86	0,91	6.337	1.925
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	trimf	2 3 2	0,91	0,85	7.713	2.067
Sim II-3	$P(t), P(t-1), Q(t), Q(t-1)$	trimf	2 3 2 2	0,50	0,66	9.675	2.737

Ek-18. EİE, Gediz 518- Manisa Köprüsü İstasyonunda ANFIS Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	MF	N	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
				Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	gbellmf	2	0,37	0,65	1.450	1.010
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	gbellmf	2-3	0,50	0,78	1.039	376
Sim I-3	$Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	gaussmf	3-3-3	0,56	0,77	1.214	752
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	trimf	2-3	0,51	0,75	1.344	620
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	gbellmf	2-2-3	0,65	0,83	689	345
Sim II-3	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	gbellmf	2-2-3	0,63	0,80	1.817	506
Sim II-4	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	gbellmf	2-2-2-2	0,60	0,76	2.236	702
Sim II-5	$P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	gaussmf	2-2-3-2	0,73	0,80	1.164	590

Ek-19. EİE, Küçük Menderes 601-Selçuk İstasyonu'nda ANFIS Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	MF	N	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
				Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	gaussmf	3	0,77	0,87	1.905	982
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	trimf	2-4	0,82	0,91	1.518	740
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	gaussmf	2-3	0,79	0,89	1.666	856
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	gbellmf	2-3-2	0,80	0,88	1.955	1.030
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)},$ $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	gbellmf	2-2-2-2	0,84	0,83	1.990	1.097
Sim II-4	$P_{(t)}, Q_{(t)},$ $Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	trimf	2-3-2-2	0,85	0,87	1.431	833
Sim II-5	$P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)},$ $Q_{(t-1)}, Q_{(t-2)}$	gaussmf	2-3-2-3-2	0,70	0,73	2.065	1.452

Ek-20. EİE, Büyük Menderes 701-Çine Çayı Kayırlı İstasyonu'nda ANFIS Modelleri

Senaryo	Model Girdileri	MF	N	R ²		RMSE ton/gün	MAE ton/gün
				Eğitim	Test		
Sim I-1	$Q(t)$	gbellmf	3	0,56	0,903	358	142
Sim I-2	$Q(t), Q(t-1)$	gbellmf	3-2	0,64	0,81	578	194
Sim II-1	$P(t), Q(t)$	gbellmf	4-3	0,72	0,957	403	152
Sim II-2	$P(t), Q(t), Q(t-1)$	gbellmf	2-2-2	0,60	0,90	445	210
Sim II-3	$P_{(t)}, P_{(t-1)},$ $Q_{(t)}, Q_{(t-1)}$	trimf	2-3-2-2	0,58	0,74	605	217