

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKARSULARDA TAŞINAN TOPLAM KATI
MADDE MİKTARININ YAPAY ZEKA METOTLARI
İLE TAHMİN EDİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Emrah DOĞAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : HİDROLİK
Tez Danışmanı : Prof. Lütfi SALTABAŞ

Ağustos 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

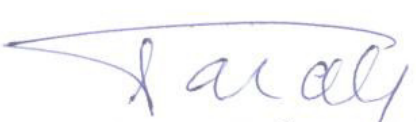
AKARSULARDA TAŞINAN TOPLAM KATI
MADDE MİKTARININ YAPAY ZEKA METOTLARI
İLE TAHMİN EDİLMESİ

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Emrah DOĞAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22 / 08 / 2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



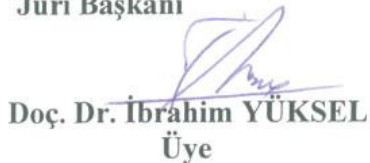
Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU
Jüri Başkanı



Prof. Lütfi SALTABAŞ
Danışman



Prof. Dr. Mustafa Y. KILINÇ
Üye



Doç. Dr. İbrahim YÜKSEL
Üye



Yrd. Doç. Dr. Mehmet SANDALCI
Üye

ÖNSÖZ

Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilimdalı çerçevesinde gerçekleştirilen bu çalışmada, akarsularda taşınan toplam katı madde miktarını tahmin edebilmek için yapay zeka modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma süresince, yakın alakalarını gördüğüm, bana yardımlarını esirgemeyen, her zaman destek olan çok değerli doktora tez danışman hocam Sayın Prof. Lütfi SALTABAŞ'a içten teşekkürlerimi arz eder, şükranlarımı sunarım.

Amerika Birleşik Devletleri, Purdue Üniversitesinde bilimsel çalışma yapabilmem için yurt dışı araştırma bursu kapsamında bir yıl boyunca bana finansal destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkürlerimi bir borç bilirim. Amerika Birleşik Devletlerinde kaldığım bir yıl boyunca, çalışmalarımın yapılmasında ve tasarlanmasında büyük desteklerini gördüğüm Purdue Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri olan danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Rao S. GOVINDARAJU ve Sayın Prof. Dr. Dennis.A. LYN'e teşekkürlerimi sunarım. Yapay zeka modellerinin yazılımlarının bilgisayar ortamında hazırlanmasında bana yardımcı olan, Purdue Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidroloji Anabilimdalında doktorasını yapmakta olan kıymetli arkadaşım Shivam TRIPATHI'ye teşekkür ederim.

Son olarak yetişmemde ve bugünlere gelmemde haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim canım annem Nimet DOĞAN ve babam Bahar DOĞAN'a sonsuz teşekkürler ederim.

Temmuz 2008

EMRAH DOĞAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	5
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	9
BÖLÜM 2.	
ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	11
2.1. Yapay Sinir Ağları.....	11
2.1.1. Yapay sinir ağlarına giriş.....	11
2.1.2. Yapay sinir ağlarının bileşenleri.....	11
2.1.3. Üç katmanlı yapay sinir ağı.....	12
2.1.4. YSA'nın geri yayınımlı.....	14
2.1.5. YSA'nın tarihçesi.....	17
2.1.6. Girdi ve çıktı değişkenlerinin seçilmesi.....	17
2.1.7. Duyarlılık analizi.....	17
2.1.8. YSA'nın planlanması.....	17
2.1.9. Eğitim ve test.....	18
2.1.10. YSA'ların avantajları.....	20

2.2. Bulanık Mantık.....	21
2.2.1. Bulanık mantık giriş.....	21
2.2.2. BM’de model oluşturma süreci.....	22
2.2.3. Mamdani tipi bulanık yaklaşım (Mamdani-BM).....	23
2.2.4. Sugeno tipi bulanık yaklaşım (Sugeno-BM).....	24
2.2.5. Su kaynakları mühendisliği alanındaki BM uygulamaları.....	24
2.2.6. Adaptif sinirsel bulanık sistemler (ANFIS).....	24
2.3. Uygunluk Vektör Makinesi.....	29
2.3.1. Regresyon için RVM.....	30

BÖLÜM 3.

TOPLAM KATI MADDE HAREKETİ.....	33
3.1. Giriş.....	33
3.2. Toplam Katı Madde Hareketi Denklemleri.....	34
3.2.1. Enerji ve akım gücü yaklaşımına dayalı denklemler.....	35
3.2.1.1. Englund ve Hansen metodu.....	35
3.2.1.2. Ackers ve White metodu.....	36
3.2.1.3. Yang metodu.....	37
3.2.1.4. Shen ve Hung metodu.....	38
3.2.1.5. Molinas ve Wu metodu.....	39
3.2.1.6. Graf metodu.....	40
3.2.1.7. van Rijn metodu.....	41
3.2.1.8. Shu-Qing Yang metodu.....	43
3.2.2. Regresyon yaklaşımına dayalı denklemler.....	44
3.2.2.1. Rottner metodu.....	44
3.2.2.2. Acaroğlu metodu.....	44
3.2.2.3. Brownlie metodu.....	45
3.2.2.4. Karim ve Kennedy metodu.....	45
3.2.2.5. Karim metodu.....	46

BÖLÜM 4.

MODELLERİN BİRİNCİ SENARYO İÇİN UYGULANMASI.....	47
4.1. Birinci Senaryoda Kullanılan Veri Takımlarının Tanımlanması.....	47

4.2. Modellerde Kullanılacak Olan Girdi Parametrelerinin Belirlenmesi	49
4.3. Boyut Analizi ve Bazı Boyutsuz Parametrelerin Tanımlanması.....	50
4.4. Çoklu Lineer Regresyon Analizinin Uygulanması.....	56
4.5. ANFIS Modelinin Uygulanması.....	56
4.6. YSA Modelinin Uygulanması.....	57
BÖLÜM 5.	
BİRİNCİ SENARYO İÇİN MODELLERİN PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	
5.1. Modellerin Tahminlerinin Kıyaslanması.....	58
BÖLÜM 6.	
TOPLAM KATI MADDE KONSANTRASYONU TAHMİNİ İÇİN İKİNCİ SENARYONUN UYGULANMASI.....	
6.1. Giriş.....	81
6.2. İkinci Senaryonun Amacı ve Önemi.....	82
6.3. İkinci Senaryo İçin Veri Tabanının Oluşturulması.....	83
6.4. Veri Takımlarındaki Sınırlandırmalar.....	84
6.5. Önerilen RVM Modeli.....	85
6.6. Modellerin Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	87
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	
108	
KAYNAKLAR.....	
113	
EKLER.....	
128	
ÖZGEÇMİŞ.....	
176	

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: a derinliğinden ölçülen konsantrasyonun referans seviyesi
ANFIS	: Adaptif sinirsel bulanık mantık sistemi
ARD	: Otomatik uygunluk belirleme
B	: Kanal genişliği
BF	: Yatak şekli tipi
BM	: Bulanık mantık
C_a	: Referans konsantrasyonu
C_{ppm}	: Toplam katı madde konsantrasyonu
C'	: Chezy katsayısı
d_{50}	: Katı madde daneciklerinin medyan çapı
D	: Akım derinliği
D_*	: Boyutsuz dane çapı
DR	: Farklılık oranı
c_f	: Katsayı (laboratuvar verileri için =1, saha verileri için = 1.268)
F	: Askı maddesi yükü için düzeltme faktörü
FFNN	: İleri beslemeli geri yayınlı yapay sinir ağı tipi
F_{go}	: Kritik danecik Froude sayısı
G_s	: Katı madde parçacıklarının özgül ağırlığı
g	: Yerçekimi ivmesi
k	: Von Karman sabiti (= 0.4)
K	: Kernel fonksiyonu
MLR	: Çoklu lineer regresyon analizi
OKH	: Ortalama karesel hata
q	: Birim genişlikten taşınan su debisi
q_s	: Birim genişlikten taşınan askı maddesi yükü

q_t	: Birim genişlikten taşınan toplam katı madde yükü
q_b	: Birim genişlikten taşınan yatak yükü
R	: Hidrolik yarıçap
R_g	: Danecik Reynolds sayısı
RVM	: Uygunluk vektör makinesi
R^2	: Determinasyon katsayısı
S	: Su yüzeyi eğimi
S_j	: Transfer fonksiyonu
T	: Su sıcaklığı
u_*	: Toplam kayma hızı
u_*'	: Daneciğin sebep olduğu kayma hızı
u_{*c}	: Shields kritik kayma hızı
u_m	: Ortalama akım hızı
x^*	: Bağımsız değişken
V	: Ortalama akım hızı
VS	: Birim akarsu gücü
w	: Nöron ağırlığı
YSA	: Yapay sinir ağları
y^*	: Bağımlı değişken
Z	: Süspansiyon sayısı
ρ	: Suyun özgül kütlesi
ρ_s	: Katı maddenin özgül kütlesi
τ	: Kayma gerilmesi
τ_*	: Toplam boyutsuz kayma gerilmesi
τ_{*c}	: Kritik toplam boyutsuz kayma gerilmesi
τ_*'	: Daneciğin boyutsuz kayma gerilmesi
$\sigma_g =$: Gradasyon
ω	: Katı madde daneciklerinin çökelme hızı
γ	: Suyun özgül ağırlığı
γ_s	: Katı maddenin özgül ağırlığı

ν	: Suyun kinematik viskozitesi
α_j	: Hiperparametre
β	: Katı madde difüzyonunun akışkan difüzyonuna oranı
σ_ε^2	: Hata teriminin varyansı
σ_{kernel}^2	: Kernel fonksiyonunun genişliği
$\sigma_{y^*}^2$: Tahmini dağılımın varyansı
μ_{y^*}	: Tahmini dağılımın ortalaması

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Üç katmanlı ileri beslemeli YSA mimarisi.....	12
Şekil 2.2.	Tipik gizli ya da çıktı katmanına ait nöronun yapısı.....	12
Şekil 2.3.	Logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu.....	13
Şekil 2.4.	a) Girdilerin ileri beslemesi b) Hatanın geriye yayılması.....	14
Şekil 2.5.	Gizli katmanlı YSA modelinde ağırlık (w) ve hata (E) grafiği.....	15
Şekil 2.6.	Geri yayılım algoritmasının akış şeması.....	16
Şekil 2.7a.	Genelleştirme yeteneği olmayan YSA mimarisi.....	19
Şekil 2.7b.	Genelleştirme yeteneği olan YSA mimarisi.....	19
Şekil 2.8.	Eğitim ve test verilerine göre hatanın dağılımı.....	20
Şekil 2.9.	Bulanık mantıkla modelleme aşamalarının şematik gösterimi.....	23
Şekil 2.10.	Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı “Sugeno Bulanık Modeli” ve eşdeğer ANFIS yapısı.....	25
Şekil 2.11.	Bulanık sinir sisteminin yapısı.....	28
Şekil 4.1.	Laboratuar verileri için katı madde konsantrasyon değerlerinin log dönüşümü öncesi ve sonrası dağılımı.....	49
Şekil 4.2.	Saha verileri için katı madde konsantrasyon değerlerinin log dönüşümü öncesi ve sonrası dağılımı.....	50
Şekil 5.1a.	Engelund ve Hansen (1967) metoduyla laboratuar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.1b.	Engelund ve Hansen (1967) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.2a.	Graf (1967) metoduyla laboratuar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	61

Şekil 5.2b.	Graf (1967) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	61
Şekil 5.3a.	Ackers ve White (1973) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	62
Şekil 5.3b.	Ackers ve White (1973) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	62
Şekil 5.4a.	Yang (1979) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	63
Şekil 5.4b.	Yang (1979) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	63
Şekil 5.5a.	Molinas ve Wu (2001) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.5b.	Molinas ve Wu (2001) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.6a.	van Rijn (1984) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	65
Şekil 5.6b.	van Rijn (1984) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	65
Şekil 5.7a.	Shu-Qing Yang (2005) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.7b.	Shu-Qing Yang (2005) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	66

Şekil 5.8a.	Acaroğlu (1968) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.8b.	Acaroğlu (1968) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.9a.	Shen ve Hung (1972) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.9b.	Shen ve Hung (1972) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.10a.	Brownlie (1981a) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.10b.	Brownlie (1981a) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.11a.	Karim ve Kennedy (1981) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.11b.	Karim ve Kennedy (1981) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.12a.	Karim (1998) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.12b.	Karim (1998) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.13a.	Rottner (1959) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	72

Şekil 5.13b.	Rottner (1959) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	72
Şekil 5.14a.	MLR metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	73
Şekil 5.14b.	MLR metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	73
Şekil 5.15a.	YSA metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	74
Şekil 5.15b.	YSA metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	74
Şekil 5.16a.	ANFIS metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	75
Şekil 5.16b.	ANFIS metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	75
Şekil 5.17a.	RVM metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	76
Şekil 5.17b.	RVM metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması.....	76
Şekil 5.18.	Laboratuvar veri takımına ait test takımından rasgele alınan 10 verilik bir kısım için gözlenen ve RVM ile tahmin edilen değerlerin %95lik güvenilirlik aralığı bandı da gösterilerek kıyaslanması.....	78
Şekil 5.19.	Laboratuvar verileriyle kurulan RVM modelinin hata değerlerinin standart sapma dağılımı.....	78

Şekil 5.20.	Saha veri takımına ait test takımından rasgele alınan 10 verilik bir kısım için gözlenen ve tahmin edilen değerlerin %95lik güvenilirlik aralığı bandı da gösterilerek kıyaslanması.....	79
Şekil 5.21.	Saha verileriyle kurulan RVM modelinin hata değerlerinin standart sapma dağılımı.....	79
Şekil 5.22.	Tüm metotların hatalarının log normal dağılımlarının karşılaştırılması.....	80
Şekil 6.1.	Rottner (1959) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	88
Şekil 6.2.	Engelund and Hansen (1967) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	89
Şekil 6.3.	Acaroğlu (1968) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	90
Şekil 6.4.	Graf (1971) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	91
Şekil 6.5.	Shen ve Hung (1972) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	92
Şekil 6.6.	Yang (1973) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	93
Şekil 6.7.	Ackers ve White (1973) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	94
Şekil 6.8.	Brownlie (1981a) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	95
Şekil 6.9.	van Rijn (1984a,b) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	96
Şekil 6.10.	Karim ve Kennedy (1990) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	97
Şekil 6.11.	Molinas ve Wu (2001) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	98
Şekil 6.12.	Shu-Qing Yang (2005) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	99
Şekil 6.13.	RVM metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir.....	100

Şekil 6.14A.	Malezya nehirleri için toplam katı madde konsantrasyonu tahmin performansı a) Brownlie (1981a), b) van Rijn (1984a,b).....	103
Şekil 6.14B.	Malezya nehirleri için toplam katı madde konsantrasyonu tahmin performansı c) Molinas ve Wu (2001), d) RVM.....	104
Şekil 6.15A.	Aşağı Yellow Nehri için toplam katı madde konsantrasyonu tahmin performansı) Brownlie (1981a), b) van Rijn (1984a,b)	105
Şekil 6.15B.	Aşağı Yellow Nehri için toplam katı madde konsantrasyonu tahmin performansı c) Molinas ve Wu (2001), d) RVM.....	106

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Değişkenlerin birimleri.....	47
Tablo 4.2.	Modellerde kullanılan verilerin sınırlandırılması.....	48
Tablo 4.3.	Toplam katı madde hareketi denklemlerinde kullanılan boyutsuz parametreler.....	55
Tablo 5.1.	Metotların laboratuvar ve saha verilerine göre ayrı ayrı istatistiki açıdan değerlendirilmesi.....	80
Tablo 6.1.	Değişkenlerin birimleri.....	84
Tablo 6.2.	Modellerde kullanılan veri takımlarındaki sınırlandırmalar.....	85
Tablo 6.3.	Tüm metotlar için, farklılık oranı (DR) değeri 2'den küçük olan tahminlerin sayısı ve determinasyon katsayısı (R^2)	101
Tablo 6.4.	Malezya ve Aşağı Yellow Nehirlerindeki toplam katı madde konsantrasyonu tahmini için kullanılan metotlarının performansı.....	102

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Katı madde hareketi, yapay zeka modelleri, uygunluk vektör makinesi, katı madde hareketi denklemleri.

Akarsu yapılarının planlanması ve projelendirilmesinde nehirlerde taşınan toplam katı madde miktarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi, su kaynakları mühendisliğinde hayati önem taşımaktadır. Genellikle katı madde miktarı ya sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümlerle ya da literatürde bulunan katı madde hareketi denklemlerinden yararlanılarak belirlenmektedir. Bu denklemler akarsu ile katı maddenin farklı sayıda parametreleri için farklı formlarda yazılmışlardır. Bunların bazıları laboratuvar, bazıları arazi verileri veya teorik yöntemlerle elde edilmişlerdir ve değişik uygulamalarda çok farklı sonuçlar vermektedirler.

Bu tezde, toplam katı madde miktarını modellemek için iki ayrı senaryo düşünülmüştür. Birinci senaryoda hem laboratuvar hem de saha verilerine dayalı ayrı ayrı yapay zeka modelleri oluşturulmuş ve yapay zeka modellerinin tahminleri literatürde sıkça kullanılan toplam katı madde hareketi denklemleriyle kıyaslanmıştır. Bu senaryoda yeni bir yapay zeka modeli olan uygunluk vektör makinesi de (RVM) toplam katı madde miktarı tahmini için kullanılmış, model performansının diğer metotlardan daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. İkinci senaryoda ise yeni bir yapay zeka modeli olan uygunluk vektör makinesi (RVM) toplam katı madde miktarının tahmini için kullanılmış, RVM'in eğitim aşaması yalnızca laboratuvar verileriyle yapılmış ve modelleri test etmek için de saha verileri kullanılmıştır. Bu senaryoda ise RVM tahminleri katı madde hareketi denklemlerinin tahminleriyle karşılaştırılmış, RVM sonuçlarının bu denklemlerden daha doğru ve güvenilir tahminler verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sadece laboratuvar verilerine dayalı geliştirilen RVM modelinin saha şartları için de iyi tahminler vermesi, hem laboratuvar kanallarında hem de nehirlerde meydana gelen katı madde hareketi olayındaki temel fiziksel süreçlerin aslında aynı olabileceği fikrini uyandırmıştır. RVM modelinin başarılı ekstrapolasyonlar yapabilmesi için modeldeki girdi boyutsuz parametrelerinin laboratuvar ve saha verileri için aynı ve uygun aralıkta seçilmesi gerektiği de bu senaryoda gösterilmiştir.

ESTIMATION OF TOTAL SEDIMENT LOAD IN RIVERS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

SUMMARY

Keywords: Sediment transport, artificial intelligence methods, relevance vector machine, sediment transport equations.

This dissertation has been prepared in partial fulfillment for the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Civil Engineering of the Graduate School of Sakarya University.

Correct estimation of sediment volume carried by a river is very important for many water resources projects. Sediment concentration is generally determined from direct measurements, or estimated from sediment transport equations that require detailed information about the flow and sediment characteristics. However, there is often a large discrepancy between these models and observations. The complexity of sediment transport processes presents an opportunity for the application of alternate methods. As a fairly recent computing tool, relevance vector machines (RVMs) are gaining popularity in the fields of artificial intelligence methods.

This dissertation presents two scenarios. The first scenario is to develop artificial intelligence methods for estimation of total sediment concentrations. The resulting artificial intelligence models are then trained and tested on a large data set and the performance of the approaches are compared with more conventional transport formulae. The second scenario is to obtain a unified approach to estimate total sediment transport, with a focus on elucidating the differences in the empirical predictions of laboratory and field data. RVM based probabilistic models were developed using laboratory data, and their performances were tested against field data and with conventional prediction methods. For total sediment transport, the RVM model trained only on laboratory data yielded results for field conditions that are better or at least comparable with existing methods. The findings of this study suggest that the main phenomenon governing fluvial process in flumes and rivers are closely related, and that the choice of dimensionless input variables should be in the same range for both laboratory and field data for successful extrapolation from flumes to rivers.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çağımızın yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan hidrolik potansiyelden yararlanma oranı, ülkelerin sanayileşmelerinin bir göstergesi haline gelmiştir. Nitekim günümüzde, gelişmiş ülkeler sahip oldukları hidrolik potansiyelin tamamına yakınından yararlanmalarına karşı, dünya hidrolik potansiyelinin yaklaşık %80'lik bölümüne sahip gelişme yolundaki ülkelerde ise bu potansiyelden yararlanma oranı yaklaşık %25-%30 civarındadır. Bu nedenle, hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmalarının gelecekte gelişmekte olan ülkelerde yoğunluk kazanacağı kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizde de, hidrolik potansiyelden yararlanma oranı bu durumdan farklı değildir. Üstelik ülkemiz hidrolik kaynaklı enerji potansiyeli açısından incelendiğinde, 1999 yılı sonu itibariyle mevcut potansiyelin % 32'lik kısmı işletmeye alınmış olup, geriye kalan kısmı ise henüz enerji amaçlı olarak kullanılmamaktadır (EİE, 2000).

Dolayısıyla sosyo-ekonomik gelişmelere paralel bir şekilde artacak olan enerji talebi doğrultusunda hidrolik potansiyelden yararlanma çalışmaları ülkemizde de yoğunluk kazanacaktır. Bilindiği gibi, akarsularımız üzerinde bir yandan halkımızın içme ve kullanma, tarım ve endüstrinin su ihtiyaçlarını karşılamak, diğer yandan enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi çok çeşitli amaçlarla barajlar yapılmaktadır. Bu yapıların göllerini besleyen akarsuların getirdiği kum, silt, kil ve çakıl gibi katı maddeler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak barajların ekonomik ömürleri kısalmaktadır. Bu konu, Türkiye gibi yarı kurak bir iklimin egemen olduğu ve bununla birlikte karmaşık bir topografik yapıya sahip olan ülkemizde son derece önem kazanmaktadır (EİE, 2000).

Katı tanelerin yerkabuğundan sökülmesi olayı olarak tanımlanan erozyon, fiziksel anlamda bir aşınma ve aşındırma sürecinin fonksiyonudur. Akarsuların taşıdıkları katı maddeler, kısmen havzadan kısmen de akarsu yatağındaki aşınmalardan

kaynaklanır. Katı maddelerin akarsulara ulaşmasına kadar meydana gelen süreç, havza veya tabaka erozyonu denir. Akarsu yatağındaki oyulmalar ise yatak veya kanal erozyonu olarak adlandırılır. Havza erozyonu çoğunluğu havzadan gelen yıkanmış malzemenin, kanal erozyonu ise yatak malzemesinin kaynağını oluşturur. Havza ve yatak erozyonu sonunda, suyla birlikte hareket eden katı maddeler, akımın sürüklenme gücünün azaldığı yatak bölgelerinde ve baraj haznelerinde tabana çökerek birikirler. Akarsu boyunca, yataklarda meydana gelen oyulma ve yığılmalar, yatak şeklinin sürekli olarak değişmesine ve istenmeyen birçok sonuçlara yol açar; yani, akarsuyun morfolojik yapısı değişir, akarsu üzerindeki yapılar fonksiyon ve emniyet bakımından, hatta estetik açıdan önemli zararlar görür ve akarsuyun su kalitesi etkilenir. Bu problemlerin çözümü için katı madde tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Bayazıt, 1971).

Havza erozyonu yağmur damlalarının yere düşmesiyle başlar. Damlalar, sahip oldukları enerjinin doğurduğu çarpma sonucu toprak taneciklerini yerlerinden koparır veya küçük toprak parçacıklarını zerrelelere ayırır. Zeminin gevşemesine ve tanelerin yerlerinden sökülmesine sebep olan bir diğer etken de yüzeysel akışa geçen suyun enerjisidir. Damla çarpması ve yüzeysel akış etkisiyle harekete hazır hale gelen çözülmüş taneler, yüzeysel akış halindeki su ile birlikte taşınır ve kanalcıklarda akan su arttıkça, daha büyük kanalları oluşturarak katı maddeleri taşımaya devam eder. Ayrıca yüzey akış alanlarından gelen ve kanallarda akan su eğime, derinliğe ve hıza bağlı olarak tedricen artan bir aşındırıcı güce de sahip olacaktır.

Akarsuların taşıdığı katı maddeler, malzemenin kaynağına ve akarsudaki taşınma şekline göre iki şekilde sınıflandırılabilir:

1) Malzemenin kaynağına göre sınıflandırma:

- a) Yatak malzemesi (Bed material load),
- b) Yıkanmış malzeme (Wash load).

Yıkanmış malzeme, çoğunluğu havza erozyonundan gelen ve yatak malzemesinden daha ince olan malzemedir. Yatak malzemesi ise yatak erozyonu sonucu harekete geçen maddelerdir. Bu sınıflandırma kavramsal bir sınıflandırma olup havzadan veya

yataktan gelen maddeleri ayıran sınırın tam olarak belirlenmesi imkânsızdır. Genellikle, akarsularda taşınan katı maddelerin %90-%95'ini yıkanmış malzemeler oluşturur.

2) Akarsulardaki taşınma şekline göre sınıflandırma:

- a) Askı maddesi (Suspended load),
- b) Sürüntü maddesi (Bedload).

Askı maddesi suyun içinde askı halinde (tabana değmeden) hareket eden maddelerdir. Sürüntü maddesi ise akarsu yatağında yuvarlanarak, kayarak veya sıçrayarak hareket eden maddelerdir.

Askı maddesi daha ince taneli malzeme olmakla birlikte bunu sürüntü maddesinden ayıran kesin ve genel bir sınır yoktur. Çünkü katı madde hareketi sadece dane büyüklüğüne değil akım şartlarına da bağlıdır. Sürüntü hareketi yapan bir dane, şartlar değişince askı haline geçebilir, duruma göre bunun tersi de mümkündür. Literatürde gerek askı gerekse sürüntü hareketi hidrolik açıdan detaylı olarak incelenmiş ve bu ayırım için bir takım bağıntılar geliştirilmiştir.

Katı madde hareketinin incelenmesinde taşınma şekillerine göre yapılan sınıflandırma daha çok kullanılır. Diğerinde olduğu gibi bu sınıflandırmada da, sınıflandırmaya giren maddelerin toplamına, “toplam katı madde” denir. Yapılan tanımlardan da anlaşılacağı gibi askı maddesi, havza ve yatak erozyonu sonucu meydana gelen yıkanmış malzeme ve yatak malzemesinden oluşur (Erkek ve Ağırlioğlu, 1994).

Akarsu yapılarının planlanması ve projelendirilmesinde nehirlerde taşınan katı madde miktarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi su kaynakları mühendisliğinde hayati önem taşımaktadır. Özellikle baraj hazneleri gibi su depolama tesislerinde biriken katı maddeler hazne kapasitesini azaltır ve zamanla su alma yapısının (ağzının) tıkanmasına sebep olur. Hazne kapasitesinin azalması tesislerin ekonomik ömrünü kısaltır. Su alma yapısının tıkanması ise haznenin fonksiyon göremez duruma gelmesi demektir. Bu zararları önlemek daha doğrusu geciktirmek için baraj

haznesinde ölü hacim denilen pasif bir hacim bırakılır ve su alma yapısı bu hacim üstünde kalacak şekilde tasarlanır. Bir barajın hizmet süresi yani faydalı ömrü bu hacmin büyüklüğüne bağlıdır. Ölü hacmin gerekli olandan daha küçük ya da daha büyük olarak tayin edilmesi barajın ekonomisini oldukça önemli şekilde etkiler. Ayrıca, hazneye gelen katı maddeler sadece ölü hacimde değil, haznenin başka kısımlarında da birikeceği için barajın aktif depolama kapasitesinin gittikçe azalmasına ve belirli bir süreden sonra veriminin, beklenen seviyenin çok altına düşmesine neden olur. Bu sebeplerden ötürü, barajların ekonomik ömrünü dikkate alarak yapılan projelendirilmelerde, katı madde tür ve miktarının doğru olarak tahmin edilmesi son derece önemlidir.

Ayrıca akarsularda katı madde taşınımı, akarsu üzerine yapılan tesislerin ekonomik ömrünü azalttığı gibi tarımsal alanlara da zarar vermekte, toprağın en verimli kısmı olan üst tabakasının yok olmasının yanı sıra tarımsal ekonominin de zarar görmesine neden olmaktadır. Bunun doğal sonucudur ki çıplaklaşan ve çoraklaşan ülke topraklarında erozyon ve sedimentasyon olayları ile birlikte işlenebilir tarım arazilerinin yok olması ve çevre kirliliği sorunları da gündeme gelmiş bulunmaktadır.

Toplam katı madde miktarının tahmini; su alma yapılarının ve su kuvveti tesislerinin tip ve yerlerinin seçilmesinde; akarsu taşımacılığında ve taşkın kontrolü için akarsu düzenlemelerinde ortaya çıkabilecek aşınma ve yığılmaların belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır (EİE 2000). Aynı zamanda stabil kanalların dizaynında, viyadük, köprü gibi diğer yapıların akarsu içerisinde kalan ayaklarında meydana gelebilecek oyulma yada yığılma miktarlarının belirlenmesinde, su yapılarının çevreye olan etkilerinin belirlenmesinde ve nehir tabanından alınan kum çakıl gibi malzemelerin nehir morfoloji ve ekolojisine etkisinin araştırılması gibi konularda da önem arz etmektedir (Nakato, 1990; McBean ve diğ., 1988; Öztürk ve diğ., 2001; Doğan ve diğ., 2005; Işık ve diğ., 2008).

Her yıl tonlarca toprağın erozyon sonucu kaybolması bir başka deyişle akarsu depolama tesislerinde birikmesi veya denizlere taşınması, arazinin düzleşmesine, tarımsal alanların çoraklaşmasına ve toprağın veriminin azalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, bir havzadan ya da belirli tarımsal alanlardan oluşması muhtemel toprak

kayıplarının bilinmesi o havza ya da bölgelerde alınacak önlemler için zorunludur. Havza ile ilgili erozyon kontrolü çalışmalarının planlanması ve işletilmesinde ise katı madde miktarlarının zamana göre dağılımını da bilmek gerekir. Bu yönüyle de katı maddelerin tahmini, akarsu morfolojisinin değişimi ve su yapılarının ekonomisi kadar önemli sayılabilecek niteliktedir (Simons ve Şentürk, 1992; Chang, 1988; Julien, 1995; Yang, 1996).

Katı madde problemi aynı zamanda su kalitesini etkileyici özelliğiyle sağlık açısından da büyük önem taşımaktadır. Çünkü katı maddelerin kirlilik taşıyıcı bir yanı da vardır. Kirlenmiş suların ekolojik dengeyi bozucu birçok problemi beraberinde getirdiği bilinen bir gerçektir. Bu bakımdan, bir nehrin ya da rezervuardaki suyun kirlilik seviyesinin tahmininde yine katı madde dağılımının başka bir ifade ile toplam katı madde miktarı konsantrasyonun gerçek zamandaki tahmini yolunda yapılacak gelişmeler bu problemlerin çözümüne katkı sağlayacaktır (Lopes ve diğ., 2001, Müftüoğlu, 1980).

1.1. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Genellikle katı madde miktarı ya sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümlerle ya da literatürde olan katı madde taşınım denklemlerinden belirlenmektedir. Katı madde miktarının doğrudan akarsudan ölçümle belirlenmesi en güvenilir yol olmasına rağmen zaman alan ve maliyetli bir yöntemdir. Birçok gözlem istasyonunda su debisi ölçülmesine karşın katı madde miktarı ölçümü yapılmamaktadır. Ayrıca taşkınlar sırasında da sediment gözlem istasyonlarında katı madde miktarı ölçümü yapılamamaktadır (Öztürk ve diğ., 2001; Doğan ve diğ., 2005).

Genel olarak nehirlerde taşınan katı madde miktarı akım debisiyle ilişkilidir. Araştırmacılar bu ilişkiyi kullanarak regresyon analizi yapmaktadırlar. Ancak bu klasik regresyon analizi, problemin doğasından kaynaklanan lineer olmayan karmaşık ilişkilerden ötürü iyi sonuçlar vermemektedir (Cıgızoğlu, 2002a,b). Literatürde ise birçok toplam katı madde hareketi denklemleri vardır. Bu denklemler içerik olarak enerji veya akım gücüne dayalı ve regresyon analizine dayalı

denklemler olarak sınıflandırılabilir. Enerji veya akım gücüne dayalı olarak geliştirilmiş, literatürde sıkça kullanılan bazı denklemler şöyle sıralanabilir: Laursen (1958) akım şartları ile katı madde debisi arasındaki ilişkiyi açıklayan bir denklem önermiştir. Engelund ve Hansen (1967) ise Bagnold'un (1966) akım gücü içeriğine dayalı olan denklemini geliştirerek katı madde miktarı hesabı için bir denklem geliştirmişlerdir. Graf (1971) boyutsuz katı madde taşınma parametresi ve kayma şiddeti parametresine dayalı bir denklem önermiştir. Yang (1972) katı madde miktarının; akımın debisi, ortalama hızı, enerji çizgisinin eğimi ve kayma gerilmesi ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Ackers ve White (1973) Bagnold'un (1966) akım gücü içeriğine dayalı olan denkleminde faydalanarak bir denklem türetmişlerdir. van Rijn (1984a; b; c) toplam katı madde miktarını askı maddesi ve sürüntü maddesinin toplamı olarak ifade etmiştir. Molinas ve Wu (2001) akım gücü içeriğine dayalı olan bir denklem önermişlerdir. Shu-Quing Yang (2005) toplam katı madde miktarını açıklamak için boyut analizi kullanarak bir denklem türetmiştir.

Regresyon analizine dayalı olan ve literatürde sıkça kullanılan katı madde hareketi denklemlerinin de var olduğu yukarıda bahsedildiği. Rottner (1959) boyut analizi kullanarak elde ettiği boyutsuz parametreleri basit regresyon analizinde kullanarak bir denklem geliştirmiştir. Acaroğlu (1968) regresyon analizini laboratuvar ve saha çalışmalarından elde ettiği verilerine uygulayarak bir denklem türetmiştir. Shen ve Hung (1972) laboratuvar verilerine dayalı bir regresyon analizi denklemini elde etmişlerdir. Brownlie (1981a), Karim ve Kennedy (1981), Karim (1998) laboratuvar ve saha verilerini kullanarak toplam katı madde hareketini regresyon analizi denklemini ile açıklamaya çalışmışlardır.

Bu denklemler akarsu ile katı maddenin farklı sayıda parametreleri için farklı formlarda yazılmıştır. Bunların bazıları laboratuvar, bazıları arazi verileri kullanılarak veya teorik yöntemlerle elde edilmişlerdir. Uygulamada çok farklı sonuç vermektedirler (Vanoni, 1975; Chang, 1988; Raudkivi, 1990; Yang ve Wan, 1991; Simons ve Şentürk, 1992; van Rijn, 1993; Yang, 1996; Öztürk, ve diğ., 2001). Bu denklemlerin sonuçlarının karşılaştırılmasıyla ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır (White ve diğ., 1975; Alonso ve diğ., 1981; Brownlie, 1981a,b; van Rijn, 1983; 1984a,b,c; 1993; Yang, 1996; ASCE, 2006).

Bu çalışmalardan, aynı denklemin farklı laboratuvar ve saha verileri için farklı doğrulukta sonuçlar verdiği ve ele alınan bir nehirde kullanılabilecek en uygun denklemi seçmenin oldukça zor olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu denklemlerin hiç birinin evrensel kabulü de yoktur. (Vanoni, 1975; Garde ve Ranga Raju, 1977; Yang, 1996; Simons ve Şentürk, 1992). Bu denklemlerin kabulünün yalnızca geliştirildikleri şartlar için geçerli olabileceği söylenebilir (Yang, 1972).

Özellikle doğal olayların incelendiği hidroloji bilim alanında, klasik yöntemlerle rahat modeller oluşturulamaz. Çünkü doğal olaylar, birçok rasgele değişkenden etkilenmektedir, ayrıca doğal olaylar ve değişkenler arasındaki lineer olmayan ilişkileri açıklamak oldukça güçtür. Karşılaşılan tüm bu zorluklardan dolayı araştırmacılar, lineer olmayan problemlerin çözümü için basit, ucuz ve kolay metotlar geliştirme yoluna gitmişlerdir. Literatürde yapay zeka metotları olarak bilinen bu grup içerisinde, yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık (BM), adaptif sinirsel bulanık sistem (ANFIS) gibi bilimsel yöntemler bulunmaktadır:

YSA, yapay sinir hücrelerinin (nöron) katmanlar şeklinde bağlanmasıyla oluşturulan veri tabanlı sistemler olup insan beyninin öğrenme ve değişik koşullar altında çok hızlı karar verebilme gibi yeteneklerini sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit ederek, basitleştirilmiş modeller yardımıyla karmaşık problemlerin çözülmesinde kullanılmaktadır (McCulloch ve Pitts, 1943). Sınıflandırma, regresyon ve zaman serilerinin tahmini gibi değişik alanlarda kullanılan YSA uygulamalarının en büyük avantajı, karmaşık modellere gereksinim duyulmaksızın yalnızca ağı eğitilmesi yoluyla problemlere çözüm getirebilmesidir. YSA'nın en önemli dezavantajı ise eğitime aşamasının uzun zaman alabilmesidir. Bunun nedenleri, uygun ağ yapısının belirlenmesinde kesin kuralların olmayışı ve genellikle katman ve yapay sinir hücresi sayısı ile eğitime algoritması ve parametrelerinin deneme-yanılma yoluyla saptanmasıdır (Koç, 2003).

Bulanıklığın, genel olarak kesinlik içermeyen bilgiyi başka bir deyişle belirsizliği ifade ettiği söylenebilir. BM ise, sözel (linguistik) değişkenler kullanarak kesinlikler yerine belirsizliklerle çalışan bir yapay zeka tekniği olarak tanımlanabilir. Sözel bir değişkenin tipik değeri, örneğin “sıcak” veya “soğuk” gibi sözcüklerle ifade edilir

ve bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları ile temsil edilir. Bulanık mantığın klasik matematiksel yöntemlerden farkı, kesinliklerle çalışmaması ve niteliksel tanımlamalara olanak sağlamasıdır. BM, karmaşık durumlar karşısında insanın düşünme ve karar verebilme yeteneğinin sözel değişkenler yardımıyla kullanılmasını amaçlamaktadır. Bulanık sistemler ve sinirsel bulanık ağlar, BM'in yapay zeka alanındaki kullanımlarına örnek olarak verilebilir (Koç, 2003; Şen, 2004).

Son zamanlarda, yeni bir yapay zeka tekniği olan uygunluk vektör makinesi (RVM) mühendislik alanlarındaki problemlere uygulanmaya başlanmıştır. RVM modelini diğer yapay zeka modellerinden farklı kılan, bu modelin çözüm üretirken lokal minimumlara takılmaması ve daha kısa sürede yanıt verebilmesidir (Suykens, 2001; Bianchini and Gori, 1996). RVM genelleştirme yeteneği sayesinde çok boyutlu ve karmaşık problemleri yüksek doğrulukta çözebilmektedir.

Özellikle akarsudaki katı madde hareketi gibi karmaşık ve modellenmesi zor olan bir problemi açıklamak için yapay zeka metotlarının etkili modeller olduğu birçok araştırmacı tarafından daha önce literatürde gösterilmiştir:

Jain (2001) YSA modelini Mississippi Nehri üzerindeki iki istasyona ait derinlik-debi-katı madde konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanmıştır. Bu çalışmada, Jain, YSA modeli tahminlerinin geleneksel derinlik-debi-katı madde anahtar eğrileri tahminlerinden daha doğru olduğunu göstermiştir. Cıgızoğlu (2002a, 2002b) Kuzey İngiltere'de yer alan iki nehir için YSA modelini kullanarak askı maddesi miktarını tahmin etmiştir. YSA tahminlerini, katı madde anahtar eğrileri tahminleri ile karşılaştırmış, YSA modeli sonuçlarının katı madde anahtar eğrisi sonuçlarından çok daha doğru olduğunu göstermiştir. Kişi ve diğerleri (2008) Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan İyi Dere, Oltu Deresi, Harşit Deresi ve Çoruh Nehrindeki askı maddesi miktarlarını, YSA, ANFIS, katı madde anahtar eğrisi ve çoklu lineer regresyon analizi (MLR) modellerini kullanarak tahmin etmişlerdir. Modellerin tahminlerini karşılaştırdıklarında, YSA ve ANFIS modellerinin diğer geleneksel yöntemlere göre çok daha doğru tahminler verdiğini göstermişlerdir. Doğan ve diğerleri (2007c) laboratuvar verilerine dayalı toplam katı madde miktarını tahmin etmek için YSA modeli kullanmışlardır. YSA modelinin tahminlerini, toplam

katı madde denklemi tahminleriyle kıyas etmişler, sonuç olarak da YSA modelinin daha güvenilir ve doğru tahminler verdiğini ifade etmişlerdir. Doğan ve diğerleri (2007a, b) hem laboratuvar hem de saha verilerine dayalı toplam katı madde miktarını modellemişlerdir. Toplam katı madde miktarı tahminleri için RVM de dahil olmak üzere toplam 14 adet model kullanmışlardır. Tüm bu modelleri karşılaştırmışlar ve bu modeller içerisinde RVM modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez kapsamında, açık kanallarda taşınan toplam katı madde miktarını modellemek için iki ayrı senaryo düşünülmüştür. Birinci senaryoda, laboratuvar ve saha verilerini ayrı ayrı kullanarak, yapay zeka modellerinin (YSA, ANFIS ve RVM) oluşturulması ve bu modellerin tahminlerinin de toplam katı madde hareketi denklemlerinin tahminleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. İkinci senaryoda ise RVM'in toplam katı madde miktarının tahmini için kullanılması düşünülmüştür. Modelin eğitim aşamasının yalnızca laboratuvar verileriyle yapılması ve modeli test etmek için de saha verilerinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Ayrıca ikinci senaryoda RVM modelinin performansının bağımsız kontrolünü (independent check) yapabilmek için nehirlere ait veri tabanından, oldukça büyük bir nehir olan Aşağı Yellow Nehri (Lower Yellow River) ve oldukça küçük nehir takımlarına sahip olan Malezya nehirlerinin test takımları olarak seçilmesi düşünülmüştür. RVM ile, bağımsız seçilen bu nehirlerde taşınan toplam katı madde konsantrasyonunun tahmini ve sonuçlarının toplam katı madde hareketi denklemleriyle karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Bununla birlikte, her iki senaryo için de bağımlı ve bağımsız değişkenleri bulabilmek için boyut analizinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Boyut analizi olarak Buckingham Pi Teoremi seçilmesi uygun görülmüştür.

Birinci senaryoda, katı madde miktarını en iyi şekilde temsil edebilecek boyutsuz değişkenlerin sayısı ve olaya etkinlik derecelerini belirlemek için özellik seçim algoritmasının (feature selection algorithm) kullanılmasına karar verilmiştir.

İkinci senaryoda ise modellerin eğitiminin laboratuvar verilerine dayalı olması ve modellerin saha verilerine göre test edilmesi düşünüldüğünden, laboratuvar ve saha verilerine bağlı girdi değişkenleri değerlerinin birbirine yakın hatta aynı aralık (range) içerisinde olması zorunluluğunu doğurmaktadır. Bu nedenle, hem olayın fiziksel yapısını açıklayabilen hem de laboratuvar ve saha verileri için yakın ya da aynı aralıkta olan boyutsuz parametrelerin araştırılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Yapay Sinir Ağları

2.1.1. Yapay sinir ağlarına giriş

Yapay sinir ağları (YSA) modellerinin oluşturulmasında kesin kurallar olmamasına rağmen, daha önceki başarılı mühendislik uygulamaları esas alınarak takip edilecek öneriler bulunmaktadır. Bu önerilerden bahsedilmeden önce, bu bölümde YSA'ların bileşenlerinden kısaca bahsedilecektir.

2.1.2. Yapay sinir ağlarının bileşenleri

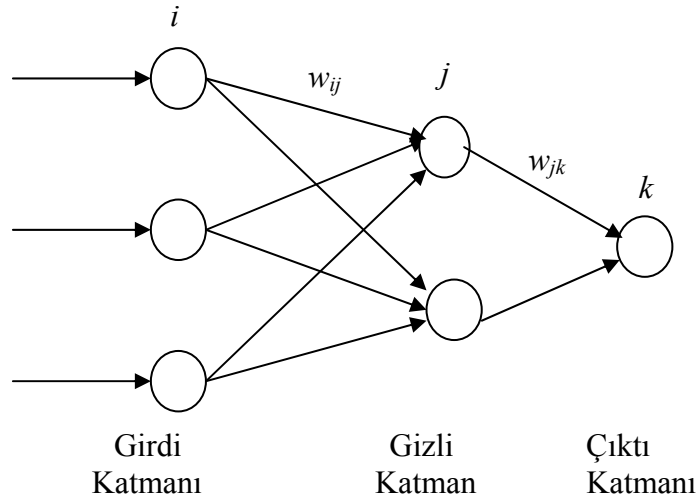
YSA kavramı insan beyninin çalışma ilkelerinin sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikri ile ortaya çıkmış olup ilk çalışmalar nöronların matematiksel modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. YSA'lar çok sayıda birbirine paralel birçok işlemci eleman ve aralarındaki bağlantılardan oluşmaktadır. Kısaca üç bileşenden oluşur:

- Nöronlar
- Ağırlıklar (Bağlantı gücü)
- Transfer (Toplama) fonksiyonu

YSA mimarisinde katmanlar ve bunların içerisinde yer alan nöronlar bulunmaktadır. Girdi katmanından alınan giriş sinyalleri bir sonraki katmana aktarılır. Bu işlem ağırlıklar vasıtasıyla gerçekleştirilir. Burada bahsedilen “ağırlıklar” iki nöron arasındaki bağlantı gücünü ifade etmektedir. Literatürde en çok kullanılan YSA tipi üç katmanlı ileri beslemeli geri yayınlı yapay sinir ağlarıdır.

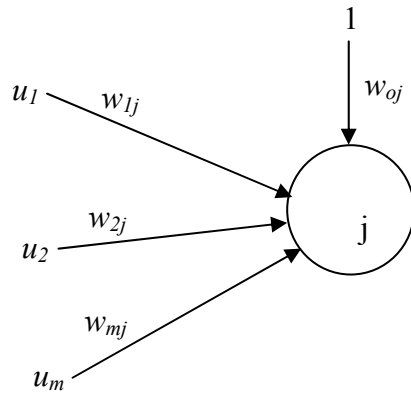
2.1.3. Üç katmanlı yapay sinir ağı

Tipik bir üç katmanlı ileri beslemeli YSA Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi bir girdi katmanı, bir gizli katman ve bir çıktı katmanından oluşur. Şekildeki i, j, k ifadeleri sırasıyla girdi, gizli ve çıktı katmanlarını göstermektedir. w ise her bir nöronun ağırlığıdır. Alt indisler, bağlantının hangi nöronlar arasında olduğunu göstermektedir. Örneğin w_{ij} , i nöronundan j nöronuna olan bağlantıyı açıklar. “İleri beslemeli” (feed forward, (FFNN)) ifadesi nöron bağlantılarının girdi katmanından gizli katmana veya gizli katmandan çıktı katmanına doğru olduğunu ve aynı katman içerisinde bulunan nöronların kendi aralarında bağlantı içermediğini vurgular.



Şekil 2.1. Üç katmanlı ileri beslemeli YSA mimarisi

Gizli katman ya da çıktı katmanındaki tipik bir nöron yapısı Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Tipik gizli ya da çıktı katmanına ait nöronun yapısı

j nöronuna gelen girdiler bir önceki katmandan gelen nöronların ağırlıklarla çarpılmış halidir. Bu değerlere bir de değeri 1 olan nöron eklenir. Bu da bias olarak isimlendirilen bir ağırlıkla çarpılır. Ortaya çıkan bu çarpım ifadeleri bir transfer (toplama) fonksiyonu ile toplanır. Bu transfer fonksiyonu,

$$S_j = \sum_{i=0}^m w_{ij} u_i \quad (2.1)$$

Denklemdaki parametreler aşağıda açıklanmıştır:

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

u_i : bir önceki katmandan gelen i nöronunun çıktısı;

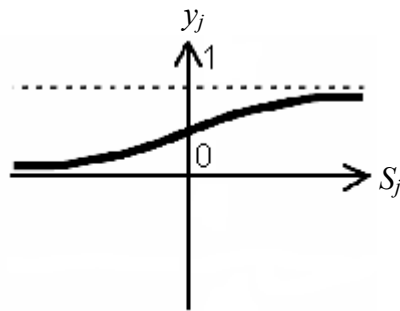
m : j nöronuna gelen girdilerin toplam sayısı.

y_j transfer fonksiyonu kullanılarak elde edilen j nöronundaki çıktı katmanıdır. Pek çok transfer fonksiyonu bulunmasına rağmen mühendislik alanında yapılan uygulamalarda sigmoid fonksiyonunun daha sık kullanıldığı görülmüştür. Sigmoid fonksiyonu,

$$y_j = f(S_j) = \frac{1}{1 + \exp(-S_j)} = \text{logsig}(S_j) \quad (2.2)$$

olarak açıklanmıştır.

Transfer fonksiyonu ise aldığı bütün giriş sinyallerini çıkış katmanına aktarır. Şekil 2.3.'de logaritmik sigmoid fonksiyonu verilmiştir.

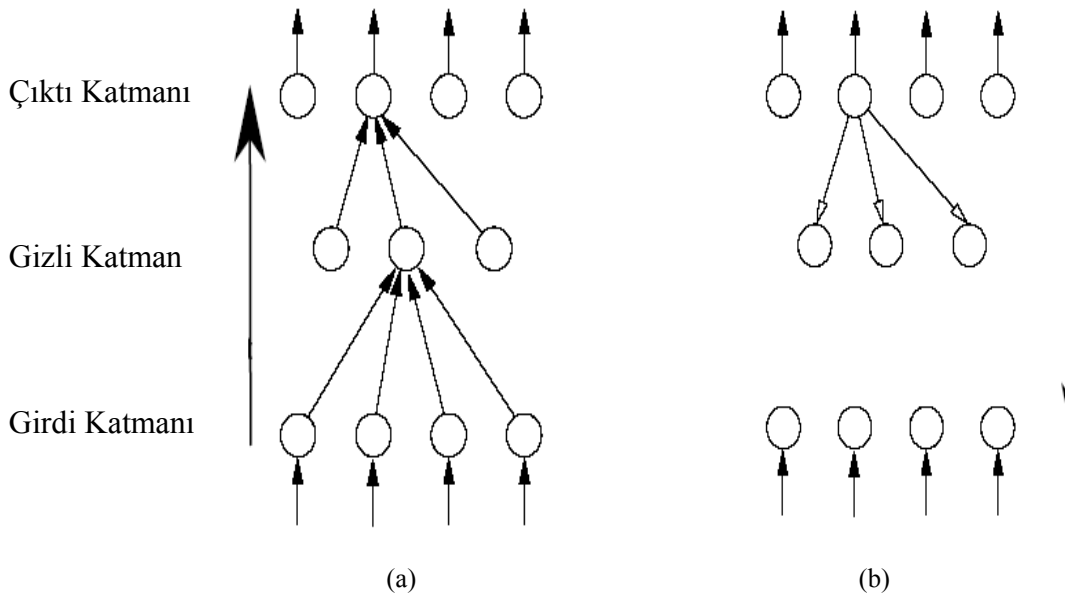


Şekil 2.3. Logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu

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 YSA'nın çıkış üretmesini sağlar. Eğer elimizde probleme bağlı olarak eksi değerlerin de bulunduğu bir çıktı grubu bulunsaydı, değerler tansig transfer fonksiyonu kullanılarak $[-1,1]$ arasına çekilebilirdi.

2.1.4. YSA'nın geri yayını

İleri beslemeli YSA mimarisinde, geri yayını algoritmasının en az üç bileşeni vardır. Bunlar girdi, gizli ve çıktı katmanlarıdır. Bütün bu katmanlar birbirleriyle Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi tamamen bağlantılıdır.

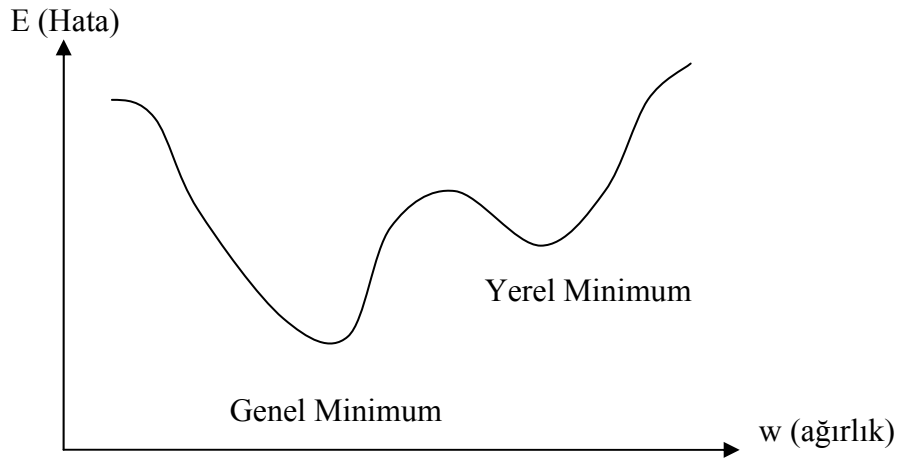


Şekil 2.4. a) Girdilerin ileri beslemesi b) Hatanın geriye yayılması

Geri yayını algoritmasında iki temel adım vardır. Bunlardan ilki ileri besleme safhasıdır ki, bu aşama aktivasyon fazı olarak da isimlendirilir. Bu aşamada, ağdaki giriş sinyalleri işlenerek çıktı katmanına ulaşırlar. Daha sonra, YSA'nın ürettiği sonuçlar, gerçek değerlerle kıyaslanarak hata miktarı bulunur. Bulunan bu hata miktarı geriye doğru yayılır. Yapay sinir ağlarında üç tip öğrenme şekli vardır. Bunlar danışmanlı, takviyeli ve danışmansız öğrenme tipleridir. Danışmanlı öğrenmede doğru cevap sisteme verilir. Takviyeli öğrenmede yalnızca ağın elde

ettiği değerin doğru olup olmadığı belirtilir. Danışmansız öğrenmede ise sistemin bulduğu sonuçlar hakkında herhangi bir bilgi verilmez.

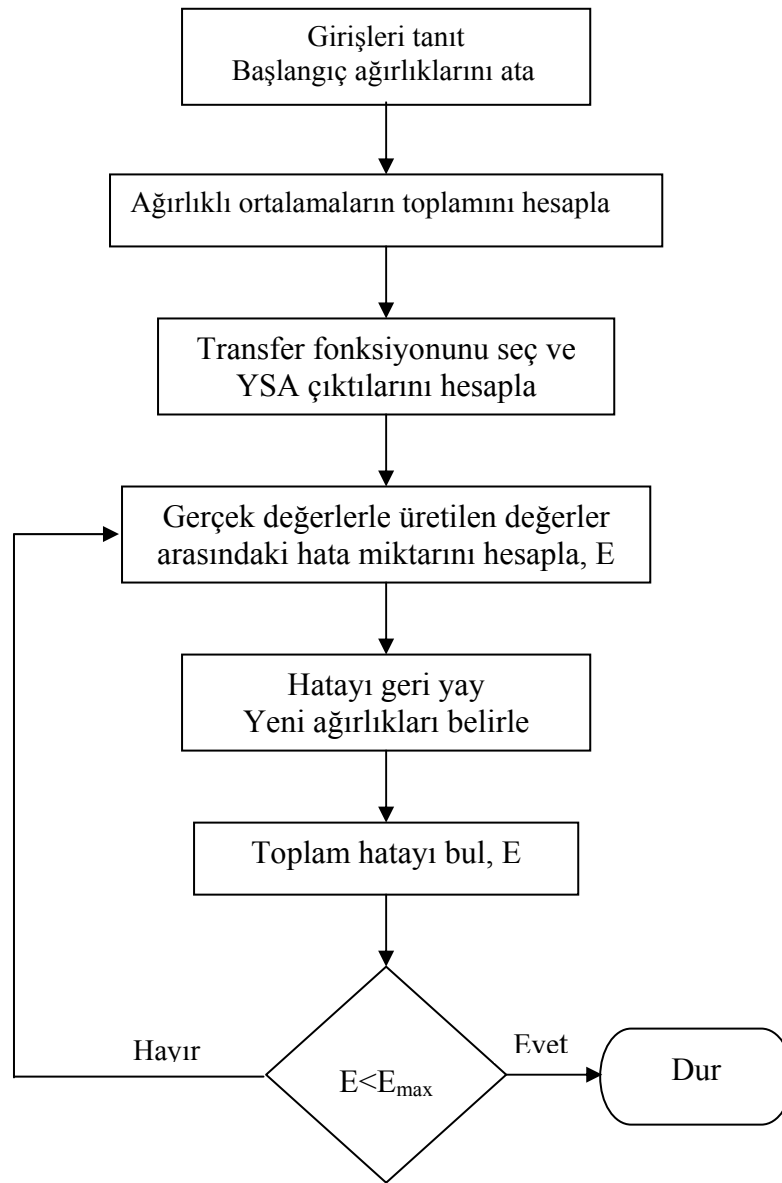
Geri yayılım algoritması, özellikle mühendislik problemlerinde danışmanlı öğrenmede kullanılmaktadır. Çünkü sistemin çıkışları gerçek değerlerle karşılaştırılmalı ve sistemin ürettiği sonuçlar böylelikle gerçek değerlere yakınsamalıdır (Baykal ve Beyan, 2004). Birçok geri yayılım modelleri delta öğrenme kuralını gerektirir. Bu sayede çıktı tabakasındaki hata miktarını ağırlıklar vasıtasıyla giriş tabakasına doğru geriye yayarak yeni çıktıların oluşması için ağırlıkların güncellenmesi sağlanır. Bu işlem daha önceden belirlenen kabul edilebilir hata değerine indirgenene kadar devam eder. YSA mimarisinde gizli katman yok ise her bir iterasyonda hata değerinin düşmesi ve genel minimum hata değerine ulaşması kesin bir işlemdir. Çünkü hata yüzeyi parabolik bir dağılım gösterir. Ancak, YSA mimarisinde gizli katman ya da katmanlar varsa hata yüzeyi parabolik olmayacağı için ağırlıkların ayarlanması sırasında yerel minimumlara takılabilir. Bu durum Şekil 2.5.'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Gizli katmanlı YSA modelinde ağırlık (w) ve hata (E) grafiği

Eğitim esnasında hata değerleri gerçek ve hesaplanan değerler arasındaki farktır. Bu fark da oluşturulan modelin performansını göstermektedir. Eğitim safhasına geçmeden önce problemdeki parametreler tanımlanmalıdır. Toplam girdi sayısına ilaveten gizli katman sayısı ve bunlara ait nöron sayısı ile iterasyon sayısı

belirlenmelidir. Çünkü ağın performansı gizli katman ve bunların içindeki nöron sayılarından etkilenmektedir. Öncelikle, girdi ve çıktı değerleri ağa tanıtılmalıdır. Daha sonra gizli katman ve bu katmandaki nöron sayıları ile ağın iterasyon sayısı belirlenmelidir. Öğrenmenin başlangıcında ağırlıklar ağ tarafından rasgele atanır. Geri yayılım algoritmaları başlangıç ağırlıklarına duyarlıdır. Bu sebeple ilk değerler rasgele verilerek sistemin istenmedik bir şekilde yakınsaması engellenmiş olur. Şekil 2.6.'da tipik bir geri yayılım algoritmasının akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.6. Geri yayılım algoritmasının akış şeması

2.1.5. YSA'nın tarihçesi

İnsan beyninin çalışma şeklinin matematiksel modellere aktarılması 1930'lu yıllara dayanmaktadır. 1986 yılında, bu alanda Rumelhart'ın geri beslemeli YSA algoritmasını bulmasıyla önemli bir gelişme sağlanmıştır (Rumelhart ve diğ., 1986). Son 10 yılda ise daha gelişmiş algoritmaların bulunmasıyla son derece zor olan ve zaman alan problemlerin çözümü için önemli bir aşama kaydedilmiştir.

2.1.6. Girdi ve çıktı değişkenlerinin seçilmesi

YSA mimarisini daha etkili kullanmak için problemdeki girdi değişkenleri seçimine çok dikkat edilmelidir. Bunu yapabilmek için de problemi çok iyi anlamak gerekmektedir. Sağlam bir YSA mimarisinde eğitimin daha iyi yapılabilmesi için anahtar değişkenler olaya dahil edilirken gereksiz parametrelerin kullanımından sakınılmalıdır. Bu nedenle, olaya etki eden parametrelerin seçimi için *duyarlılık analizi* yapılmalıdır (ASCE, 2000). Yeterli sayıda veri olması durumunda duyarlılık analizi iyi bir karar verici niteliğinde olmaktadır.

2.1.7. Duyarlılık analizi

Duyarlılık analizi, bir değişkenin olay üzerinde etkisi olup olmadığını, varsa ne kadar etkili olduğunu belirlemek için kullanılır. Eğer bir değişkenin olay üzerindeki etkisi çok az ya da yok ise eğitimin daha iyi olması için o parametre sistemden çıkartılabilir.

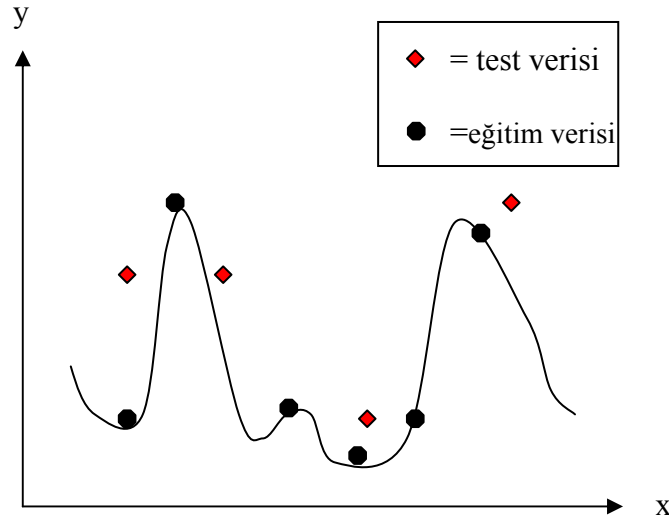
2.1.8. YSA'nın planlanması

Bu önemli adımda ise YSA mimarisinin belirlenmesi ve eğitim algoritmasının seçimi yapılmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi, gizli tabakadaki nöron sayısı, ağın performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Gizli tabakada çok az veya çok fazla nöron olması sistemin performansını zayıflatır. Eğer çok az nöron varsa sistem yeterince eğitilmemiş olacaktır. Eğer çok fazla nöron varsa aşırı eğitimden dolayı sistem olayı öğrenmekten ziyade verileri ezberleme yoluna gidecektir.

2.1.9. Eğitim ve test

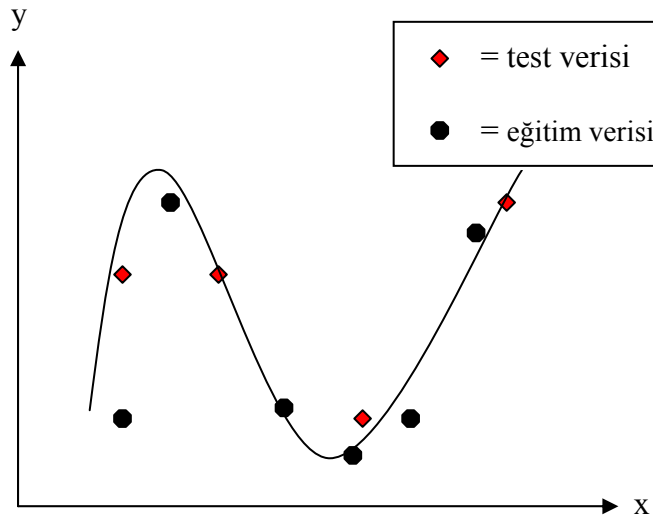
Problemdeki toplam veriler eğitim ve test grupları olmak üzere ikiye ayrılır. Eğitimin amacı problemin YSA tarafından algılanmasıdır. Performans fonksiyonları vasıtasıyla ağırlıklarda yapılacak ayarlamalar sayesinde YSA'nın ürettiği sonuçların tolerans limitlerine ulaşması hedeflenir. Bu işlem kısaca eğitim olarak adlandırılabilir. YSA mimarisin o problem için yeterli düzeyde tahmin yapabilmesi için eğitim safhasında kullanılacak veri sayısı yeterli miktarda olmalıdır. Bu durum öğretmen-öğrenci ilişkisi ile örneklendirilebilir. Bir öğretmen derste işlediği konu hakkında yeterli bilgi vermeden öğrencileri sınava tabi tutarsa, öğrenciler o sınavdan iyi sonuçlar alamayacaklardır. Eğitim işlemi sona erdikten sonra ağın test edilme işlemine sıra gelir. Test için ayrılan veri grubunun girdi parametreleri, eğitim yoluyla oluşturulan YSA modeline verildiğinde, YSA çıktı değerleri üretir. Yine daha önce bahsedilen performans fonksiyonları kullanılarak YSA'nın etkinliği tespit edilmiş olur.

Ağın eğitiminin başlangıcında ağırlıklar ağ tarafından belirlenir. Eğitim esnasında, hatalara bağlı olarak ağırlıklar güncellenir. Bu düzenleme hata düzeyini belirlenen değere indiren ağırlık matrisi bulununcaya kadar devam eder. Fakat burada eğitimin fazla yapılması olumsuz sonuçlar doğurabilir. Elde edilen modeldeki ağırlık değerleri eğitime çok bağlı kaldığından genelleştirme yeteneği azalır. Eğitim veri grubundaki olası hatalı değerler sistem tarafından mutlak doğruymuş gibi algılanacağından eğitimin kalitesi düşük olacaktır. Bu durumu yine öğretmen-öğrenci arasındaki ilişkiyle açıklanabilir. Öğrenciler derste verilen sorulara ve bunların çözümlerine çok bağımlı kalırlarsa farklı sorularla karşılaştıklarında ezberlemeden dolayı doğru çözümler üretmeyebilirler. Şekil 2.7a'da aşırı öğrenme diye adlandırılan durum gösterilmektedir. Bu şekilde YSA modelinde eğitim verilerinde hemen hemen hiç hata vermezken, test grubunda ise ezberlemeden dolayı çok büyük hatalar vermektedir.



Şekil 2.7a. Genelleştirme yeteneği olmayan YSA mimarisi

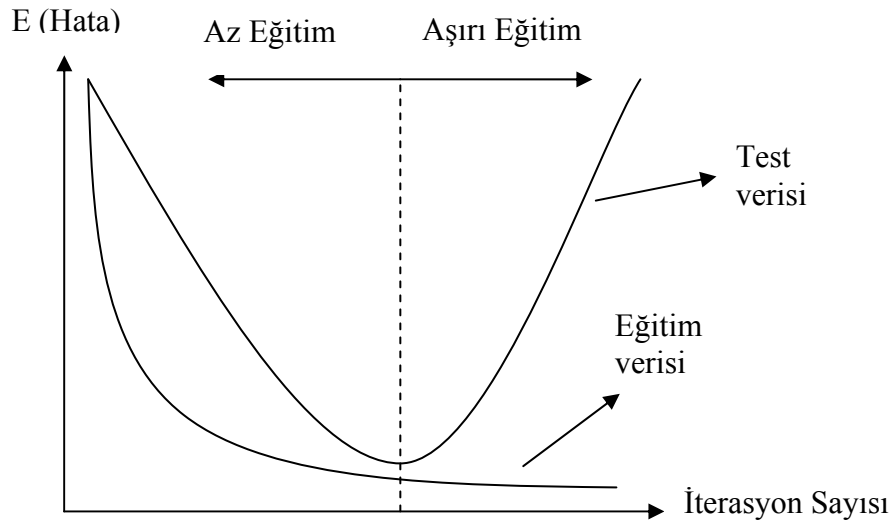
Bu durumdan kaçınmak için eğitim safhası aşırı eğitim (ezberleme) olmadan durdurulmalıdır. Şekil 2.7b’de ise uygun bir YSA mimarisi verilmiştir. Eğitim grubundaki hata değerleri Şekil 2.7a’ya göre daha büyük gözükse de asıl hedef olan test grubunun performansı diğer duruma göre son derece yüksektir. Eğilim çizgisinden de görüldüğü gibi YSA modelinin uygunluğu anlaşılmıştır.



Şekil 2.7b. Genelleştirme yeteneği olan YSA mimarisi

Sonuç olarak YSA ile oluşturulmuş modelin eğitim ve test gruplarındaki hata değerlerinin benzer olması o modelin iyi tasarlanmış uygun bir model olduğunu ifade edebilir. Şekil 2.8.'de de eğitim ve test değerlerinin hatalarının iterasyon sayısına göre değişimi verilmiştir. Eğitim başladığında, eğitim ve test verilerinin hata değerleri birlikte düşer.

Optimum eğitim düzeyine ulaşıldıktan sonra, eğitim grubunun hataları düşmeye devam ederken test grubunun hataları artmaya başlar. Bu durum aşırı eğitimin ya da ezberlemenin başladığının göstergesidir. O anda iyi bir YSA modelinin elde edilmesi için eğitimin durdurulması gerekir (Merwin, 2004). Eğer eldeki veri sayısı çok az ise diğer bir kontrol mekanizması olarak ortalama karesel hata (OKH) kullanılabilir. Bu durumda hata değerleri sabitlendiğinde eğitimin durdurulması aşırı eğitimi engelleyebilir.



Şekil 2.8. Eğitim ve test verilerine göre hatanın dağılımı

2.1.10. YSA'ların avantajları

YSA'larının sık kullanılmasının pek çok sebebi vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir:

1. YSA'lar girdi ve çıktı değerleri arasında herhangi bir matematiksel açıklamaya gerek duymadan ilişki kurabilir.

2. Ölçümlerde kullanılan deney aletlerinin yetersizliklerine rağmen YSA yine de iyi sonuçlar üretebilmektedir.
3. YSA, karmaşık farklı yapıdaki problemlere kolaylıkla adapte olabilmektedir.
4. Bir kez anahtar girdi parametrelerinin sisteme verilmesi sonucunda YSA'lar benzer problemlere uyarlanabilir (ASCE, 2000).

Genellikle matematiksel açıklamalar sınırlı sayıdaki deneysel gözlemlerden elde edilmiştir. Dolayısıyla yapıları gereği tahmin yetenekleri sınırlıdır. Bu durum da YSA'ların ön plana çıkmasını sağlar. Çünkü YSA karmaşık yapıdaki diferansiyel denklemlere ihtiyaç duymadan sonuç üretebilir. Girdi ve çıktı verilerindeki gürültülü değerlerin YSA'lar tarafından ağ üzerinde dağıtılmalarından dolayı, modelin doğruluğunda fazla kayıplar meydana gelmemektedir. YSA'ların pek çok sayıdaki farklı problemlere uygulanabilmesinin nedeni transfer fonksiyonunun lineer olmaması özelliğidir. YSA yaklaşımı daha önceden tanımlanmış bir fonksiyonel yapı gerektirmez. Çünkü problemin yapısına direkt adapte olabilmektedir.

2.2. Bulanık Mantık

2.2.1. Bulanık mantık giriş

Özellikle doğal olayların bulunduğu hidroloji bilim alanında, klasik yöntemlerle rahat modeller oluşturulamaz. Çünkü doğal olaylar birçok rasgele değişkenden etkilenmektedir ayrıca lineer olmayan ilişkiler içermesinden dolayı ele alınan probleme son derece bağımlıdır, dolayısıyla evrensel değildirler. Karşılaşılan tüm bu zorluklardan dolayı araştırmacılar, lineer olmayan problemlerin çözümü için basit, ucuz ve kolay metotlar geliştirme yoluna gitmişlerdir.

Literatürde yapay zeka metotları olarak bilinen bu grup içerisinde yapay sinir ağları, bulanık mantık, bulanık sinir ağları gibi bilimsel yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de bulanık mantıktır.

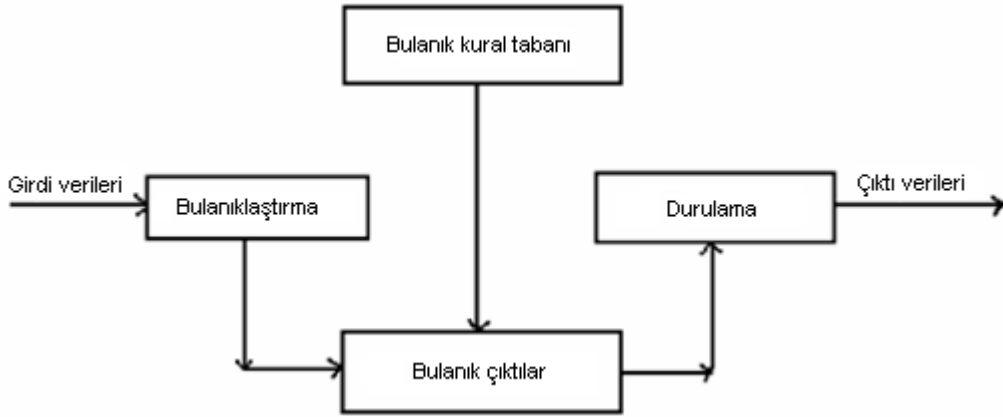
BM, bir bulanık küme mantığına dayanır. Bulanık kümedeki kümeye aitlik derecesi, probleme bağlı olarak oluşturulan üyelik fonksiyonlarınca belirlenir. Klasik küme

kavramında bir eleman bir kümenin üyesidir veya değildir. Bulanık mantıkta kümeye üyelik derecesi μ , 0 ile 1 arasında değişir. 0 kümeye ait olmamayı, 1 ise kesin olarak o kümenin üyesi olmayı gösterir. Üyelik derecesi literatürde en çok, üçgen, yamuk, Gauss eğrisi gibi üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmaktadır.

Bulanık bir modeli kurma, bulanık mantık çıkarım ve karar verme süreci sağlayacak bir sistem geliştirmeye karşılık gelmektedir. Bulanık sistemler “eğer-o halde” (if-then) şeklinde kurallarla tanımlanıyorsa kural tabanlı bulanık sistemler olarak adlandırılmaktadır. Bulanık sistemler modelleme, veri analizi, öngörü ve denetim gibi alanlarda farklı amaçlarla kullanılabilir (Baykal ve Beyan, 2004; Şen, 2004).

2.2.2. BM’de model oluşturma süreci

1. Bulanıklaştırma: Her bir kural varsayımının doğruluk derecesini belirlemek için gerçek değerlere uygulanmış giriş değişkenleri üzerinde üyelik fonksiyonlarının belirlenmesidir.
2. Çıkarım: Her bir kural varsayımı için doğru değerlerin hesaplanması ve her kuralın hüküm kısmına uygulanması. Bir bulanık altkümede olan bu sonuçlar her kuraldaki her çıkış değişkenine atanırlar.
3. Bileşim: Her bir çıkış değişkenine atanmış bulanık alt kümelerinin tümünün, her bir çıkış değişkeni için bir tane bulanık alt küme oluşturulması için birleştirilmesi. Bu amaçla yaygın olarak, maksimum veya toplam fonksiyonları kullanılır.
4. Durulama: Bulanık çıkış kümesi kesin sayılara dönüştürülmek istendiği zaman yapılan işleme durulaştırma denir. Literatürde bir çok bulanıklaştırma yöntemi mevcuttur. Anlatılan bu sürecin gelişimi Şekil 2.9.’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Bulanık mantıkla modelleme aşamalarının şematik gösterimi

Bazı sistemler basit ve kesin matematiksel formül ve eşitliklerle açıklanamayacak kadar belirsizlik ve bulanıklık içerirler. Aralık matematiği ve bulanık mantık beraberce kullanıldığında, bu tip sistemler için alternatif bir matematiksel modelleme imkanı sağlanabilmektedir. Böyle durumlarda, güven aralığı ve bulanık üyelik fonksiyonları yaklaşık değer ölçümü için kullanılabilir ve bu şekilde bulanık sistem modeli kurulmuş olur. Literatürde bulanık kural tabanında modelleme çeşitleri iki tanedir. Bunlardan biri Mamdani (Mamdani-BM), diğeri ise Sugeno (Sugeno-BM) yöntemidir.

2.2.3. Mamdani tipi bulanık yaklaşım (Mamdani-BM)

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

2.2.4. Sugeno tipi bulanık yaklaşım (Sugeno-BM)

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

2.2.5. Su kaynakları mühendisliği alanındaki BM uygulamaları

Belirsizliklerin, kesinsizliklerin ve şüpheli durumların varlığı bulanıklık kavramına sebebiyet vermektedir. Son yıllarda bulanık mantık yönteminde meydana gelen gelişmelerden dolayı bilimsel çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılan bir model haline gelmiştir. Bulanık mantığın net olarak çözümlenemeyen problemleri çözebilme yeteneğinin altında yatan temel teori, problemin çözümüne insan mantığıyla yaklaşım, yorumlayabilme yeteneğidir. Veri girişindeki, olayı çözümlenme ve mantıklı sonuçlara varmadaki kolaylıkları ve üstünlüklerinden dolayı hidroloji alanında, yağış-akış modellerinin oluşturulması, göllerde meydana gelen buharlaşmanın tahmini, yağış-sızma ilişkisinin incelenmesi, nehir akımının tahmin edilmesi gibi konularda kullanılmaya başlanmıştır (Şen, 2004).

2.2.6. Adaptif sinirsel bulanık sistemler (ANFIS)

Esasen ANFIS yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir. Bu ağ, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere, katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur (Jang, 1993). Basit olması açısından, bulanık çıkarım sistemi, x ve y gibi iki girişi ve f gibi bir çıkışı olduğu farz edilerek ele alınabilir. İki tane bulanık Eğer-O Halde kuralı bulunan, birinci dereceden Sugeno bulanık modeli için tipik 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. Sugeno bulanık modeli için bulanık akıl yürütme mekanizmasını gösteren ve bu yapıya karşılık gelen eşdeğer ANFIS mimarisi Şekil 2.10.'da gösterildiği gibidir. Söz konusu bu ANFIS mimarisi için aynı katmanda bulunan düğümler, aşağıda da gösterildiği üzere aynı düğüm fonksiyonlarına sahiptirler.

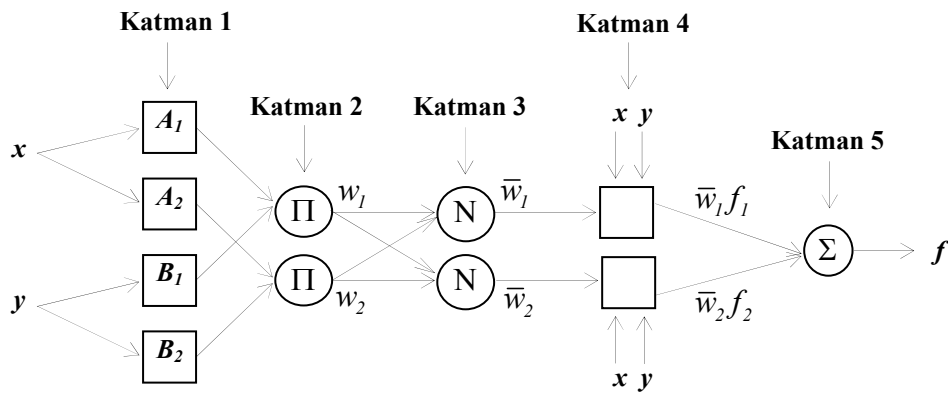
Katman-1:

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

$$O_{1,i} = \mu A_i(x), \quad i = 1, 2, \text{ için, ya da} \quad (2.3)$$

$$O_{1,i} = \mu B_{i-2}(y), \quad i = 3, 4, \text{ için} \quad (2.4)$$

Burada x (ya da y) düğümün girişini, A_i (yada B_{i-2}) ise söz konusu düğüme ait bulanık kümeyi ifade etmektedir.



Şekil 2.10. Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı “Sugeno Bulanık Modeli” ve eşdeğer ANFIS yapısı

Bir başka ifadeyle, bu katmanın çıkışları, kuralların şart ya da 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 olabilir.

Örneğin A_i , aşağıda belirtilen genelleştirilmiş çan eğrisi fonksiyonu ile ifade edilebilir.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (2.5)$$

burada yer alan $\{a_i, b_i, c_i\}$ kümesi, parametre kümesidir. Bu katmanın parametreleri, şart ya da 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;

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \quad (2.6)$$

Her bir düğümün çıkışı, her bir kural için gerçekleştirme derecesini oluşturur. Denklem (2.6)'da çarpma işlemi yerine bulanık “ve” işlemini icra eden, başka T-norm işlemleri de düğüm fonksiyonu gibi kullanılabilirler.

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.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (2.7)$$

Bu katmanda yer alan düğümlerin çıkışları, hesaplanışlarına uygun olarak, normalize edilmiş gerçekleştirme dereceleri olarak adlandırılırlar.

Katman-4:

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

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.8)$$

Burada \bar{w}_i , katman 3'ün çıkışı olup, $\{p_i, q_i, r_i\}$ ise bu katmanda bulunan düğümlerin parametrelerinden oluşan, parametre kümesidir. Bu katmanın parametreleri, sonuç ya da çıkış parametreleri olarak ifade edilecektir.

Katman-5:

Son katman olan 5. katmanda Σ ile etiketlenmiş olan ve toplam çıkışı hesaplamak üzere, kendisine gelen sinyallerin tümünü toplayan, sabit, tek bir düğüm yer alır.

$$\text{Toplam çıkış} = O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.9)$$

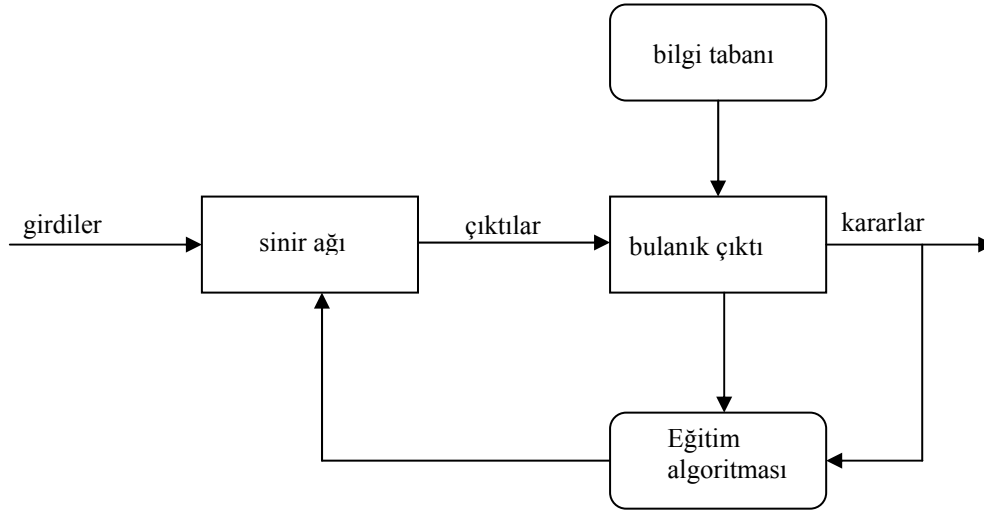
Böylece, tamamıyla Sugeno bulanık modelinin işleyişine sahip, adaptif bir ağ yapısı inşa edilmiş olur (Jang, 1993).

Bu modelde, bulanık mantık kavramları, klasik sinir ağlarının bilgi sunum yeteneklerini zenginleştirmek için kullanılmaktadır. Ayrıca belirlenen girdi-çıkış çiftleri için, en uygun üyelik fonksiyonuna sahip kuralların oluşturulmasında yapay sinir ağlarının eğitim algoritması kullanılmaktadır. Bulanık sinir sisteminin yapısı ve işleyişi Şekil 2.11.'de gösterilmiştir. BM ile yapılan modellemelerde üyelik fonksiyonlarının ayarlanması oldukça zor ve zaman alan bir süreçtir.

Sinir ağları öğrenme teknikleri bu süreci otomatik bir şekilde yapabilmektedir. Sinir ağları, bulanık sistemlerin üyelik fonksiyonlarının ayarlanmasının yanı sıra, verinin işleme sürecinde ve sayısal veriden otomatik olarak bulanık denetim kurallarının elde edilmesinde de kullanılabilir.

Sinirsel bulanık sistem, üyelik fonksiyonu parametrelerinin güncellenmesi için iki tip öğrenme algoritması kullanılabilir. 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 yöntem girdilerin üyelik fonksiyonları ile parametrelerin birleştirilmesi için geri yayılım algoritmasını ve çıktı üyelik fonksiyonlarının

parametrelerle birleştirilerek sonuç elde edilmesi için en küçük kareler yöntemini kullanır.



Şekil 2.11 Bulanık sinir sisteminin yapısı (Baykal ve Beyan, 2004)

YSA ve BM yöntemlerinin, tek başlarına birçok problemin çözümünde etkili sonuçlar verdiği bilinmektedir. Son zamanlarda, bu iki yaklaşımın birleştirilmesine dayalı olarak gelişen sinirsel bulanık sistemlere büyük bir ilgi vardır. Sinirsel bulanık sistemler için en çok kullanılan yaklaşım, eldeki bir kurallar kümesinin üyelik fonksiyonlarının ayarlanması için ya da otomatik kural üretimi için sinir ağı tasarlanmasıdır. ANFIS bu kategorideki en sık başvurulan sistemlerden birisidir. ANFIS'in temeli, Sugeno-BM yöntemine dayanmaktadır. Burada kuralın sonuç kısmı bulanık bir küme değil, kesin girdilerin ağırlıklı doğrusal bileşkesidir.

ANFIS modellenmesi yapısal açıdan Sugeno-BM modeline benzer. Sugeno-BM'den farklı olarak alt kümeleri kendisi oluşturur. Alt kümelere ait üyelik fonksiyonlarının aralıkları ile üyelik derecelerini ayarlayarak bulanık kuralların oluşturulmasını sağlar ve sonuç üretir. Bulanık mantık modeli kurallarının ANFIS ile belirlenmesi, modelin kolay ve zaman almadan oluşturulması bakımından çok önemlidir (Nayak ve diğerleri, 2004).

2.3. Uygunluk Vektör Makinesi

Bağımlı değişkenler (girdi parametreleri) ve bağımsız bir değişken (çıkı parametresi) arasındaki ilişkileri bulmak klasik bir istatistiksel öğrenme problemidir. Eğer çıkı parametresi sürekli bir değişken ise öğrenme problemi regresyon olarak bilinir, diğer yandan çıkı parametresi belli bir kategoriye ait bir değişken ise problem bir sınıflandırma problemi olarak söylenebilir. Literatürde, katı madde taşınımı olayındaki girdi ve çıkı parametreleri arasındaki ilişkiler genellikle lineer olarak kabul edilmektedir. Bu kabul tercih değil, zorunluluk olarak söylenebilir. Lineer modelleri geliştirmek basit ve kolay olabilir, ancak lineer olmayan modelleri geliştirmek oldukça zor olabilmektedir.

Son on yıldır lineer olmayan modeller YSA kullanarak çözümlenmeye çalışılmaktadır (ASCE, 2000). Matematiksel olarak YSA evrensel bir tahmin yöntemidir. Örneğin, eğitim takımı içerisinde herhangi bir tipte lineer olmayan ilişkiyi genelleştirebilir. Ancak bu esneklik bazı problemler doğurabilir. Geleneksel YSA modellerinin bazı dezavantajları vardır. Lokal minimuma takılma ve optimum model mimarisinin seçilmesi örnek olarak söylenebilir. Bununla birlikte aşırı eğitimi (ezberleme) engellemek için YSA modelinin karmaşıklığını kontrol altına alabilecek basit bir prosedür mevcut değildir. Bayes çıkarım ile bağımlı kernel metotları lineer olmayan problemler için YSA'dan daha iyi bir alternatif sunabilmektedir. İstatistiksel metotlar kategorisindeki en başarılı model uygunluk vektör makinesidir (RVM). RVM de YSA gibi evrensel bir tahmin yöntemidir. RVM modeli Bayes çıkarımı ile bağımlı olduğundan test datası üzerinde oldukça başarılı bir şekilde lokal minimumlara takılmadan genelleşebilir. Bu tekniğin en önemli özelliği tahminlerdeki belirsizlikleri olasılıksal yorumlarla açıklayabilmesidir. Son zamanlarda RVM modeli hidroloji alanındaki problemlere uygulanmaya başlanmıştır. Örneğin, yer altı suyu kalitesinin modellenmesi (Khalil ve diğ., 2005a), rezervuardan su bırakılmasının gerçek zamanlı yönetimi (Khalil ve diğ., 2005b), kaotik hidrolojik zaman serilerinin modellenmesi (Khalil ve diğ., 2006) ve iklim değişikliklerinin bölgesel hidroloji üzerindeki etkilerinin araştırılması (Ghosh ve Mujumdar, 2008) gibi çalışmalar literatürde yer almıştır. RVM hakkında daha ayrıntılı bilgilere Tipping (2001), Scholkopf ve Smola (2002) ve Bishop (2006)

yayınlarından erişilebilir. RVM modelinin regresyon problemlerine yönelik matematiksel denklemleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.3.1. Regresyon için RVM

N adet sonlu sayıda örnek içeren bir eğitim takımı $\{(\mathbf{x}_i, y_i), i = 1, \dots, N\}$ şeklinde ifade edilir. Bu durumda i . (i^{th}) girdi örneği \mathbf{x}_i , d adet bağımsız değişkenden oluşan bir vektörü ifade eder (i.e. $\mathbf{x}_i = [x_{i1}, \dots, x_{id}] \in \mathfrak{R}^d$ ve $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N]^T$), ve $y_i \in \mathfrak{R}$ ($\mathbf{y} = [y_1, \dots, y_N]^T$) ve aynı zamanda ilgili bağımlı değişkendir. Bununla birlikte regresyon ilişkisinin denklemi şu şekilde tanımlanabilir,

$$y_i = f(\mathbf{x}_i, \mathbf{X}; \mathbf{w}) + \varepsilon_i = \sum_{j=0}^N w_j K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) + \varepsilon_i \quad (2.10)$$

burada $\mathbf{w} = [w_0, w_1, \dots, w_N]^T$ ağırlık vektörünü göstermektedir. ε_i ise ortalaması sıfır ve varyansı σ_ε^2 olan bir Gauss dağılımına sahip olduğu kabul edilen hata terimini ifade etmektedir. $K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ bir kernel fonksiyonu olup aşağıdaki gibi açıklanabilir,

$$K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } j = 0 \\ \exp\left(-\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2 / \sigma_{\text{kernel}}^2\right) & \text{Eğer } j \neq 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

burada σ_{kernel}^2 , kernel fonksiyonunun genişliği olarak bilinir. RVM modelinin eğitimi, \mathbf{w} , σ_ε^2 ve σ_{kernel}^2 parametrelerinin tahminini içerir.

Bu model için veri takımının olasılığı aşağıdaki formülle hesaplanır,

$$p(\mathbf{y} | \mathbf{w}, \sigma_\varepsilon^2) = \prod_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\varepsilon^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_\varepsilon^2} [y_i - f(\mathbf{x}_i, \mathbf{X}; \mathbf{w})]^2\right\} \quad (2.12)$$

RVM'lerde öğrenme şu şekilde sağlanır. Model parametreleri için önceki Gauss dağılımı belirtilir ve daha sonra da Denklem (2.12)'deki olasılık fonksiyonu kullanılarak parametreler için bir sonraki Gauss dağılımı tahmin edilir. Bu çalışmada her bir ağırlık vektörüne otomatik uygunluk belirleme (*automatic relevance determination*, (ARD)) atanmış olup aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$p(w_j | \alpha_j) = \mathcal{N}\left(0, \frac{1}{\alpha_j}\right) \quad (2.13)$$

burada α_j hiperparametre (*hyperparameter*) olarak adlandırılır. Ağırlıklar için sıfır-ortalamalı (*zero-mean*) Gauss dağılımı öncesi (Denklem (2.13)) bir seçim küçük ağırlıklar için bir tercihi vurgular ve bu nedenle Denklem (2.10)'daki regresyon fonksiyonunun tahminini kolaylaştırır. Bu formülasyonun diğer bir avantajı ise öğrenme esnasında birçok α_j hiperparametresinin sonsuza yaklaşması sonucu bu hiperparametrelere karşılık gelen w_j ağırlıklarının sıfır merkezli delta fonksiyonları olma eğilimleri ve dolayısıyla Denklem (2.10)'dan silinerek denklemde seyrelmelere yol açmalarıdır. Sıfır olmayan (*non-zero*) ağırlıklara karşılık gelen geride kalan örneklerin yalnızca fonksiyon yakınsaması için uygun olduğu var sayılır ve dolayısıyla öğrenme makinesi (learning machine) RVM olarak adlandırılır.

Tipping (2001) sonrasında bilgi içermeyen (*non-informative*) önceller diğer model parametrelerine ($\alpha_j, \sigma_\varepsilon^2$) atanmıştır. Atanmış önceller ve Denklem (2.12)'de tanımlanan olasılık fonksiyonu yardımıyla, Bayes kuralı kullanılarak model parametrelerinin sonraki dağılımı tahmin edilir. Ağırlık vektörü için sonraki dağılım bir Gauss dağılımına dönüşür ve $p(\mathbf{w} | \mathbf{X}, \mathbf{y}) = \mathcal{N}(\boldsymbol{\mu}_w, \boldsymbol{\Sigma}_w)$ şeklinde ifade edilir. α_j ve σ_ε^2 'nin sonraki dağılımları kapalı bir forma sahip değildir ve $\alpha_{j_{\max}}$ ve $\sigma_{\varepsilon_{\max}}^2$ modlarında delta fonksiyonlarıyla yaklaşım yapılır.

Bağımlı değişken y^* 'ın \mathbf{x}^* bağımsız değişkenlerinden oluşan yeni bir küme için tahmin dağılımı aşağıdaki gibidir,

$$p(y^* | \mathbf{x}^*, \mathbf{X}, \mathbf{y}, \alpha_{j_{\max}}, \sigma_{\varepsilon_{\max}}^2) = \mathcal{N}(\mu_{y^*}, \sigma_{y^*}^2) \quad (2.14)$$

burada (μ_{y^*}) tahmini dağılımın ortalamasını ve $(\sigma_{y^*}^2)$ varyansını göstermektedir,

$$\mu_{y^*} = \boldsymbol{\mu}_w \mathbf{K}(\mathbf{x}^*, \mathbf{X}) \quad (2.15)$$

$$\sigma_{y^*}^2 = \sigma_{\varepsilon_{\max}}^2 + \mathbf{K}(\mathbf{x}^*, \mathbf{X})^T \boldsymbol{\Sigma}_w \mathbf{K}(\mathbf{x}^*, \mathbf{X}) \quad (2.16)$$

Yukarıdaki formülasyonda kernel fonksiyonu σ_{kernel}^2 'nin genişliğinin bilindiği varsayılır. Ancak bu, az rastlanan bir durumdur. Bu çalışmada kernel fonksiyonlarının genişliği Tripathi ve Govindaraju (2007)'den yararlanılarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 3. TOPLAM KATI MADDE HAREKETİ

3.1. Giriş

Toplam katı madde miktarı, sürüntü ve askı maddelerinin toplamı olarak elde edilir. Aynı zamanda toplam katı madde, yıkanmış malzeme ile yatak malzemesinin toplamı olarak da ifade edilebilir. Yıkanmış malzemenin çapı nehir yatağında bulunan katı maddelerinkinden küçüktür. Yıkanmış malzeme ekseriyetle su toplama havzasından sağlanır. Bu nedenle nehrin hidrolik karakteristiklerine bağlı yıkanmış malzemeyi tahmin etmek zordur. Birçok katı madde denklemleri toplam yatak malzemesi denklemlerini ifade eder. Hesaplanan ve ölçülen toplam yatak malzemeleri karşılaştırılmadan önce, yıkanmış malzeme miktarı ölçülenden çıkartılmalıdır.

Toplam katı madde miktarının belirlenmesinde iki farklı genel yaklaşım vardır. Birinci yaklaşımda sürüntü ve askı maddesi miktarları ayrı ayrı hesaplanıp birbirleriyle toplanırken, ikinci yaklaşımda ise toplam katı madde miktarı iki gruba ayrılmadan doğrudan hesaplanır.

Bu bölümde literatürdeki toplam katı madde taşınımı denklemleri irdelenmiştir. Akarsuların uygun bir kısmından, akım ve katı madde hareketi ile ilgili toplanılan veriler yardımıyla bu denklemlerden hangisinin kullanılacağına karar verilir. Denklemdaki katsayılar da bu verilerden yararlanılarak belirlenebilmektedir. Unutulmaması gereken bir diğer husus da akımın türbülanslı oluşu nedeniyle, toplam katı madde miktarının rasgele değişen bir değişken olduğudur. Bu değişkenlik de ölçülen ile hesaplanan toplam katı madde miktarlarının karşılaştırılmasında bazı güçlüklerin yaşanmasına neden olmaktadır.

3.2. Toplam Katı Madde Hareketi Denklemleri

Araştırmacılar nehirlerde meydana gelen toplam katı madde taşınımı ve bu taşınımın modellenmesi üzerine uzun yıllardır çalışmaktadırlar. Literatürde bulunan toplam katı madde miktarı denklemlerinin çoğu son 50 yılda geliştirilmiştir (Simons ve Şentürk, 1992; Ackers ve White, 1973). Problemin karmaşıklığından dolayı birçok denklem ampirik ya da yarı ampirik olup genellikle doğrulanmamış kabullere dayalıdır. Ayrıca bu denklemler az sayıdaki verilere dayalı geliştirildiklerinden ötürü çok verisi olan laboratuvar ya da sahada (nehirde) taşınan katı madde miktarı için doğru ve güvenilir sonuçlar vermeyebilmektedirler (White ve diğ., 1975; Yang ve Wan, 1991). Bu nedenle bu denklemlerin evrensel kabulü de yoktur (Simons ve Şentürk, 1992; van Rijn, 1993; Cao ve diğ., 1997; Pacheco-Ceballos, 1989). Yani tüm nehirlere uygulanabilecek bir denklem henüz geliştirilememiştir. Bir denklemin bir nehirden diğer bir nehre verdiği sonuçlar aynı doğrulukta olmayabilir. Ayrıca denklemler laboratuvar ve sahalarda (nehirlerde) meydana gelen katı madde miktarı için çok farklı sonuçlar vermektedirler. Bu nedenle her bir denklem diğer denklemlerle karşılaştırılmalı ve denklemlerin sonuçları kontrol edilmelidir (Bogardi, 1965; 1974; Alonso ve diğ., 1981; Shen ve Hung, 1972; Brownlie, 1981a; Brownlie, 1981c; van Rijn, 1983; Steven ve Yang, 1989; Karim ve Kennedy, 1990; Simons ve Şentürk, 1992).

Bu tezde toplam katı madde konsantrasyonu hesabı için 13 adet toplam katı madde miktarı denklemi, hem laboratuvar verilerini hem de saha verilerini kullanarak analiz edilecektir. Denklemlerin analizinde yıkanmış malzeme göz önüne alınmamış olup toplam katı madde miktarının yatak malzemesine eşit olduğu kabul edilmiştir.

Bu tezde kullanılacak olan toplam katı madde miktarı hesabı denklemleri şunlardır:

- 1) Enerji ve akım gücü içerikli denklemler: Graf (1971), Engelund ve Hansen (1967), Ackers ve White (1973), Yang (1973; 1979), van Rijn (1984a,b), Molinas ve Wu (2001), Shu-Qing Yang (2005).

2) Regresyon analizi kullanılarak geliştirilmiş denklemler: Rottner (1959), Acaroğlu (1968), Shen ve Hung (1972), Brownlie (1981a), Karim ve Kennedy (1981), Karim (1998).

3.2.1. Enerji ve akım gücü yaklaşımına dayalı denklemler

3.2.1.1. Engelund ve Hansen metodu

Engelund ve Hansen (1967), Bagnold (1966) metodundan faydalanarak katı madde taşınım fonksiyonunu şöyle ifade etmiştir,

$$f'\phi = 0.1\theta^{5/2} \quad (3.1)$$

$$f' = \frac{2gSD}{V^2} \quad (3.2)$$

$$\phi = q_t \left[\gamma_s \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) g d_{50}^3 \right]^{-1/2} \quad (3.3)$$

$$\theta = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma)d_{50}} \quad (3.4)$$

burada,

S = enerji çizgisinin eğimi,

g = yerçekimi ivmesi,

V = ortalama akım hızı,

q_t = birim genişlikten geçen katı madde miktarı,

d_{50} = medyan çap,

3.2.1.2. Ackers ve White metodu

Ackers ve White (1973) katı maddelerin harekete geçmesini uygulamalı boyut analiziyle açıklamışlardır. Kayma gerilmesinin, nehir yatağındaki iri katı maddelerin harekete geçmesinde kısmen etkili olduğunu kabul etmişlerdir.

Katı madde için hareket sayısı,

$$F_{gr} = U_*^n \left[g d_{50} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \right]^{-1/2} \left[\frac{V}{\sqrt{32} \log(\alpha D/d_{50})} \right]^{1-n} \quad (3.5)$$

burada,

U_* = kayma hızı,

n = dane çapına bağlı üstel sayı,

α = katsayı (=10)

d_{50} = katı madde medyan çapı,

D = su derinliği,

Aynı zamanda katı madde çapı boyutsuz dane çapıyla,

$$d_{gr} = d_{50} \left[\frac{g(\gamma_s/\gamma - 1)}{v^2} \right]^{1/3} \quad (3.6)$$

olarak açıklanabilir.

Genel boyutsuz katı madde taşınım fonksiyonu,

$$G_{gr} = f(F_{gr}, d_{gr})$$

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. A , C , m ve n değerleri Ackers ve White tarafından (1973) laboratuvar verilerine dayanılarak belirlenmiştir,

$$n = 1.00 - 0.56 \log d_{gr} \quad (3.8)$$

$$A = 0.23 d_{gr}^{-1/2} + 0.14 \quad (3.9)$$

$$m = \frac{9.66}{d_{gr}} + 1.34 \quad (3.10)$$

3.2.1.3. Yang metodu

Yang (1972) literatürdeki katı madde denklemlerini gözden geçirerek yeni denklemler türetmiştir. Katı madde taşınma miktarına, su debisinden, ortalama akım hızından, enerji eğimi ve kayma gerilmesinden yararlanarak karar verileceği sonucunu çıkarmıştır. Toplam Y derinlikli x uzunluklu açık kanallarda katı madde hareketini sağlayan suyun birim ağırlığının enerji miktarı,

$$\frac{dY}{dt} = \frac{dx}{dt} \frac{dY}{dx} = VS \quad (3.11)$$

olarak gösterilmiştir.

Yang (1972), akarsu birim gücünü eğim-hız ürünü olarak tanımlamıştır. Katı madde taşınımında suyun birim ağırlığı tarafından yapılan işin mevcut suyun birim ağırlığı ile direk ilişkili olduğunu öne sürmüştür. Böylece toplam katı madde konsantrasyonu veya toplam yatak malzemesi, birim akarsu gücüyle doğrudan ilgili olmalıdır.

Yang (1973) toplam katı madde konsantrasyonuna karar vermek için konuyla ilgili değişkenleri,

$$\phi = (C_t, VS, U_*, \nu, \omega, d) = 0 \quad (3.12)$$

olarak vermiştir.

burada,

C_t = toplam katı madde konsantrasyonu,

VS = birim akarsu gücü,

U_* = kayma hızı,

ν = suyun kinematik viskozitesi,

ω = katı maddelerin çökme hızı,

d_{50} = parçacıkların medyan çapı.

Katı madde konsantrasyonunu,

$$C_t = \phi^n \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega}, \frac{U_*}{\omega}, \frac{\omega d_{50}}{\nu} \right) \quad (3.13)$$

değişkenlerine bağlı olarak ifade etmiştir.

Yang (1979) tarafından önerilen toplam katı madde konsantrasyonu,

$$\begin{aligned} \log C_{ts} = & 5.435 - 0.286 \log \frac{\omega d_{50}}{\nu} - 0.457 \log \frac{U_*}{\omega} \\ & + \left(1.799 - 0.409 \log \frac{\omega d_{50}}{\nu} - 0.314 \log \frac{U_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega} \right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

denklemleriyle elde edilir.

3.2.1.4. Shen ve Hung metodu

Shen ve Hung (1972) katı madde taşınımının çok karmaşık bir olay olduğunu kabul etmişlerdir.

Laboratuar verilerine dayalı regresyon analizi yöntemi geliştirip katı madde konsantrasyonunun hesabını,

$$\log C_t = -107404.45938164 + 324214.74734085Y - 326309.58908739Y^2 + 109503.87232539Y^3 \quad (3.15)$$

olarak vermişlerdir.

Burada,

$$Y = \left(VS^{0.57} / \omega^{0.32} \right)^{0.00750189} \quad (3.16)$$

ω = katı madde parçacıklarının çökelme hızıdır.

3.2.1.5. Molinas ve Wu metodu

Molinas ve Wu (2001) güç kavramına dayalı diğer konsantrasyon denklemlerinin deneysel analizler sonucunda oluşturulduğunu, bu denklemlerin yüzeysel (sığ) nehirler için ölçülen konsantrasyon değerine yaklaşık sonuç verdiğini, geniş ve orta büyüklükteki nehirler için hata payının büyük olduğunu ileri sürmüşlerdir. Molinas ve Wu (2001) geniş nehirlere ait 414 veri takımı ve orta büyüklükteki nehirlere ait 534 veri takımı ile çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda, evrensel akım gücüne dayalı katı madde konsantrasyonu denklemi geliştirmişlerdir. Geniş ve orta büyüklükteki nehirler için hata payını en aza indiren bu denklem,

$$C_t = \frac{1430(0.86 + \sqrt{\psi})\psi^{1.5}}{0.016 + \psi} \quad (3.17)$$

olarak açıklanmıştır.

Burada ψ , universal akım gücüdür ve denklem (3.18) ile belirlenir.

$$\psi = \frac{V^3}{(s_g - 1)gD\omega_{50} \left[\log \left(\frac{D}{d_{50}} \right) \right]^2} \quad (3.18)$$

burada,

s_g = yoğunluk (ρ_s / ρ),

ω_{50} = katı madde parçacıklarının çökelme hızıdır.

3.2.1.6. Graf metodu

Graf'ın (1971) Englund and Hansen (1967) denkleminde esinlenerek türettiği toplam katı madde denklemi aşağıda verilmiştir,

$$C_w = 10.39 \left(\frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} \right) \left(\frac{u_* d_{50}}{q} \right) \tau_*^{2.02} \quad (3.19)$$

$$C_{ppm} = C_w * 10^6 \quad (3.20)$$

burada,

C = toplam katı madde konsantrasyonu,

ρ = su özgül kütlesi,

ρ_s = katı madde özgül kütlesi,

q = birim debi,

u_* = kayma hızı,

d_{50} = medyan çap,

τ_* = boyutsuz kayma gerilmesi.

3.2.1.7. van Rijn metodu

van Rijn (1984a,b) toplam katı madde hareketini açıklayabilmek için biri askı diğeri sürüntü maddesi denklemi olmak üzere iki ayrı denklem önermiştir. Sürüntü maddesi hareketi aşağıdaki denklemlerle açıklanmıştır,

$$q_b = 0.053(G_s - 1)^{0.5} g^{0.5} d_{50}^{1.5} D_*^{-0.3} T^{2.1} ; T < 3 \quad (3.21)$$

$$q_b = 0.100(G_s - 1)^{0.5} g^{0.5} d_{50}^{1.5} D_*^{-0.3} T^{1.5} ; T > 3 \quad (3.22)$$

$$D_* = d_{50} \left[\frac{(G_s - 1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad (3.23)$$

$$T = \frac{(u_*')^2 - (u_{*cr})^2}{(u_{*cr})^2} \quad (3.24)$$

$$u_*' = \left(\frac{g^{0.5}}{C'} \right) u_m, \quad C' = 18 \log \left(\frac{4D}{d_{90}} \right) \quad (3.25)$$

burada,

D_* = boyutsuz dane çapı,

T = taşınım düzeyi parametresi,

C' = Chezy katsayısı.

Askı maddesi taşınımı için van Rijn (1984b) tarafından önerilen denklem aşağıda verilmiştir,

$$q_s = Fu_m DC_a \quad (3.26)$$

$$F = \frac{\left[\frac{a}{D}\right]^{Z'} - \left[\frac{a}{D}\right]^{1.2}}{\left[1 - \frac{a}{D}\right]^{Z'} [1.2 - Z']} \quad (3.27)$$

$$Z' = Z + \varphi, \quad Z = \frac{\omega}{\beta k u_*}, \quad k = 0.4 \quad (3.28)$$

$$\varphi = 2.5 \left[\frac{\omega}{u_*}\right]^{0.8} \left[\frac{C_a}{C_o}\right]^{0.4} \quad \text{for } 0.01 \leq \omega/u_* \leq 1 \quad (3.29)$$

$$C_o = 0.65 \quad (3.30)$$

$$a = k_s \quad (3.31)$$

$$\beta = 1 + 2 \left[\frac{\omega}{u_*}\right]^2 \quad \text{for } 0.1 < \omega/u_* < 1 \quad (3.32)$$

$$C_a = 0.015 \left(\frac{d_{50}}{a}\right) \left(\frac{T^{1.5}}{D_*^{0.3}}\right) \quad (3.33)$$

$$q_t = q_b + q_s, \quad q_w = D u_m, \quad C_w = q_t / q_w, \quad C_{ppm} = C_w * 10^6 \quad (3.34)$$

burada,

F = askı maddesi yükü için düzeltme faktörü,

C_a = referans konsantrasyonu,

C_o = maksimum (yatak) konsantrasyonu (= 0.65),

a = referans seviyesi,

β = katı madde difüzyonunun akışakna difüzyonuna oranı,

ω = çökme hızı,

Z, Z' = süspansiyon sayısı,

k = von Karman sabiti (= 0.4)

q_b = birim genişlikten taşınan yatak yükü,

q_s = birim genişlikten taşınan askı maddesi yükü,

q_t = birim genişlikten taşınan toplam katı madde yükü,

Q_t = toplam katı madde yükü,

Q_w = su debisi.

3.2.1.8. Shu-Qing Yang metodu

Shu-Qing Yang (2005) tarafından türetilen, boyut analizine dayalı toplam katı madde yükü taşınımı hesabı aşağıdaki denklemlerde verilmiştir,

$$C_w = k \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{\tau}{u_m D} \frac{u_*'^2 - u_{*c}^2}{\omega}, \quad C_{ppm} = C_w * 10^6 \quad (3.35)$$

$$\frac{u_m'}{u_*} = 2.5 \ln \left(\frac{11D}{2d_{50}} \right) \quad (3.36)$$

burada,

C_{ppm} = toplam katı madde konsantrasyonu,

k = evrensel sabit (=12.5),

G_s = katı madde parçacıklarının özgül ağırlığı,

τ = yataktaki kayma gerilmesi (= γRS),

u_*' = daneciğin sebep olduğu dolaylı kayma hızı

u_{*c} = Shields kritik kayma hızı,

ω = çökme hızı,

u_m = ortalama akım hızı,

D = akım yüksekliği.

3.2.2. Regresyon yaklaşımına dayalı denklemler

3.2.2.1. Rottner metodu

Rottner (1959) tarafından önerilen, regresyon analizine dayalı toplam katı madde denklemi aşağıda sunulmuştur,

$$q_b = \gamma_s \left[(\zeta_s - 1) g D^3 \right]^{1/2} \times \left\{ \frac{V}{\left[(\zeta_s - 1) g D \right]^{1/2}} \left[0.667 \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{2/3} + 0.14 \right] - 0.778 \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{2/3} \right\}^3 \quad (3.37)$$

burada,

ζ_s = sedimentin özgül gravitesi (2.65),

D = ortalama derinlik (ft),

V = ortalama hız (ft/s),

d_{50} = % 50 geçen malzeme için dane çapı (ft).

3.2.2.2 Acaroğlu metodu

Acaroğlu'nun (1968) regresyon analizini kullanarak toplam katı madde miktarı tahmini için önermiş olduğu denklem aşağıda verilmiştir,

$$C_w = \left(\frac{21.44 d_{50}^{3/2}}{R u_m} \right) \left(\frac{SR}{d_{50}} \right)^{2.52} \quad (3.38)$$

$$C_{ppm} = C_w \times 10^6 \quad (3.39)$$

3.2.2.3 Brownlie metodu

Brownlie'nin (1981a) toplam katı madde miktarı tahmini için önerdiği regresyon denklemi aşağıda verilmiştir,

$$C_{ppm} = 7100c_f \left(S^{1/3} F_g - S^{1/3} F_{go} \right)^2 (R_h/d_{50})^{-1/3} \quad (3.40)$$

burada,

$$F_{go} = 4.596\tau_{*o}^{0.5293} S^{-0.1405} \sigma_g^{-0.1606} \quad (3.41)$$

$$\tau_{*o} = 0.22Y + 0.06(10)^{-7.7Y} \quad (3.42)$$

$$Y = \left(\sqrt{(G_s - 1)R_g} \right)^{-0.6} \quad (3.43)$$

$$R_g = \frac{\sqrt{gd_{50}^3}}{\nu} \quad (3.45)$$

burada,

F_{go} = kritik danecik froude sayısı,

R_g = danecik Reynolds sayısı,

R_h = hidrolik yarıçap,

c_f = katsayı (laboratuvar verileri için =1, saha verileri için = 1.268).

3.2.2.4 Karim ve Kennedy metodu

Karim ve Kennedy (1981) tarafından önerilen toplam katı madde denklemi aşağıda sunulmuştur,

$$\log \frac{q_t}{\gamma_s \sqrt{(G_s - 1) g d_{50}^3}} = -2.28 + 2.97 c_{k1} + 0.30 c_{k2} c_{k3} + 1.06 c_{k1} c_{k3} \quad (3.46)$$

burada,

$$c_{k1} = \log \frac{u_m}{\sqrt{(G_s - 1) g d_{50}}}; \quad c_{k2} = \log \left(\frac{D}{d_{50}} \right); \quad c_{k3} = \log \left(\frac{u_* - u_{*c}}{\sqrt{(G_s - 1) g d_{50}}} \right) \quad (3.47)$$

$$Q_t = q_t B, \quad Q_w = \gamma B D u_m, \quad C_w = Q_t / Q_w, \quad C_{ppm} = C_w * 10^6 \quad (3.48)$$

3.2.2.5 Karim metodu

Karim'in (1998) toplam katı madde taşınımı için önerdiği denklem aşağıda verilmiştir,

$$\frac{q_t}{\sqrt{(G_s - 1) g d_{50}}} = 0.00139 \left(\frac{u_m}{(G_s - 1) g d_{50}} \right)^{2.97} \left(\frac{u_*}{\omega} \right)^{1.47} \quad (3.49)$$

$$Q_t = q_t B, \quad Q_w = B D u_m, \quad C_w = Q_t / Q_w, \quad C_{ppm} = C_w * 10^6 \quad (3.50)$$

BÖLÜM 4. MODELLERİN BİRİNCİ SENARYO İÇİN UYGULANMASI

4.1. Birinci Senaryoda Kullanılan Veri Takımlarının Tanımlanması

Katı madde miktarı tahmini için kurulan modellerin doğruluğu ve güvenilirliği laboratuvar ve sahadan elde edilen verilerin kalitesine bağlıdır (Brownlie, 1981a,b; Karim ve Kennedy, 1981; Yang, 1973). Bu bölümde modellerin tatbik edilmesi için Brownlie (1981b) ve Posada (1995) çalışmalarından elde edilmiş 70'in üzerinde veri takımı kullanılmıştır. Bunların bir kısmı laboratuvar diğer kısmı ise saha verilerinden oluşmaktadır. Verilerdeki değişkenler birimleriyle birlikte Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Değişkenlerin birimleri

No.	Değişkenler	Birim
1	Su debisi	m ³ /s
2	Yatak genişliği	m
3	Akım derinliği	m
4	Su yüzeyi eğimi	m/m
5	Ortalama dane çapı d ₅₀	m
6	Su sıcaklığı	°C
7	Taşınan katı madde konsantrasyonu	ppm

Modellerde kullanılan 2252 adet saha verisi Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Asya ve Avrupa nehirlerinden derlenmiş olup bu nehirlerin (24 ayrı nehir sistemi) açıklamaları Tablo Ek-1.1.'de verilmiştir. Ayrıca modellerin kurulmasında, 5143 adet laboratuvar verisi de (52 ayrı laboratuvar çalışması) kullanılmıştır. Bu veriler ile ilgili açıklama da Tablo Ek-1.2.'de verilmiştir.

Modellerin uygulamasında su sıcaklığının etkisi de göz önüne alınmıştır. Suyun kinematik viskozitesi ($\nu, m^2/s$), Yang (1996) tarafından önerilen aşağıdaki Denklem (4.1) vasıtasıyla bulunmuştur.

$$\nu = 1.79^2 \times 10^{-6} / (1.0 + 0.0337T + 0.000221T^2) \quad (4.1)$$

burada T , °C cinsinden suyun sıcaklığını ifade etmektedir. Dolayısıyla sıcaklığın etkisinden dolayı viskozite de modellerde değişkenlik göstermektedir.

Modellerin uygulamasına geçilmeden önce Brownlie (1981a) tarafından uygulanmış kısıtlamalar kullanılarak verilerden bazıları elenmiştir. Bu kısıtlamaların sınırları Tablo 4.2.'de verilmiştir.

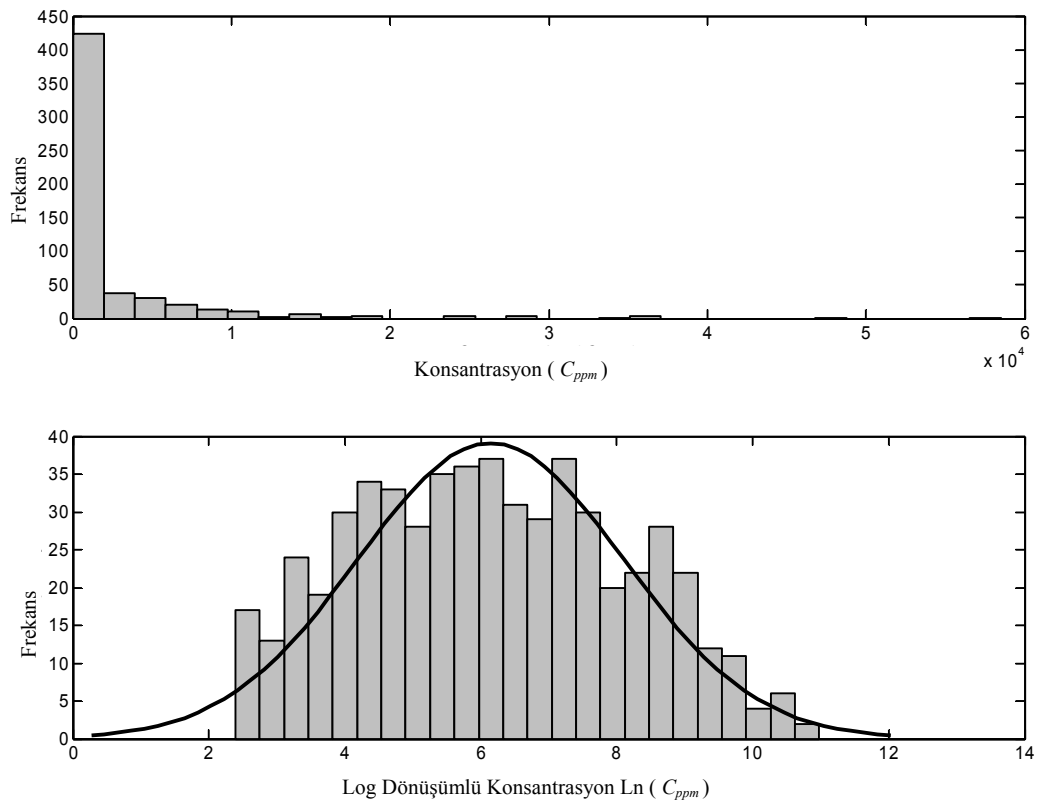
RVM, ANFIS, YSA ve MLR modellerini kurabilmek için tüm veri takımı, eğitim ve test takımı olmak üzere rasgele ikiye bölünmüştür. Eleme sonrası nehirdeki katı madde tahmini için kullanılan eğitim takımı 660, test takımı ise 449 veriden oluşmaktadır. Laboratuvar verileri için ise eğitim takımı 560, test takımı ise 388 veriden oluşmaktadır.

Tablo 4.2. Modellerde kullanılan verilerin sınırlandırılması

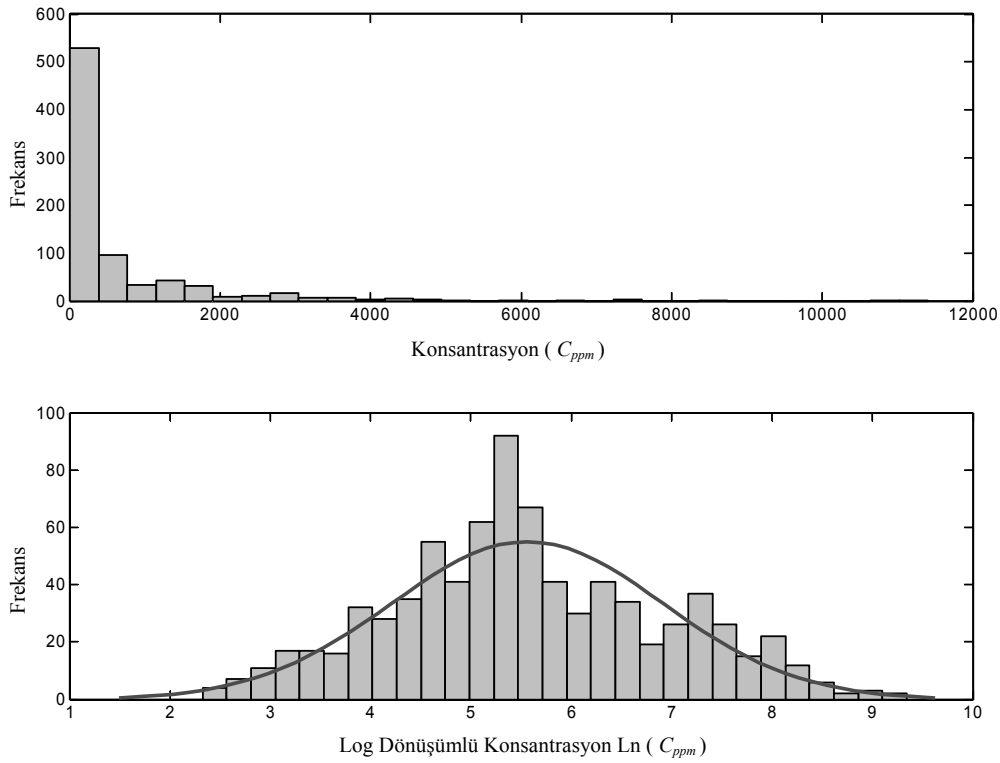
Parametre	Sembol	Sınırlama	Sebep
Medyan çap, mm	d_{50}	$0.062 < d_{50} < 2.0$	Yalnızca kum
Gradasyon	σ	$\sigma < 5$	Bimodal dağılımın elenmesi
Genişlik derinlik oranı	B/D	$B/D > 4$ (Lab Data)	Yan duvar etkilerinin elenmesi
Rölatif pürüzlülük	R/d50	$R/d_{50} > 100$	Yüzeysel su etkisinin elenmesi
Konsantrasyon, ppm	C	$C > 10$	Doğruluk problemi
Su Sıcaklığı	°C	$0 < ^\circ C < 63$	Viskozite etkisi

4.2. Modellerde Kullanılacak Olan Girdi Parametrelerinin Belirlenmesi

Girdi ve çıktı parametrelerinin dağılımı normal dağılıma yaklaştığında yapay zeka modelleri daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Olaydaki parametrelerin dağılımı incelendiğinde dağılımların normal dağılım olmadığı görülmüş, bundan dolayı modeller kurulmadan önce modelde kullanılan verilere logaritmik dönüşüm (log transform) uygulanmıştır. Log dönüşümü öncesi ve sonrası Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de verilmiştir. Şekillerde çıktı verisine uygulanmış log dönüşümü görülmektedir. Log dönüşümü uygulandıktan sonra, çıkış verisi olan toplam katı madde konsantrasyonu dağılımının normal dağılıma yaklaştığı görülmüştür. Diğer giriş verilerine de log dönüşümü uygulandığında aynı durumla karşılaşmıştır. Dolayısıyla modellerde log dönüşümlü verilerin kullanılması uygun bulunmuştur.



Şekil.4.1. Laboratuvar verileri için katı madde konsantrasyon değerlerinin log dönüşümü öncesi ve sonrası dağılımı



Şekil 4.2. Saha verileri için katı madde konsantrasyon değerlerinin log dönüşümü öncesi ve sonrası dağılımı

4.3. Boyut Analizi ve Bazı Boyutsuz Parametrelerin Tanımlanması

Boyut analizi, akışkanlar mekaniği ve hidrolik alanındaki çalışmalarda çok önemli matematik araçlarından birisidir. Boyut analizi, olaya etki eden parametrelerden meydana gelmiş olan boyutsuz sayılar arasında bir ilişki kurulması olarak tanımlanabilir. Boyut analizinin avantajı, boyutlu değişkenleri kombine etmek suretiyle boyutsuz parametreler teşkil ederek problemdeki değişkenleri azaltmaktır. Aynı zamanda boyut analizi yardımıyla elde edilen boyutsuz parametrelerden incelenen olayla ilgili denklemler de türetilmektedir (Langhaar, 1951; Middleton ve Southard, 1984). Akışkanlar mekaniği ve hidrolik uygulamalarında kullanılan, Buckingham Pi teoremi ve Rayleigh olmak üzere iki farklı boyut analizi metodu vardır.

Toplam katı madde miktarı tahmini için yapay zeka modellerinin kurulmasından önce bu modellerde hangi parametrelerin kullanılacağı büyük önem arz etmektedir.

Çünkü girdi parametreleri ne kadar hassas ve doğru seçilirse model o kadar iyi sonuç vermektedir. Bu çalışmada girdi parametrelerini belirlemek için bağımsız değişkenlere boyut analizi uygulanmıştır. Ayrıca, boyutsuz parametrelerin belirlenmesinde uygulamadaki kolaylığından dolayı Buckingham Pi teoremi kullanılmıştır (Buckingham, 1914).

Herhangi bir fiziksel olay, birbirinden bağımsız boyutlu ve boyutsuz (n) parametrenin fonksiyonu ise, olayın kanunu $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ şeklinde açıklanabilir. Olayın parametreleri (m) tane temel büyüklüğe bağlı ise, Buckingham bu (m) parametre yardımı ile $n-m$ tane boyutsuz π sayısı bulunabileceğini $\phi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m})$ şeklinde ifade etmiştir.

Toplam katı madde konsantrasyonunun bağımlı değişken olarak ele alındığında bağımsız değişkenlerle olan fonksiyonel ilişkisi şöyle açıklanabilir,

$$C = f(u_*, q, d_{50}, \rho, \rho_s, \gamma_s, D, B, \mu, \sigma, S, u_m, g) \quad (4.2)$$

Tekrarlanan parametreler çeşitli varyasyonlarla şu şekilde seçilmiştir:

1. ρ, d_{50}, u_*
2. μ, d_{50}, u_*
3. ρ, d_{50}, γ_s
4. γ_s, d_{50}, u_*
5. ρ, d_{50}, u_m
6. q, D, ρ

Böylece, boyut analizi ile elde edilmiş boyutsuz parametreler aşağıdaki gibi bulunmuştur,

$$C = f \left(\frac{D}{d_{50}}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{u_m D}{v}, \frac{u_* d_{50}}{v}, \frac{u_* D}{v}, \frac{DS}{(G_s - 1)d_{50}}, \frac{u_m}{u_*}, \frac{B}{D}, \frac{q}{\sqrt{gDD}}, \frac{q}{u_* d_{50}}, \frac{B}{d_{50}}, \frac{vu_*}{g(G_s - 1)d_{50}^2}, \frac{v^2}{g(G_s - 1)d_{50}^3}, \frac{q^2}{g(G_s - 1)d_{50}^3}, \frac{\rho_s u_*^2}{\gamma_s d_{50}}, \frac{u_m}{\sqrt{g(G_s - 1)d_{50}}}, S, \sigma_g \right) \quad (4.3)$$

Uygulanan boyut analizinin yanı sıra Yang (1973) tarafından önerilmiş bazı boyutsuz parametreler aşağıdaki denklemde sunulmuştur,

$$C = f\left(\frac{u_m S}{\omega}, \frac{u_*}{\omega}, \frac{\omega d_{50}}{\nu}\right) \quad (4.4)$$

Bu denklemdeki boyutsuz parametreler de modellerin oluşturulmasında girdi olarak kullanılmıştır.

Boyutsuz parametrelerde kullanılan değişkenler aşağıda verilmiştir,

$D(L) =$	uniform akım seviyesi,
$d_{50}(L) =$	medyan çap,
$B(L) =$	yatak genişliği,
$\rho_s(M/L^3) =$	katı madde özgül kütlesi,
$\rho(M/L^3) =$	suyun özgül kütlesi
$\gamma_s(M/L^2T^2) =$	katı madde özgül ağırlığı,
$u_*(L/T) =$	kayma hızı,
$\nu(L^2/T) =$	kinematik viskozite,
$S(L/L) =$	eğim,
$G_s =$	katı madde özgül yoğunluğu,
$u_m(L/T) =$	ortalama akım hızı,
$\omega(L/T) =$	çökelme hızı,
$q(L^3/T/L) =$	birim su debisi,
$g(L/T^2) =$	yerçekimi ivmesi,
$\sigma_g =$	gradasyon,
$C =$	konsantrasyon.

$$\frac{D}{d_{50}} = \text{boyutsuz akım derinliği,}$$

$$\frac{B}{d_{50}} = \text{boyutsuz yatak genişliği,}$$

$$\frac{\rho_s}{\rho} = G_s = \text{katı madde özgül yoğunluğu}$$

$$\frac{u_* d_{50}}{\nu} = Re_x = \text{danecik boyutundan dolayı Reynolds sayısı (sınır Reynolds sayısı),}$$

$$\frac{u_* D}{\nu} = Re_* = \text{akım Reynolds sayısı (kayma hızı açısından)}$$

$$\frac{\omega d_{50}}{\nu} = Re_p = \text{danecik Reynolds sayısı,}$$

$$\frac{DS}{(G_s - 1)d_{50}} = \tau_* = \text{boyutsuz kayma gerilmesi,}$$

$$\frac{u_m}{u_*} = c = \text{sürtünme faktörü,}$$

$$\frac{B}{D} = \text{genişlik yükseklik oranı,}$$

$$\frac{q}{D\sqrt{gD}} = \text{Froude sayısı,}$$

$$\frac{u_m}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}} = F_g = \text{danecik Froude sayısı,}$$

$$\frac{\nu^2}{g(G_s - 1)d_{50}^3} = \frac{1}{d_*^3}, \quad (d_*) = \text{boyutsuz dane çapı,}$$

$$\frac{\rho_s u_*^2}{\gamma_s d_{50}} = \text{boyutsuz kayma gerilmesi (danecik açısından),}$$

$$\frac{u_m S}{\omega} = \text{boyutsuz birim akım gücü parametresi,}$$

$$\frac{\omega}{u_*} = \text{boyutsuz askı maddesi parametresi,}$$

$$\frac{u_m S}{\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}} = \text{boyutsuz birim akım gücü parametresi.}$$

Boyut analizi uygulandıktan sonra toplam katı madde miktarının tahmini için birçok boyutsuz parametreler bulunmuştur. Fakat bu parametrelerin olaya etkisinin araştırılması gereklidir. Olaya etki eden girdi parametrelerinin seçimi, modelin doğruluğu ve güvenilirliği açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle incelenen olayın iyi bilinmesi gerekmektedir (Yalın, 1972). Ayrıca boyutsuz girdi parametrelerinin tümünün fiziksel olarak neyi ifade ettiği de araştırılmalıdır. Bazı boyutsuz parametrelerin sabit olmasından dolayı olaya etki etmediği görülmüştür. Örneğin katı madde özgül yoğunluğu $\rho_s/\rho=2.65$ olup sabit değerdedir ve olaya etkisi yoktur. Benzer şekilde verilen boyutsuz B/d_{50} ve D/d_{50} parametreleri için modelde girdi parametresi olarak B/D 'nin kullanılmasına gerek yoktur. Çünkü diğer iki parametre B/D 'nin etkisini içermektedir. Dolayısıyla tüm bulunan parametrelerin olay üzerindeki etkinlik derecesinin araştırılması ve gereksiz parametrelerin modelin etkinliği açısından elenmesi gerekmektedir (Khalil ve diğ., 2005a ; Khalil ve diğ., 2005b ve Khalil ve diğ., 2006). Fakat model için en uygun girdi parametrelerini belirlemek oldukça zor olabilmektedir. Bu çalışmada en uygun girdi parametrelerini belirlemek için olaya etki eden tüm boyutsuz parametreler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu amaçla katı madde taşınma olayına etki eden en önemli parametreler özellik seçimi algoritması (feature selection algorithm) kullanılarak bulunmuştur (Guyon and Elisseeff, 2003). Bu algoritmayla eğitim verileri rasgele n sayıda ayrık kümelerle ayrılmıştır. Verilen seçilmiş girdi parametreleri için, RVM modeli bir alt küme hariç diğer tüm kümelerle ($n-1$) eğitilmiş ve eğitimin doğruluğu, dışarıda bırakılan alt küme ile de test edilmiştir. RVM modelinin en uygun girdi parametrelerinin belirlenmesindeki performansı, ortalama mutlak hata performans kriteri kullanılarak bulunmuştur. En nihayetinde minimum hata değerlerine sahip olan girdi parametrelerinin alt kümeleri en etkin girdi parametresi olarak seçilmiştir.

Bu yöntemle olaya en çok etki eden parametreler bulunmuş, olaya etki etmeyen ve modelin performansını etkilemeyen parametreler elenmiştir. Özellik seçim algoritması hem laboratuvar verileri hem de saha verileri ile elde edilen modellerde kullanılmıştır. Modelin kurulması öncesinde olaya etki eden parametrelerin etkinlik derecelerinin bilinmesinin, modelin etkinliğini ve güvenilirliğini arttırdığı uygulamalarda görülmüştür.

Özellik seçimi algoritması kullanılarak laboratuvar verileri için bulunmuş en etkili boyutsuz girdi parametreleri etkinlik derecelerine göre aşağıdaki gibidir,

$$(u_m S/\omega, B/d_{50}, D/d_{50}, u_*/\omega, u_* d_{50}/\nu) \quad (4.5)$$

Saha verileri için ise,

$$(u_m S/\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}, B/d_{50}, q/u_* d_{50}, \nu^2/(G_s - 1)gd_{50}^3) \quad (4.6)$$

Modellerde kullanılacak olan bu boyutsuz parametreler diğer araştırmacılar tarafından da denenmiştir. Bu araştırmacıların kullandıkları boyutsuz parametreler Tablo 4.3.'de verilmiştir. Bu çalışmada, önceki modellerden farklı olarak B/d_{50} parametresi literatürde ilk defa kullanılmış ve özellik seçimi sonrası her iki çalışma için de (laboratuvar ve saha verilerinden elde edilen) etkin bir parametre olarak bulunmuştur.

Tablo 4.3. Toplam katı madde hareketi denklemlerinde kullanılan boyutsuz parametreler

Sediment transport denklemleri	Seçilmiş Parametreler	
	Bağımlı Parametreler Parametreler	Bağımsız
Rottner (1959)		$d_{50}/D, F_D$
Engelund ve Hansen (1967)		$G_s/(G_s - 1), u_m S/\sqrt{(G_s - 1)gd_{50}}, \tau_*$
Graf (1971)		$G_s/(G_s - 1), u_* d_{50}/q, \tau_*$
Acaroğlu (1968)		D/d_{50}
Shen ve Hung (1972)		$u_m S/\omega$
Yang (1979)	C_{ppm}	$u_m S/\omega, u_*/\omega, u_{mcr} S/\omega, u_* d_{50}/\nu$
Ackers ve White (1973)		$F_g, D/d_{50}, d_*, u_m/u_*$
Brownlie (1981a)		$F_g, S, D/d_{50}, R_g, \tau_{*o}, \sigma_g$
Karim ve Kennedy (1981)		$F_g, D/d_{50}$
van Rijn (1984a,b)		$d_*, T, D/d_{50}, \omega/u_*$
Karim (1998)		$F_g, u_*/\omega$
Molinas ve Wu (2001)		$\psi, D/d_{50}$
Yang (2005)		$G_s/(G_s - 1), T, u_m/u_*, D/d_{50}$

4.4. Çoklu Lineer Regresyon Analizinin Uygulanması

Şayet bağımlı değişken (çıktı) olan y 'e etki eden m sayıda bağımsız değişkenler (girdiler, (x_1, x_2, \dots, x_m)) var ise bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki lineer fonksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m \quad (4.7)$$

Regresyon katsayıları $(a, b_1, b_2, \dots, b_m)$ en küçük kareler yöntemiyle aşağıdaki gibi bulunabilir,

$$\sum_{i=1}^N e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a - b_1x_{1i} - b_2x_{2i} - b_mx_{mi})^2 \quad (4.8)$$

Özellik seçimi yöntemiyle elde edilmiş parametreler yardımıyla, toplam katı madde miktarı tahmini için çoklu lineer regresyon analizi (MLR) oluşturulmuştur. Laboratuvar ve saha veri takımları için oluşturulmuş MLR'ler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

$$C_{ppm} = 1857.804 \left(\frac{D}{d_{50}} \right)^{0.88} \left(\frac{u_m S}{\omega} \right)^{2.19} \left(\frac{u_*}{\omega} \right)^{-2.09} \left(\frac{u_* d_{50}}{\nu} \right)^{0.0661} \left(\frac{B}{d_{50}} \right)^{0.169}$$

$$C_{ppm} = 4336.086 \left(\frac{q}{u_* d_{50}} \right)^{0.271} \left(\frac{\nu^2}{(G_s - 1) g d_{50}^3} \right)^{-0.0245} \left(\frac{u_m S}{\sqrt{(G_s - 1) g d_{50}}} \right)^{1.208} \left(\frac{u_* d_{50}}{\nu} \right)^{0.0661} \left(\frac{B}{d_{50}} \right)^{0.0782}$$

4.5. ANFIS Modelinin Uygulanması

ANFIS modelinde girdi olarak, özellik seçimi ile elde edilmiş boyutsuz parametreler kullanılmıştır. Optimum ANFIS mimarisini bulabilmek için, değişik tip ve sayıda üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Optimum mimari olarak laboratuvar verilerine dayalı toplam katı madde konsantrasyonu tahminleri için her bir girdi parametresine 3 adet gauss (gaussian) tipi üyelik fonksiyonu, saha verileri için de her bir girdi

parametresine 3 adet üçgen tipi üyelik fonksiyonu olacak şekilde modeller kurulmuştur. Bu nedenle laboratuvar verilerine dayalı ANFIS modeli için 243 adet (5 girdi için 3 üyelik fonksiyonu), saha verilerine dayalı ANFIS modeli için de 81 adet (4 girdi için 3 üyelik fonksiyonu) kural oluşturulmuştur. Modelin eğitimindeki hata toleransı, modeldeki iterasyon sayısını belirlemede dikkate alınmıştır. Bu çalışmada hem laboratuvar hem de saha verilerine dayalı modellerdeki iterasyon sayısını belirlemek için çeşitli denemeler yapılmış ve optimum iterasyon sayısı 50 olarak bulunmuştur.

4.6. YSA Modelinin Uygulanması

Bu çalışmada, YSA (i, j, k) mimarisi, sırasıyla i, j ve k simgelerinin girdi, gizli ve çıktı katmanlarını gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Her katman birçok nörondan oluşmakta olup katmanlar birbirlerine ağırlık kümeleri ile bağlanmaktadır. Bağlanma şekli ve her kısımdaki nöron sayısı değişebilmektedir. Aynı katmandaki nöronlar arasında iletişim olmasına izin verilmemektedir. Bu eğitim sürecinin başında bağlantı ağırlıkları rasgele değerler olarak atanmaktadır. Eğitim başarı ile tamamlana kadar, öğrenme algoritmasının her iterasyonunda ağırlıklar değiştirmektedir. İterasyon süreci bir sonuca vardığında bağlantı ağırlıkları eğitim sürecinde kullanılan örneklerdeki mevcut bilgiyi elde eder ve saklar. Yeni bir girdi grubu sunulduğunda ileri doğru besleme yardımıyla yapay sinir ağının bağlantı ağırlıklarındaki öğrenilmiş ve saklanan bilgi sayesinde bir çıktı grubu elde edilir. Burada laboratuvar çalışması için, i değeri (modelin girdi parametresi sayısı) 5, k değeri (modelin çıktı sayısı) 1 olup j değeri (gizli katman nöron sayısı) 20 alınarak YSA modeli oluşturulmuştur. Saha çalışması içinde i değeri 4, k değeri 1 ve j değeri 10 alınarak YSA modeli kurulmuştur. Optimum çözüm için gizli katmanlardaki nöron sayıları ve modellerin iterasyon sayıları deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. Bu çalışmada, YSA tipi olarak ileri beslemeli geri yayınlı yapay sinir ağı (FFNN), transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve her iki model için de iterasyon sayısı 1000 alınmıştır.

BÖLÜM 5. BİRİNCİ SENARYO İÇİN MODELLERİN PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Modellerin Tahminlerinin Kıyaslanması

RVM, ANFIS, YSA, MLR modelleri ve toplam katı madde taşınım denklemleri aynı veri takımlarına uygulanmış ve modellerin sonuçları çeşitli istatistiksel parametreler kullanılarak değerlendirilmiştir. Modellerin tahminlerinin karşılaştırılmasında $C_{tahmin}/C_{gözlenen}$ farklılık oranı (discrepancy ratio (DR)) kullanılmıştır. Aynı zamanda farklılık oranlarının geometrik ortalamaları ve standart sapmaları verilmiştir. Bu modellerin sonuçları gözlenen gerçek değerlerle kıyaslanarak Şekil 5.1.-5.17.'de gösterilmiştir. Bu şekillerde, %84 ve %16 persantil (percentile) değerleri ile modelin medyanı görülmektedir. Medyan çizgisi (kesikli çizgi) ve farklılık oranı çizgisinin (düz çizgi) 1 değerinde çakıştığı ve %84 ve %16 lık çizgilerinin aralarındaki uzaklığın en az olduğu modeller en iyi modelleri göstermektedir.

Her modelin analizinde laboratuvar ve saha verileri için iki ayrı şekil çizilmiştir. Şekil 7.1-7.17'ye bakıldığında her bir veri takımının ayrı sembollerle ifade edildiği görülmektedir. Ayrıca bu şekillerde modellerin determinasyon katsayıları (R^2) değerleri de gösterilmiştir

Laboratuvar verileri kullanılarak elde edilen katı madde denklemlerinin sonuçları grafiksel ve istatistiksel olarak değerlendirildiğinde: Molinas ve Wu (2001), Shu-Qing Yang (2005) denklemleri tahminin üzerinde sonuç verirken, van Rijn denklemi (1984a,b) tahminin altında sonuçlar vermiştir. Laboratuvar verileri kullanılarak elde edilen toplam katı madde miktarı tahmininde RVM, ileri beslemeli geri yayınlı YSA (FFNN) ve ANFIS teknikleri en iyi sonuçları verirken, bu sıralamayı Brownlie (1981a), Shen and Hung (1972), MLR, ve Yang (1979) metotları takip etmiştir. Ayrıca bu metotların 388 adet laboratuvar test verisi için, farklılık oranları 2'den

küçük olan tahmin sayıları sırasıyla 345, 344, 331, 311, 306, 303, ve 266 olarak hesaplanmıştır.

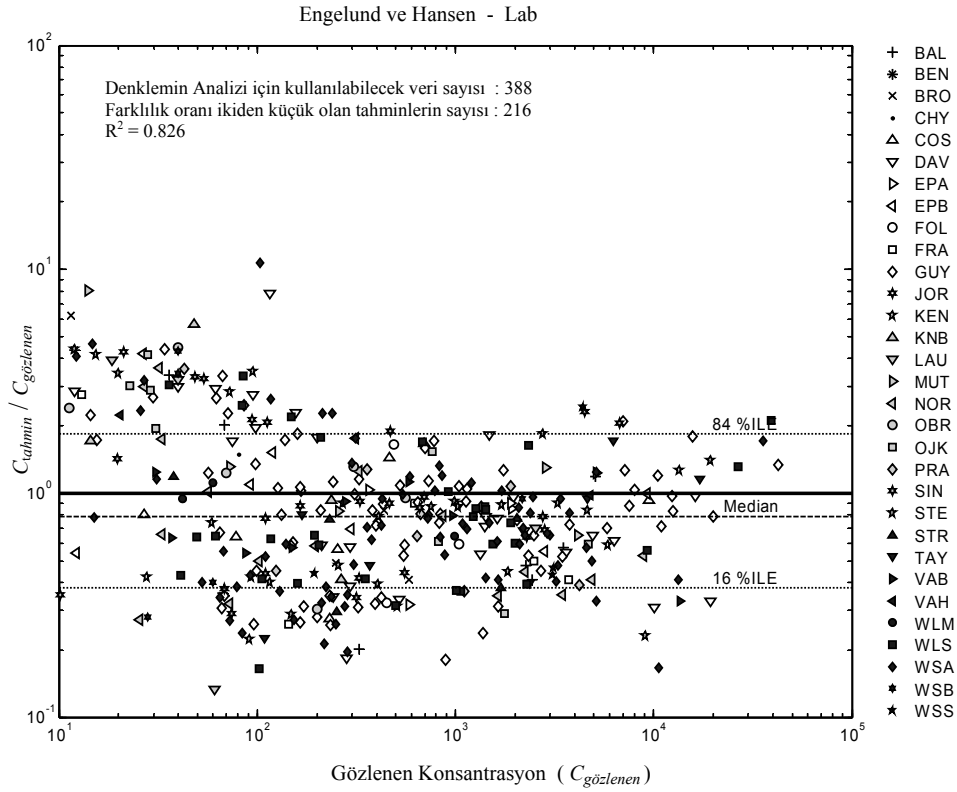
Molinas ve Wu (2001) metodu laboratuvar verileri için iyi sonuçlar vermemesine karşın saha verileri için iyi ve mantıklı sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni ise bu denklemin sadece saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş olmasıdır.

Graf (1971) ve Acaroglu (1968) tekniklerinin laboratuvar çalışmaları için iyi sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Shen ve Hung (1972) metodu saha verilerine dayalı tahminde, tahminin altında sonuçlar vermiştir. Aksine laboratuvar verilerine dayalı tahminlerde iyi ve mantıklı sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni ise bu denklemin laboratuvar verilerine dayalı olarak geliştirilmiş olmasıdır. Yang (1979), van Rijn (1984a,b), Karim (1998), ve Rotnner (1959) denklemleri saha verilerine dayalı tahminlerde tahminin altında sonuçlar vermiştir.

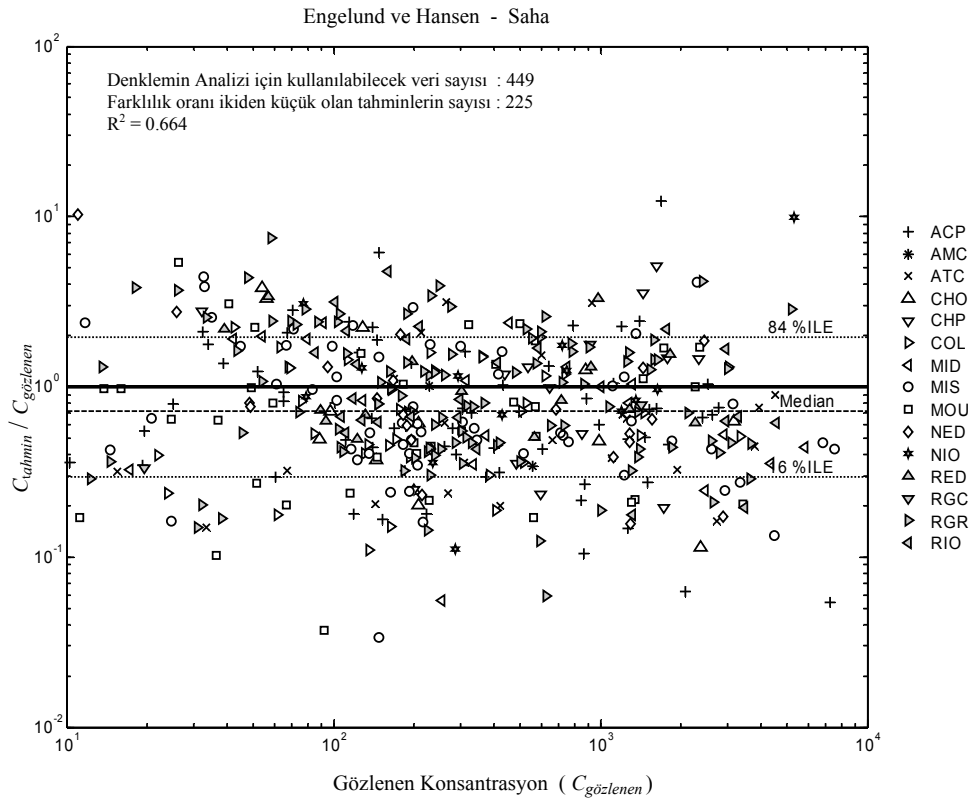
Ackers ve White (1973), Brownlie (1981a), Engelund ve Hansen (1967), Molinas ve Wu (2001) ve Shu-Qing Yang (2005) denklemleri saha verilerine dayalı yapılan tahminlerde diğer denklemlere nazaran iyi sonuçlar vermiştir.

449 adet saha verisini test etmek için kullanılan metotların farklılık oranları ikiden küçük olan tahminlerinin sayıları; YSA için 335, RVM için 330, ANFIS için 325, MLR için 307, Molinas ve Wu (2001) denklemi için 276, Brownlie (1981) denklemi için 265, Ackers ve White (1973) denklemi için 245, Shu-Qing Yang (2005) denklemi için 234, Engelund ve Hansen (1967) denklemi için 225 olarak hesaplanmıştır.

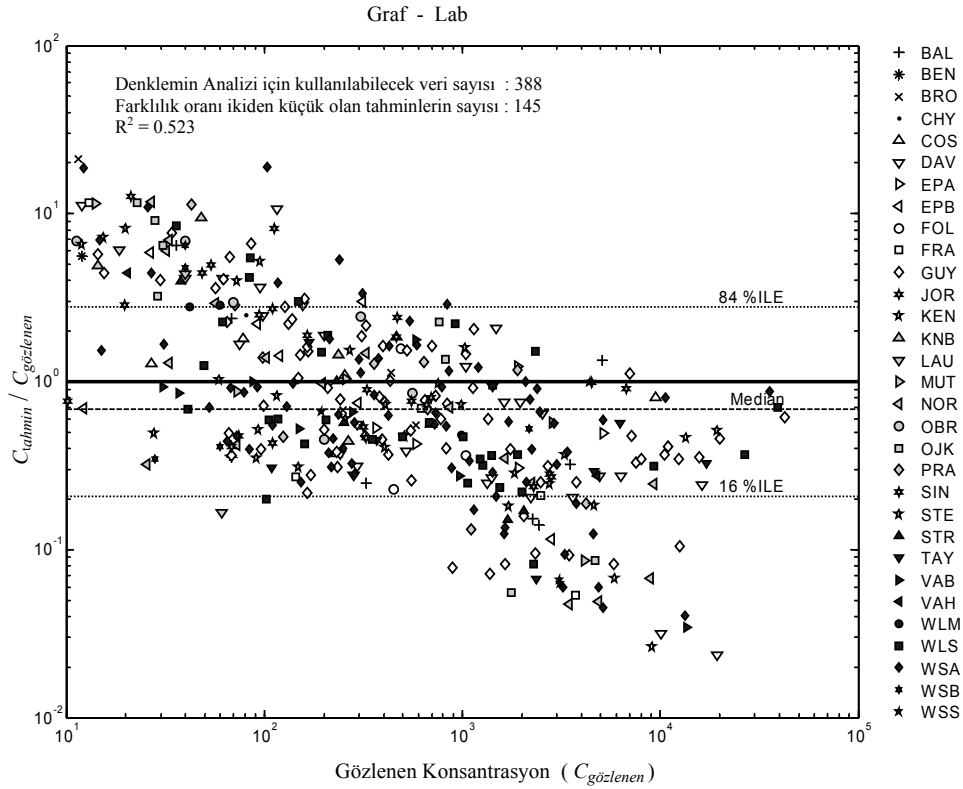
Bununla birlikte, RVM modelinin laboratuvar ve saha verilerine dayalı toplam katı madde miktarı tahminlerinde, diğer yapay zeka metotlarıyla yakın sonuçlar verirken ve katı madde denklemlerinden çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.



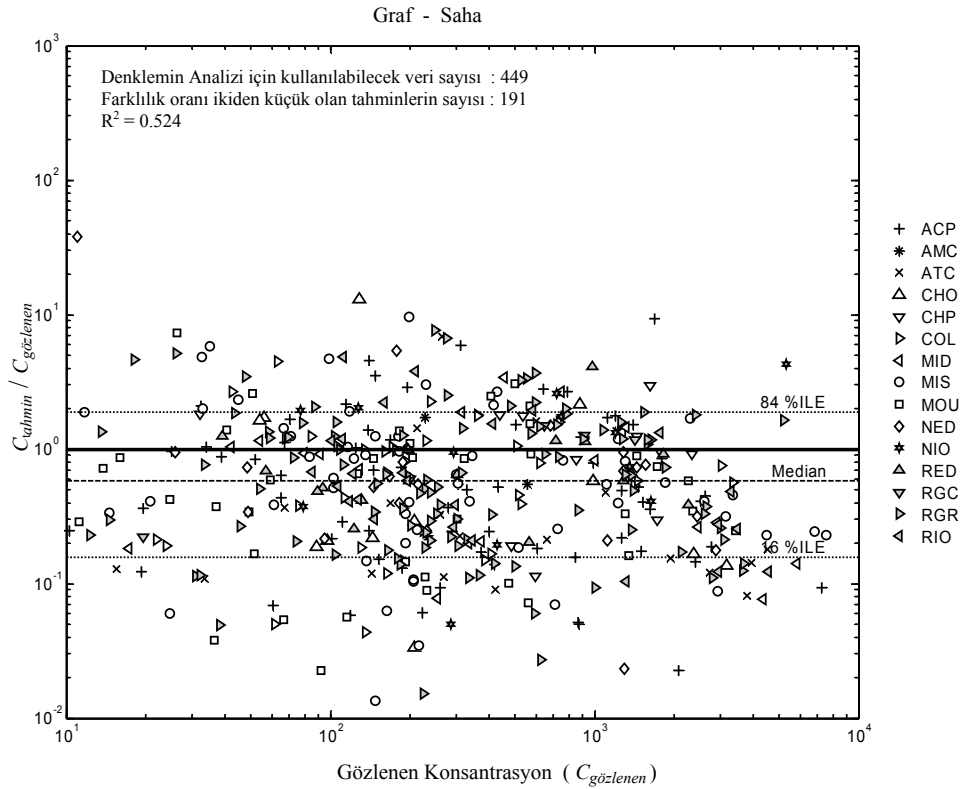
Şekil 5.1a. Engelund ve Hansen (1967) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



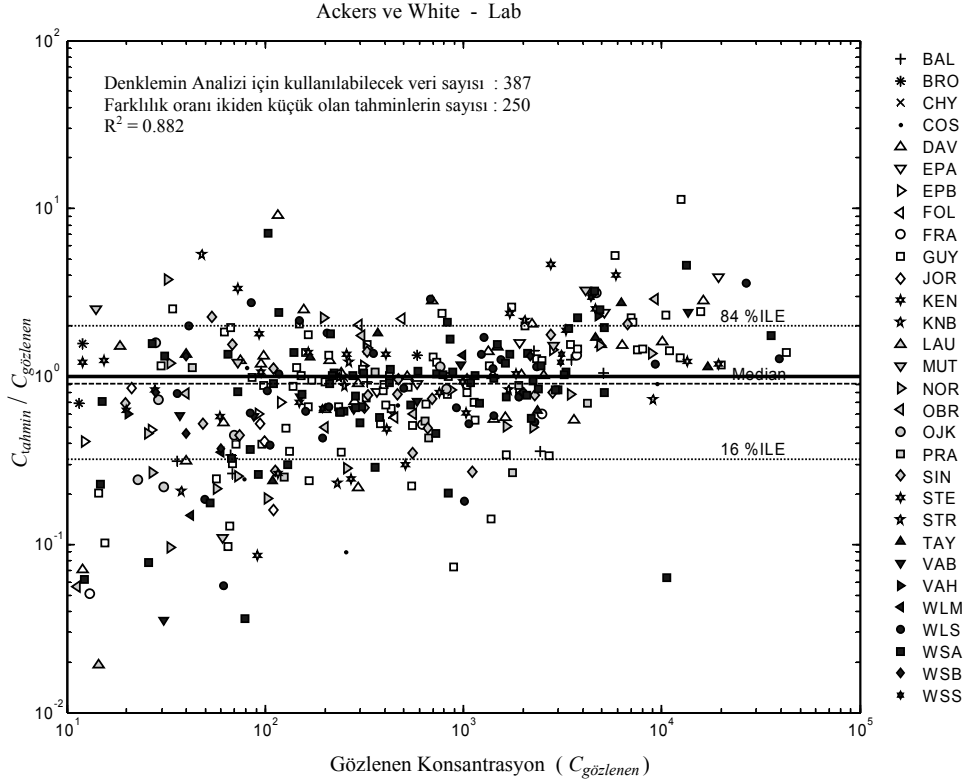
Şekil 5.1b. Engelund ve Hansen (1967) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



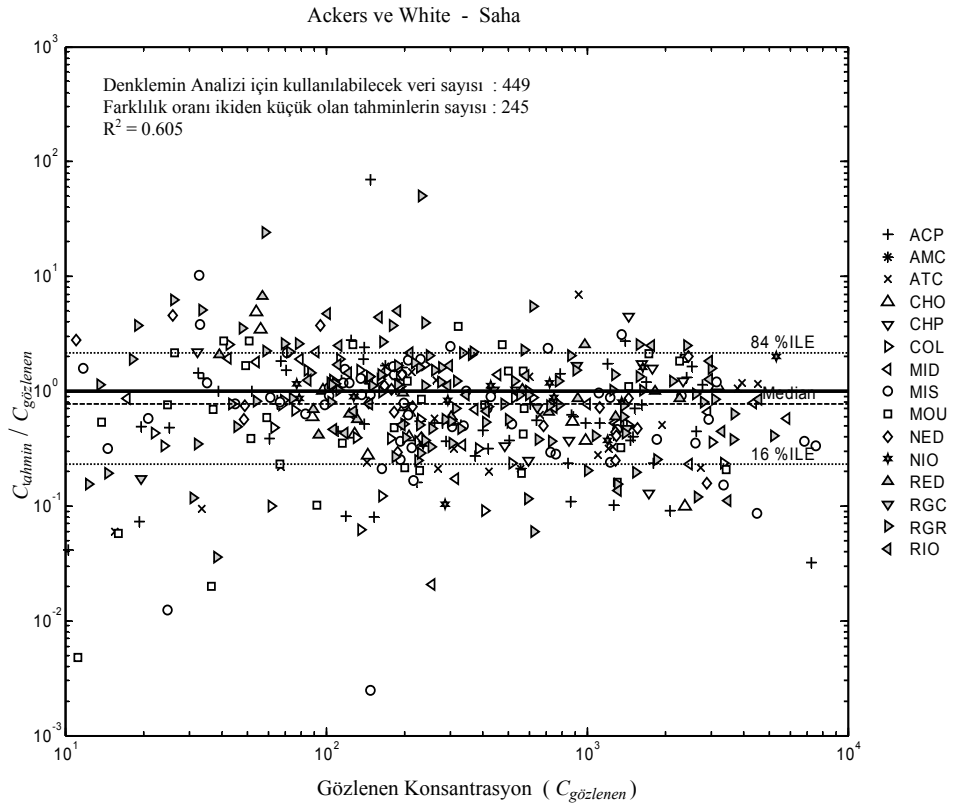
Şekil 5.2a. Graf (1971) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



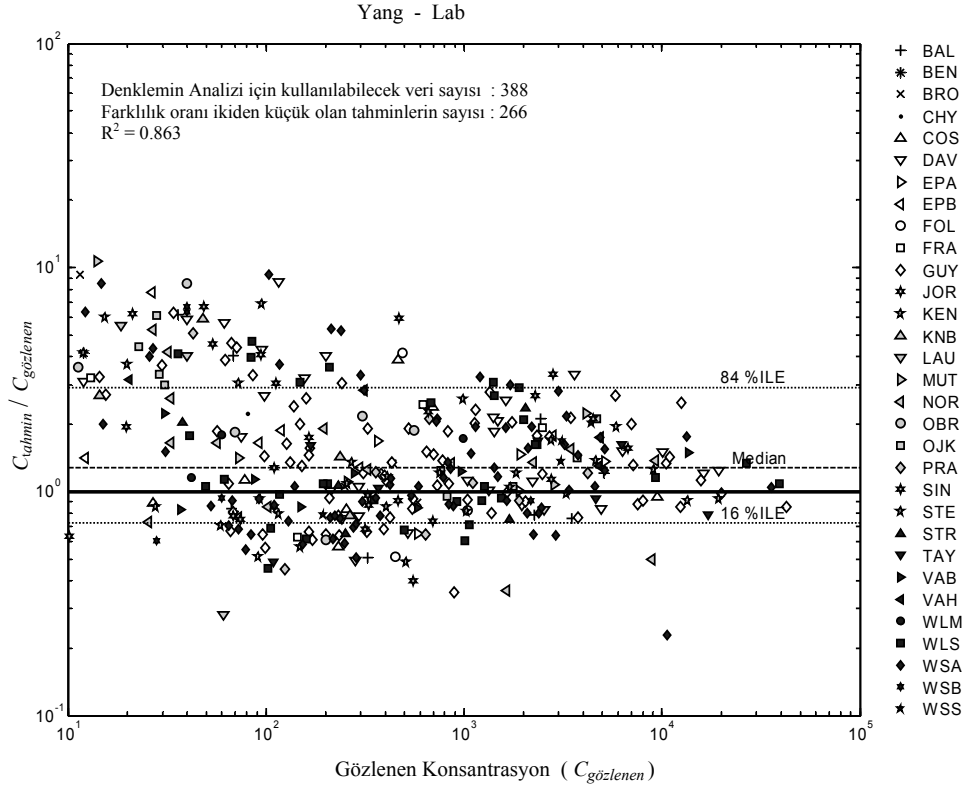
Şekil 5.2b. Graf (1971) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



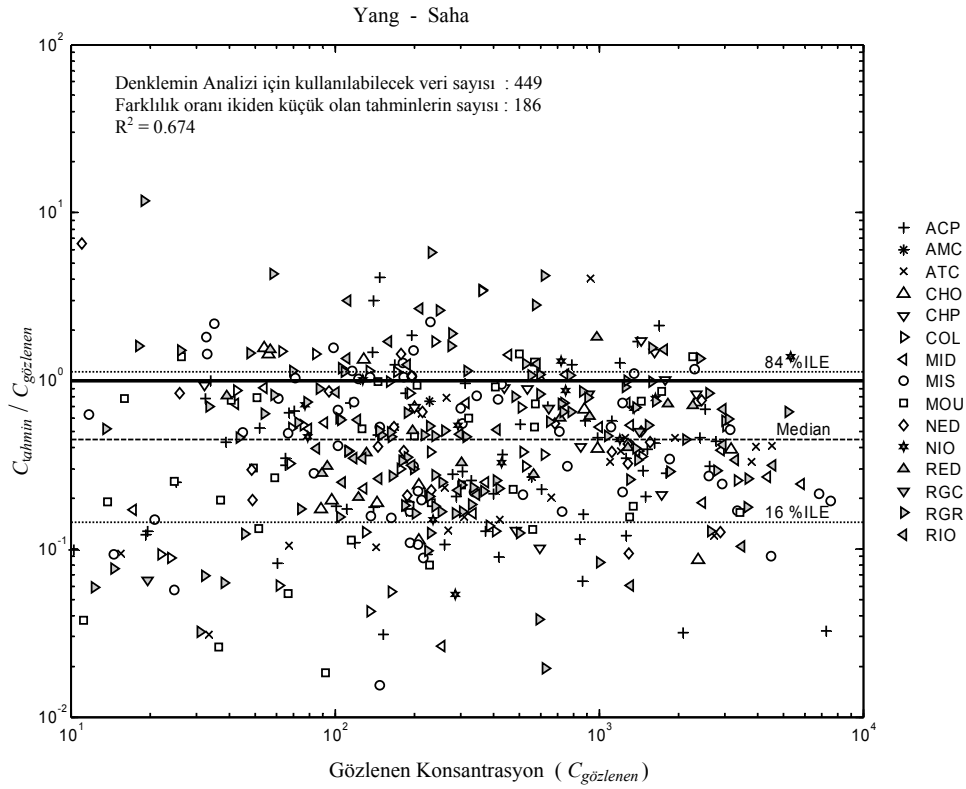
Şekil 5.3a. Ackers ve White (1973) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



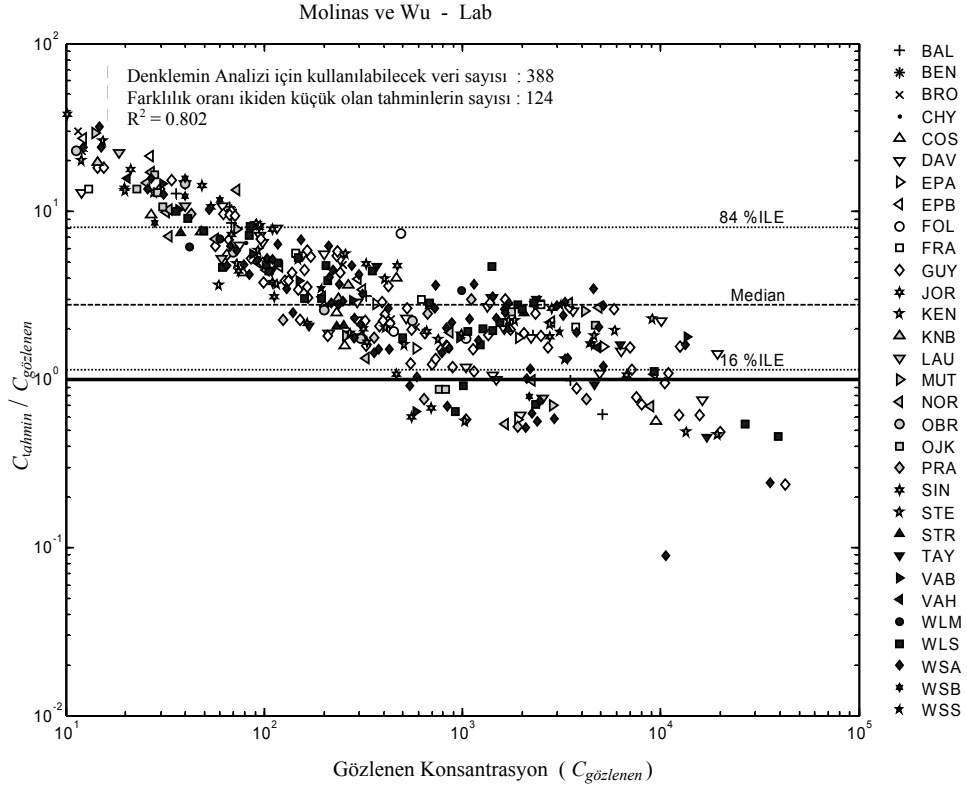
Şekil 5.3b. Ackers ve White (1973) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



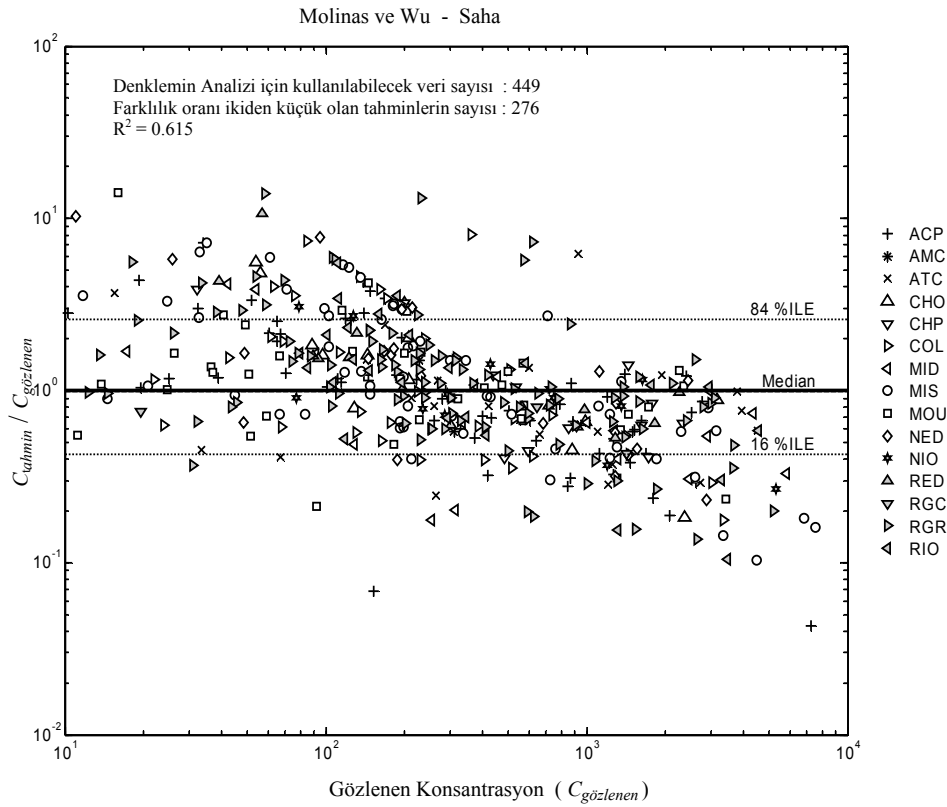
Şekil 5.4a. Yang (1979) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



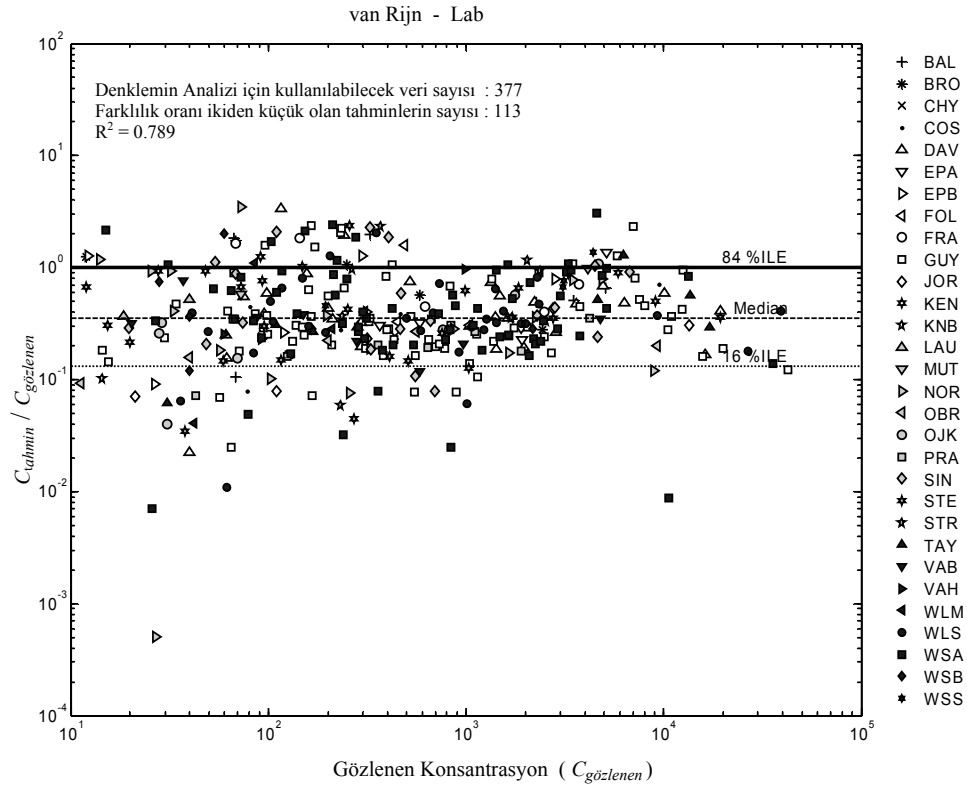
Şekil 5.4b. Yang (1979) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



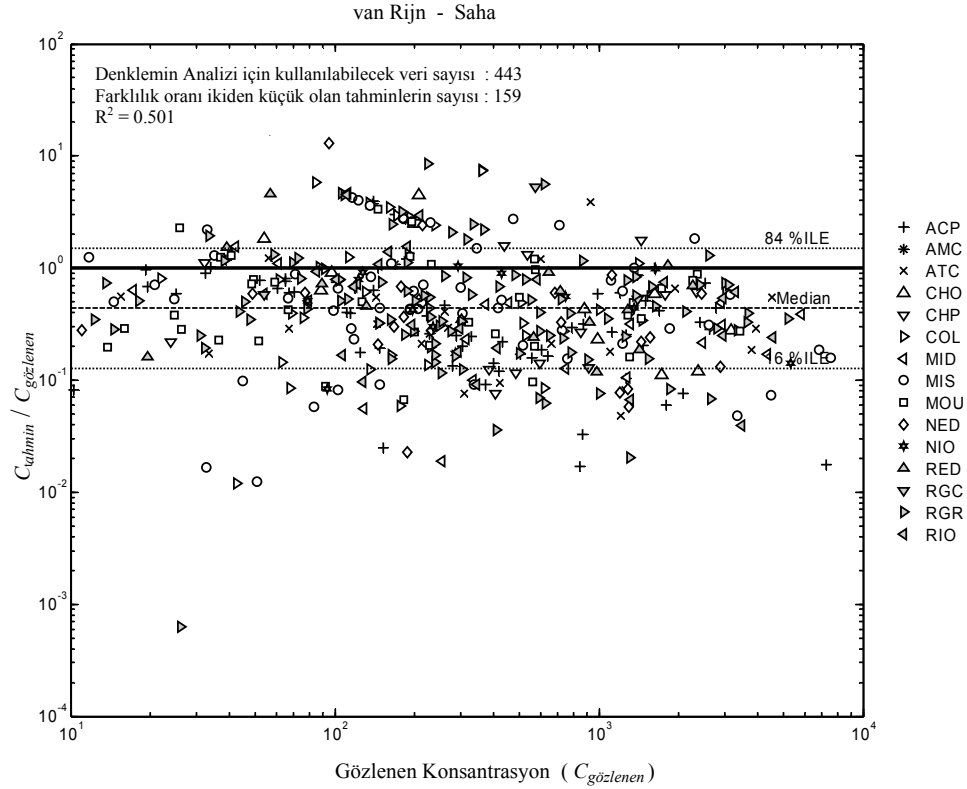
Şekil 5.5a. Molinas ve Wu (2001) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



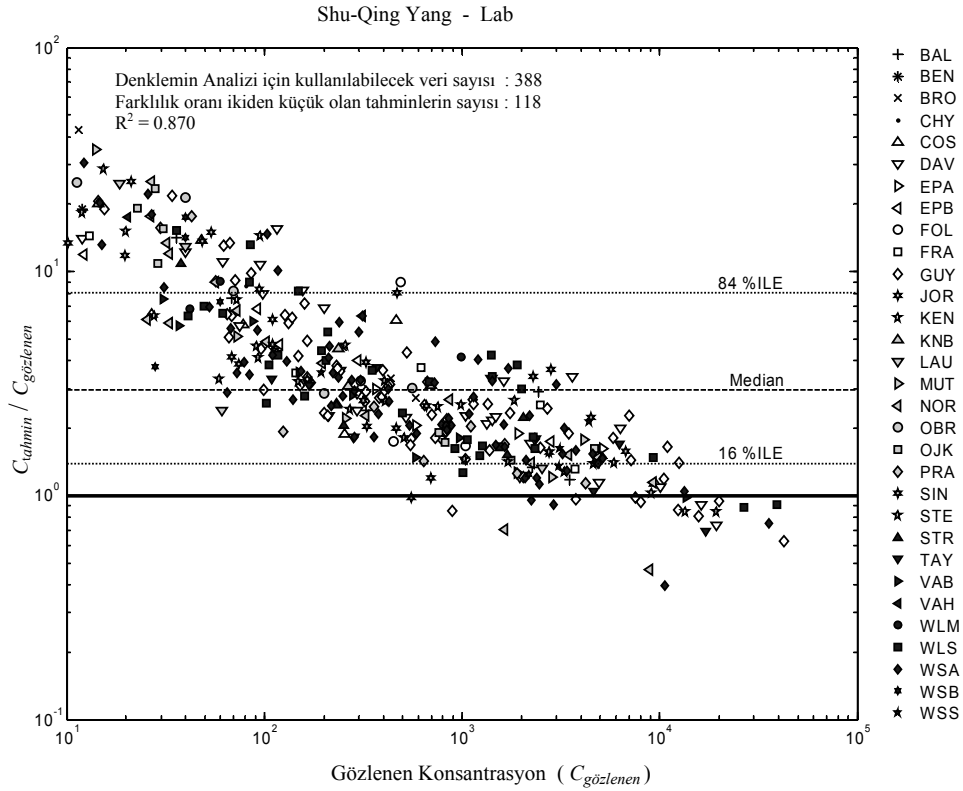
Şekil 5.5b. Molinas ve Wu (2001) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



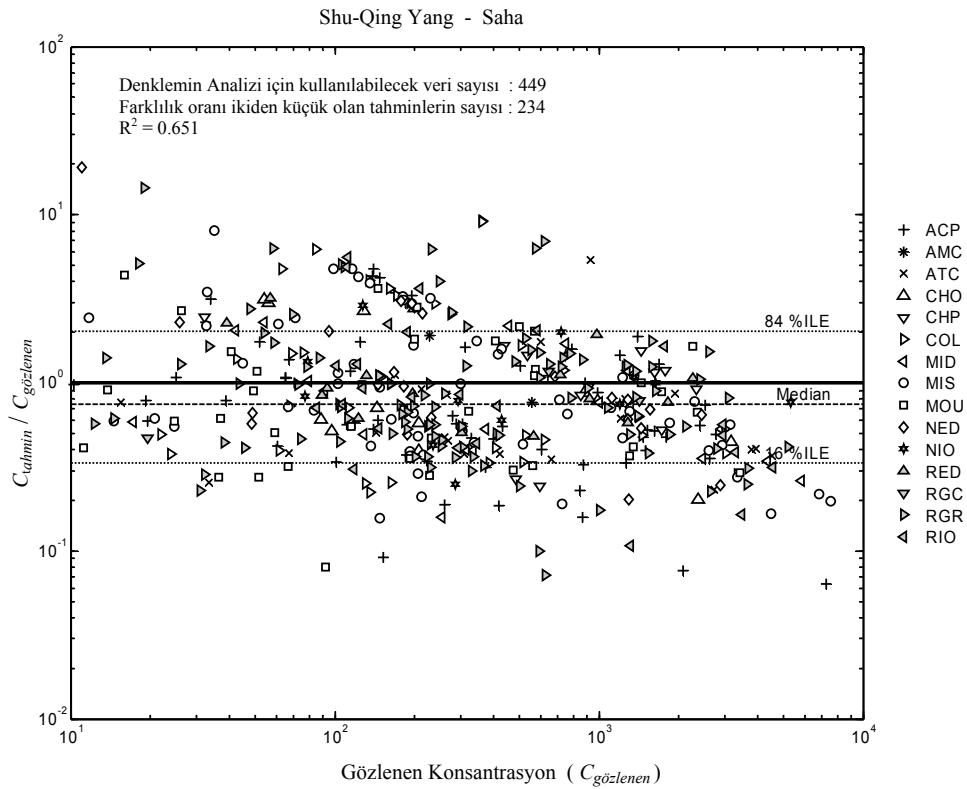
Şekil 5.6a. van Rijn (1984) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



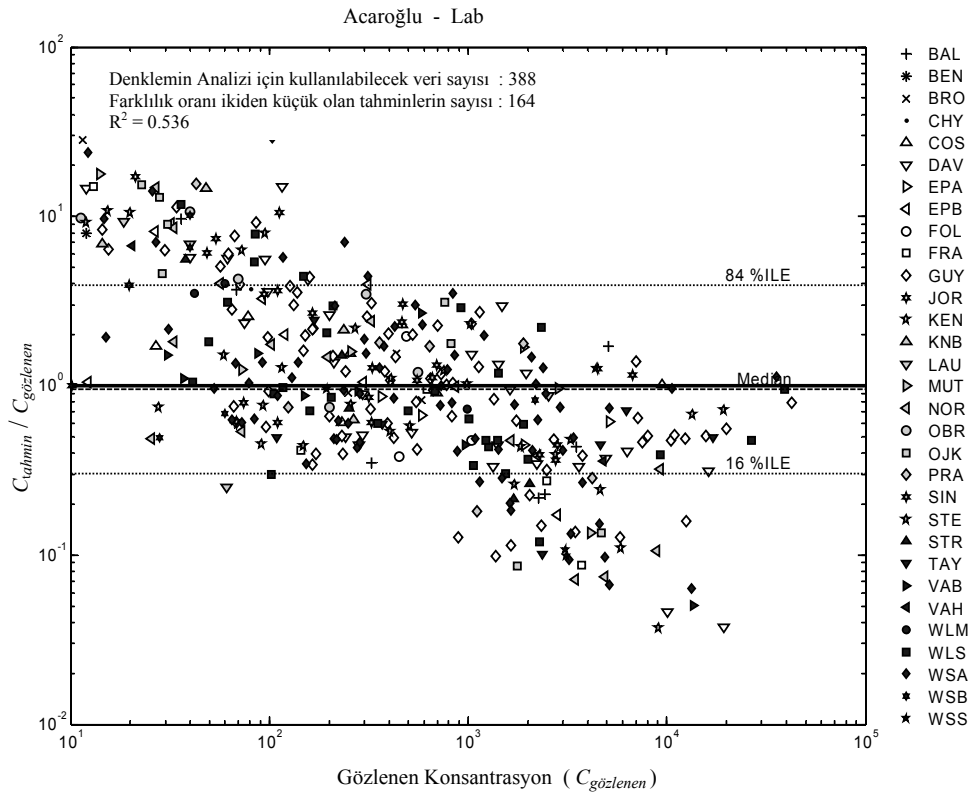
Şekil 5.6b. van Rijn (1984) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



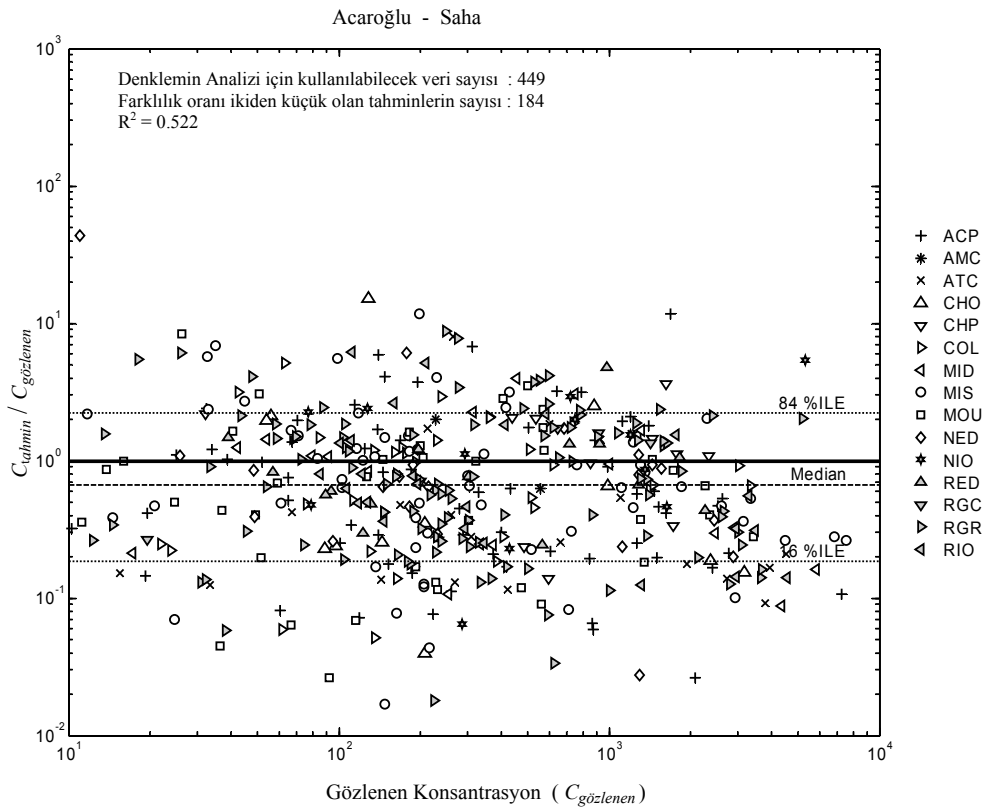
Şekil 5.7a. Shu-Qing Yang (2005) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



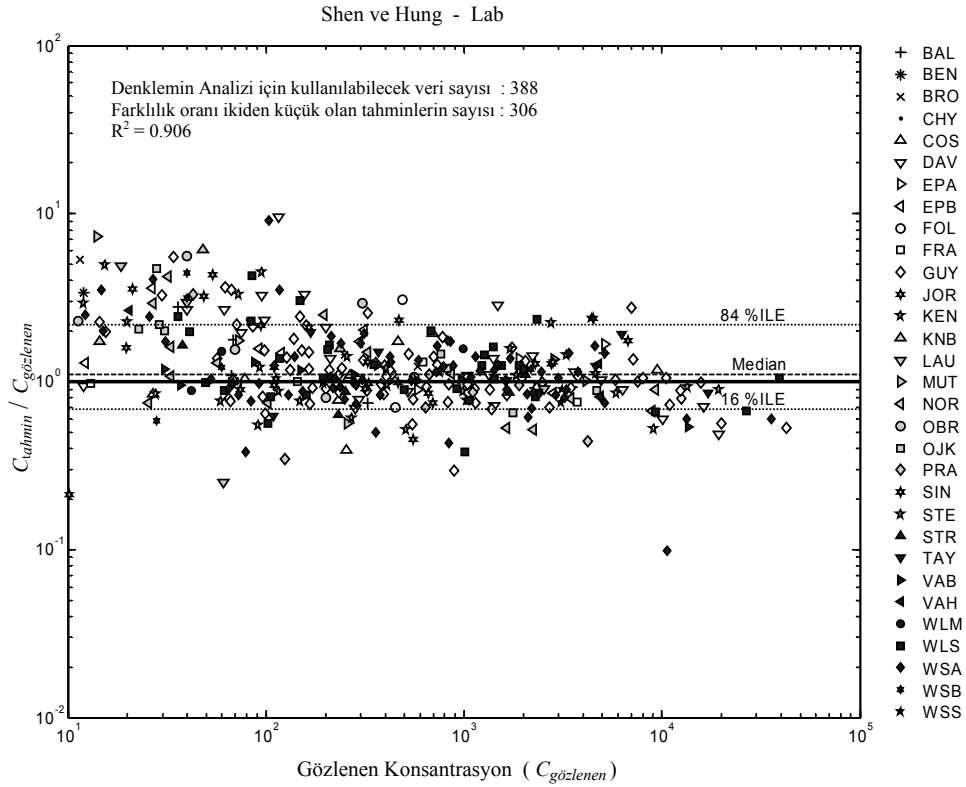
Şekil 5.7b. Shu-Qing Yang (2005) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



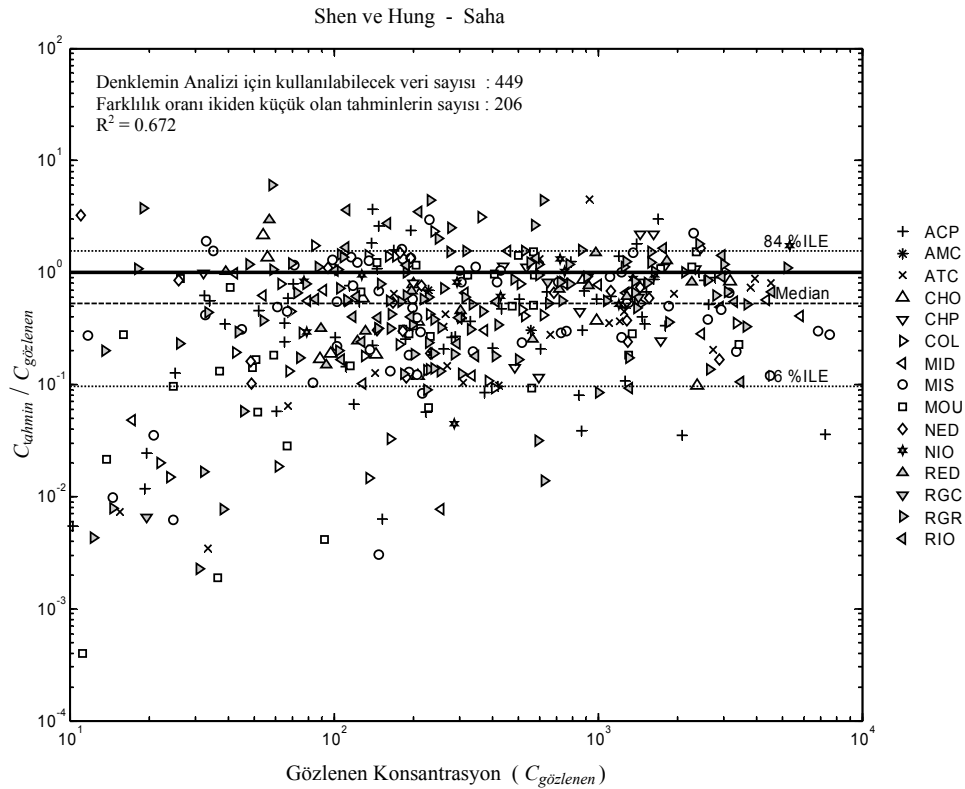
Şekil 5.8a. Acaroğlu (1968) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



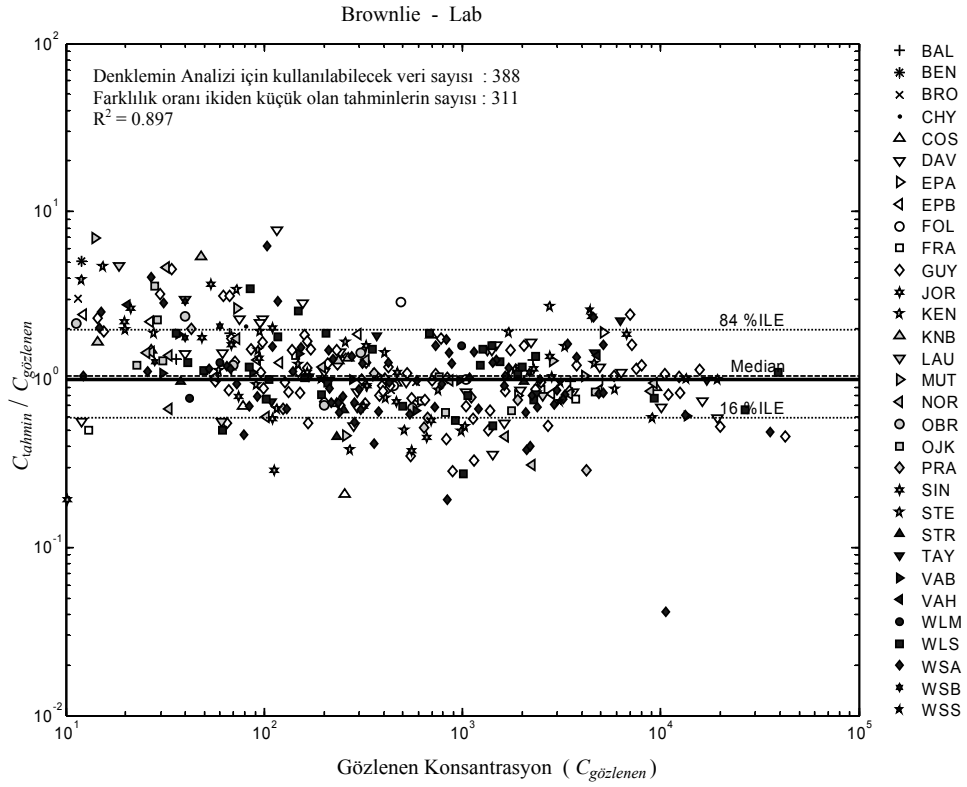
Şekil 5.8b. Acaroğlu (1968) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



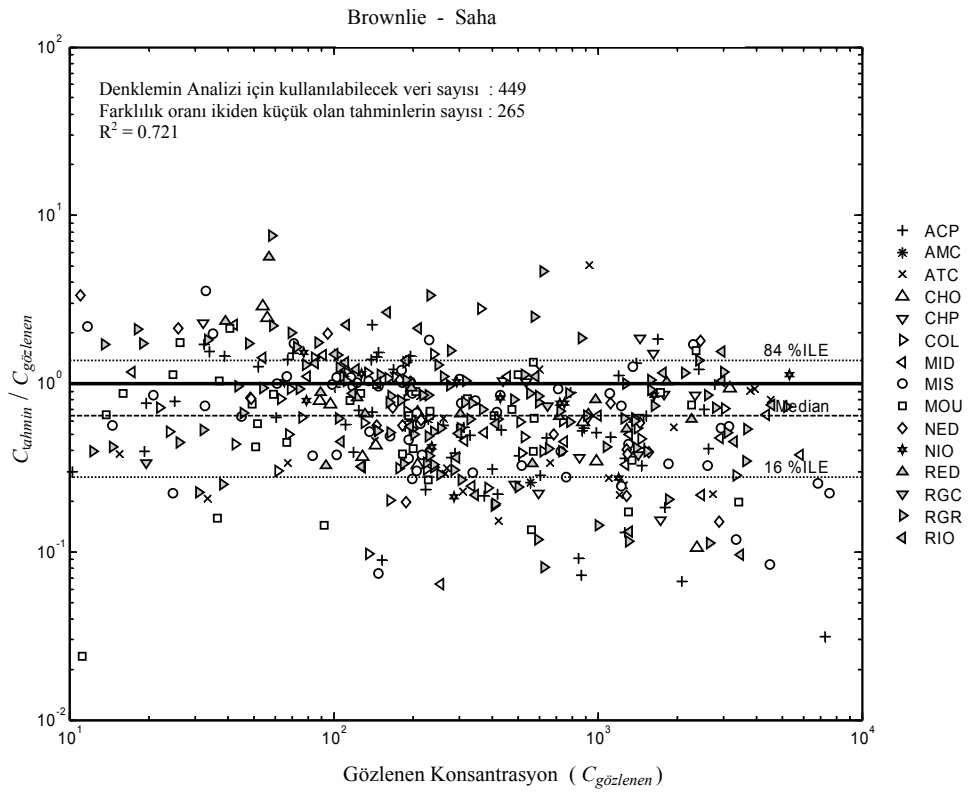
Şekil 5.9a. Shen ve Hung (1972) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



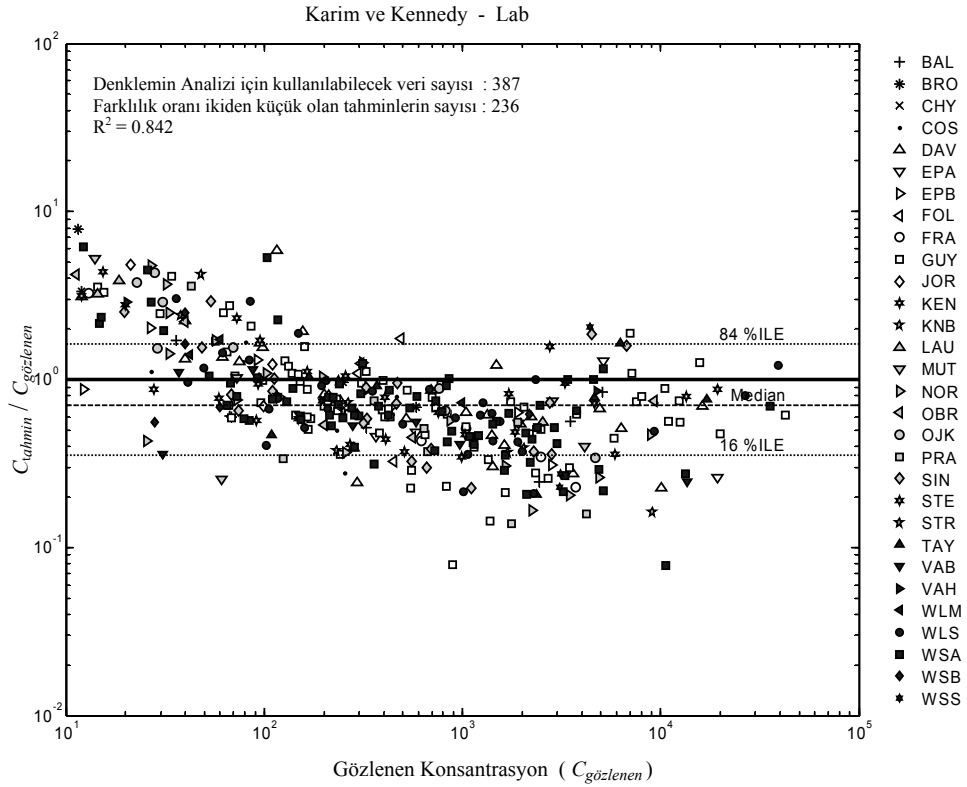
Şekil 5.9b. Shen ve Hung (1972) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



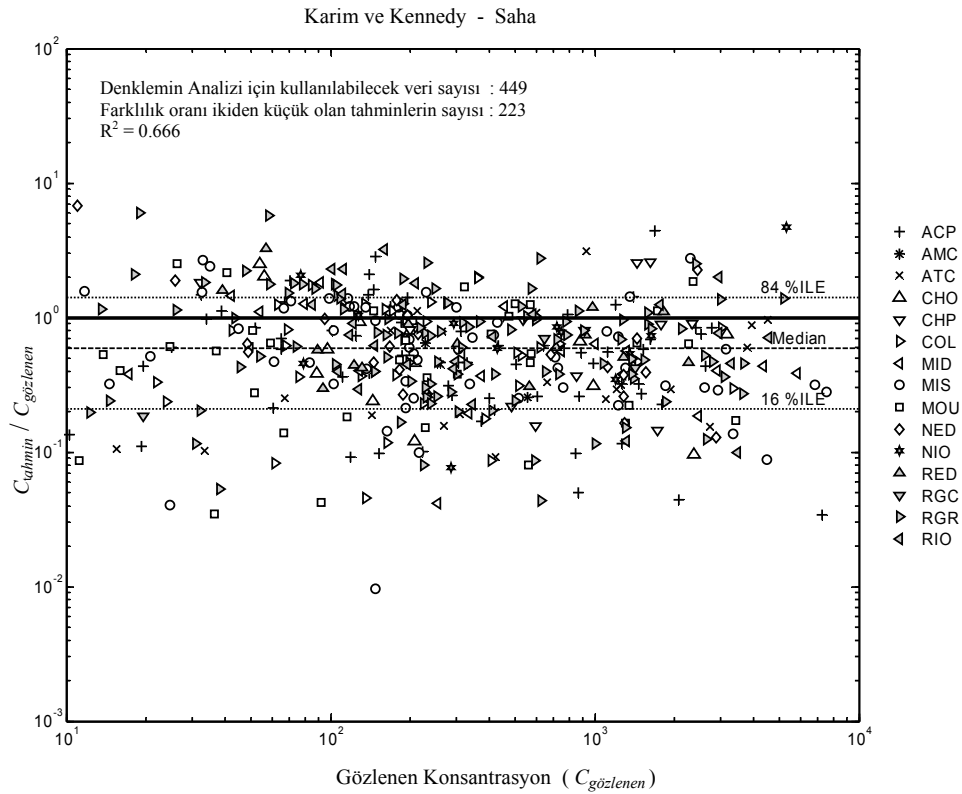
Şekil 5.10a. Brownlie (1981a) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



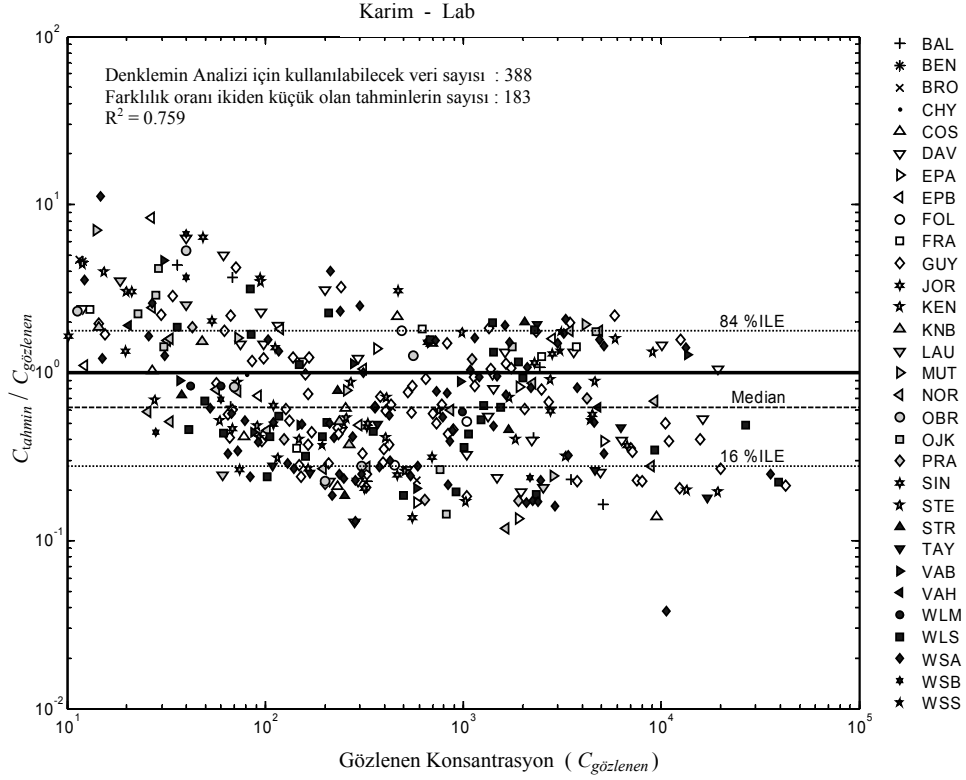
Şekil 5.10b. Brownlie (1981a) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



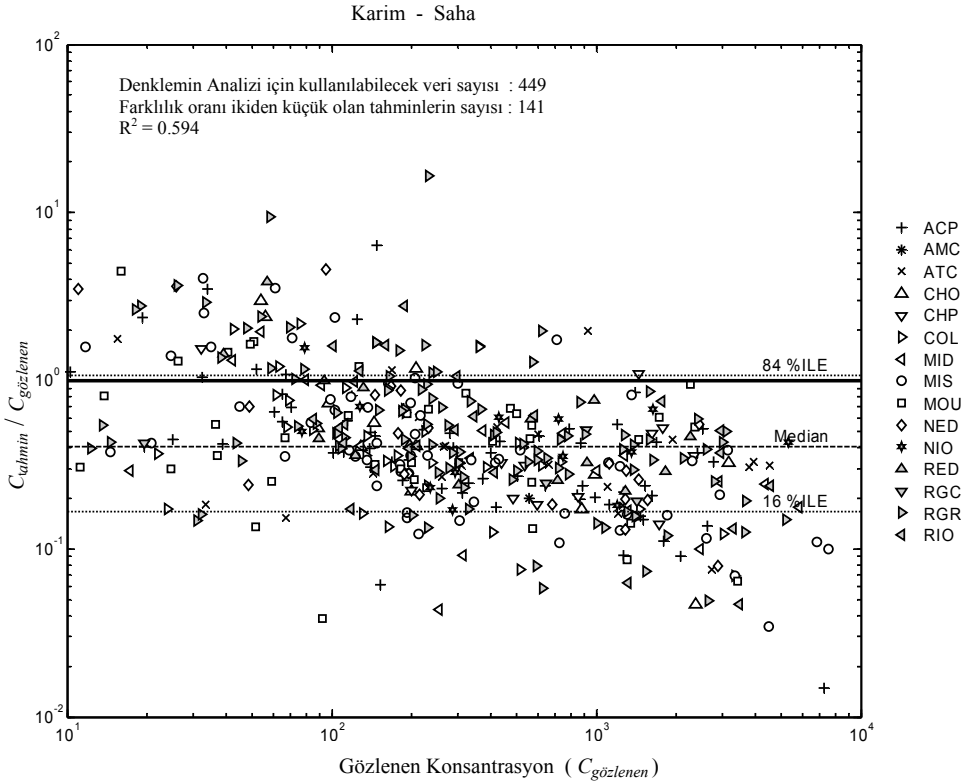
Şekil 5.11a. Karim ve Kennedy (1981) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



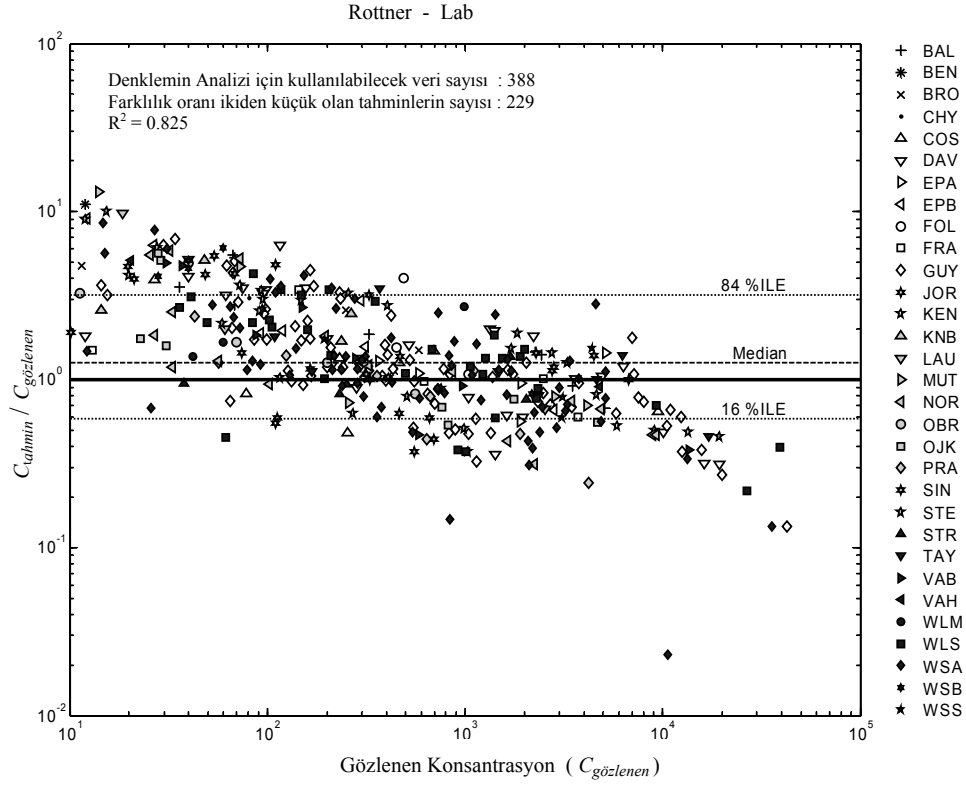
Şekil 5.11b. Karim ve Kennedy (1981) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



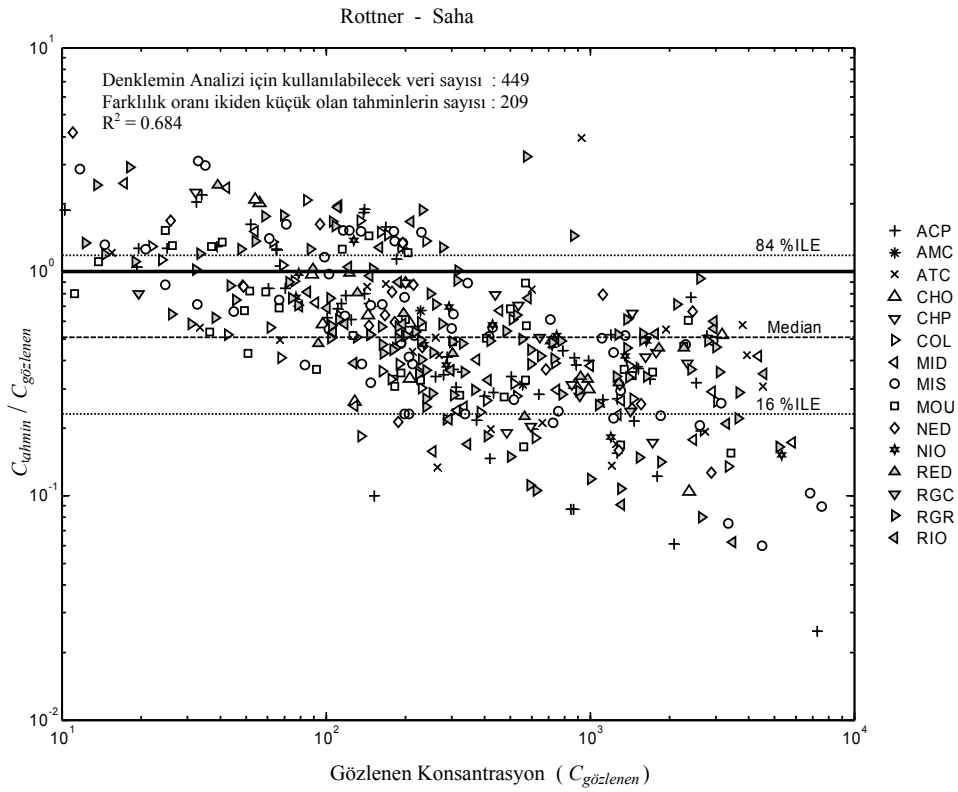
Şekil 5.12a. Karim (1998) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



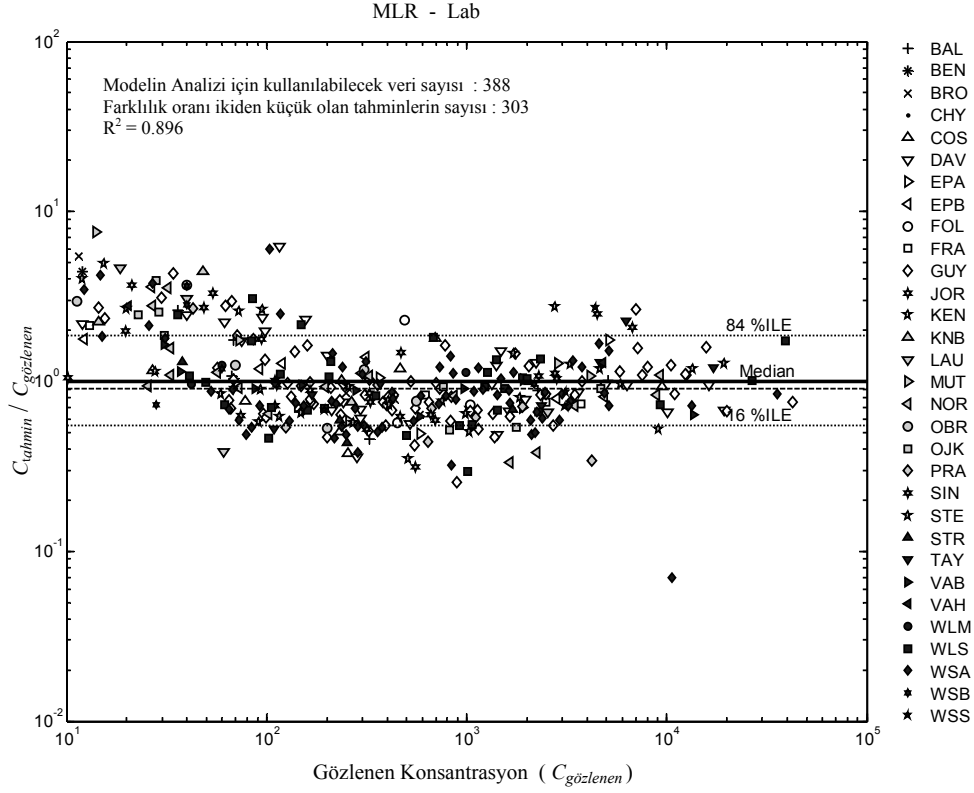
Şekil 5.12b. Karim (1998) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



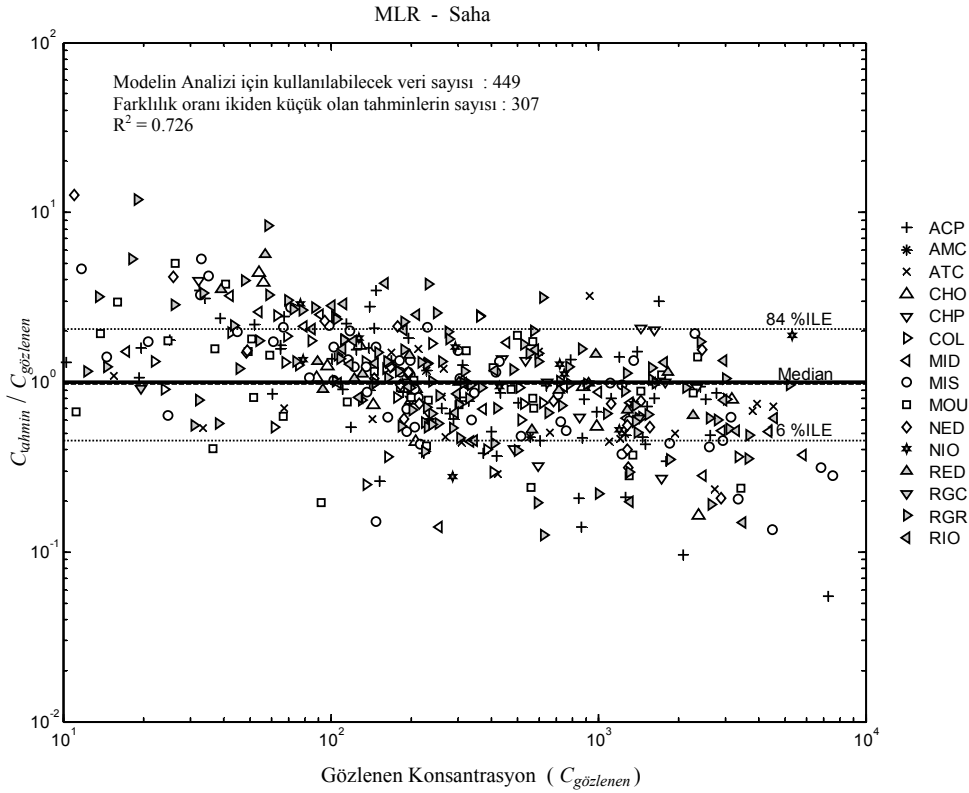
Şekil 5.13a. Rottner (1959) metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



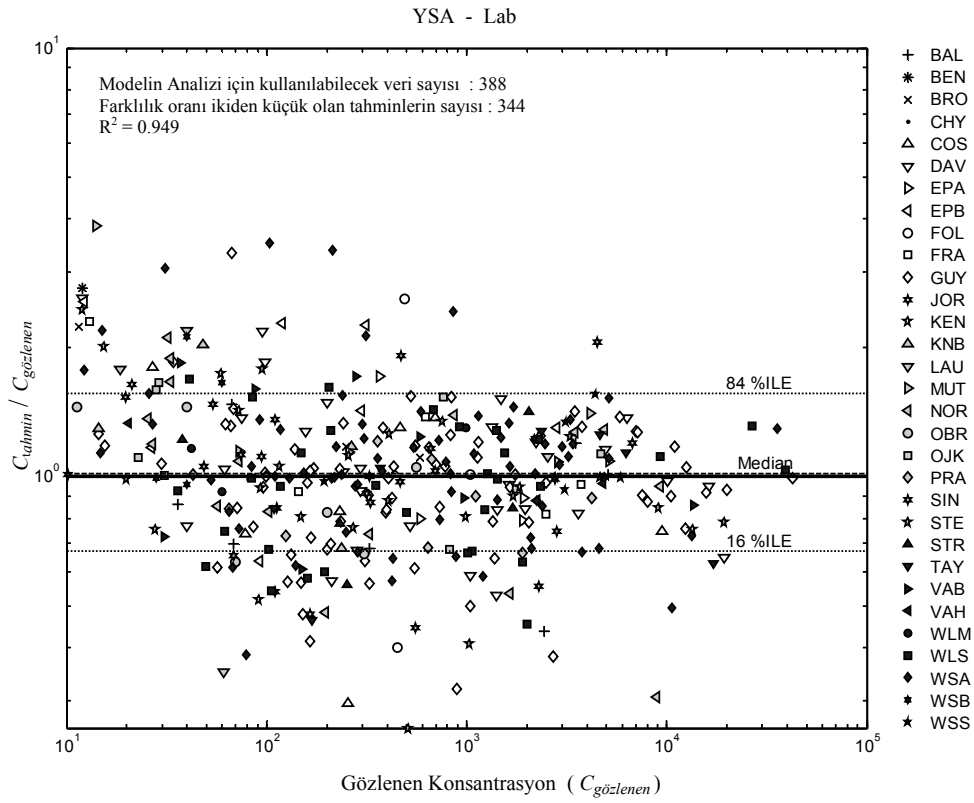
Şekil 5.13b. Rottner (1959) metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



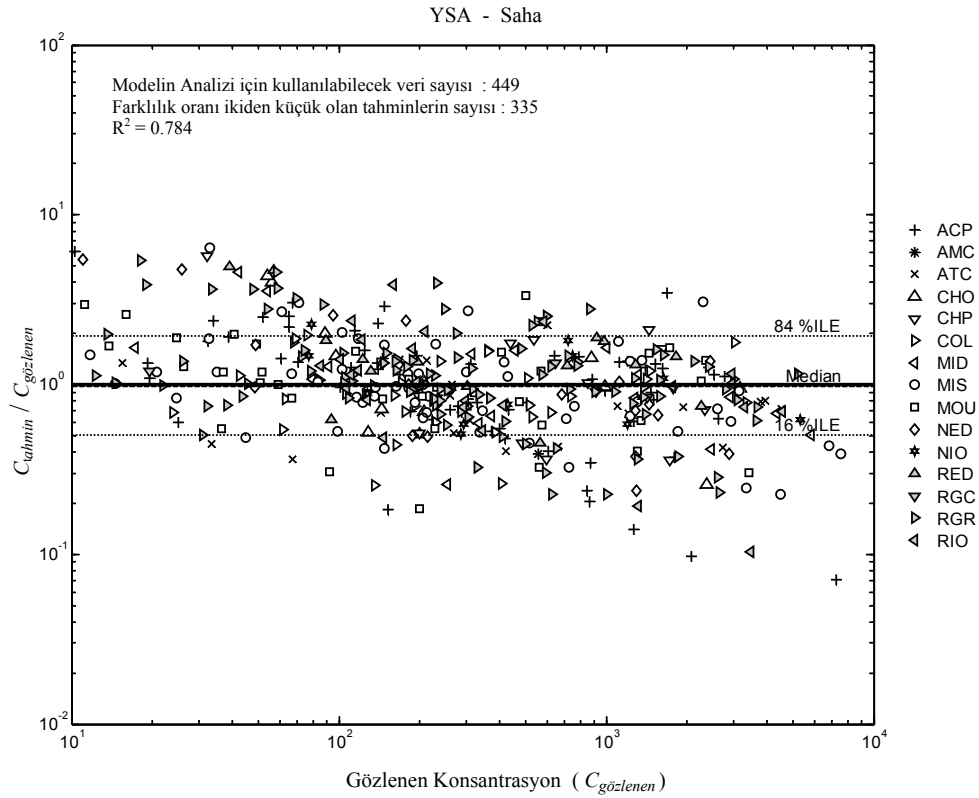
Şekil 5.14a. MLR metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



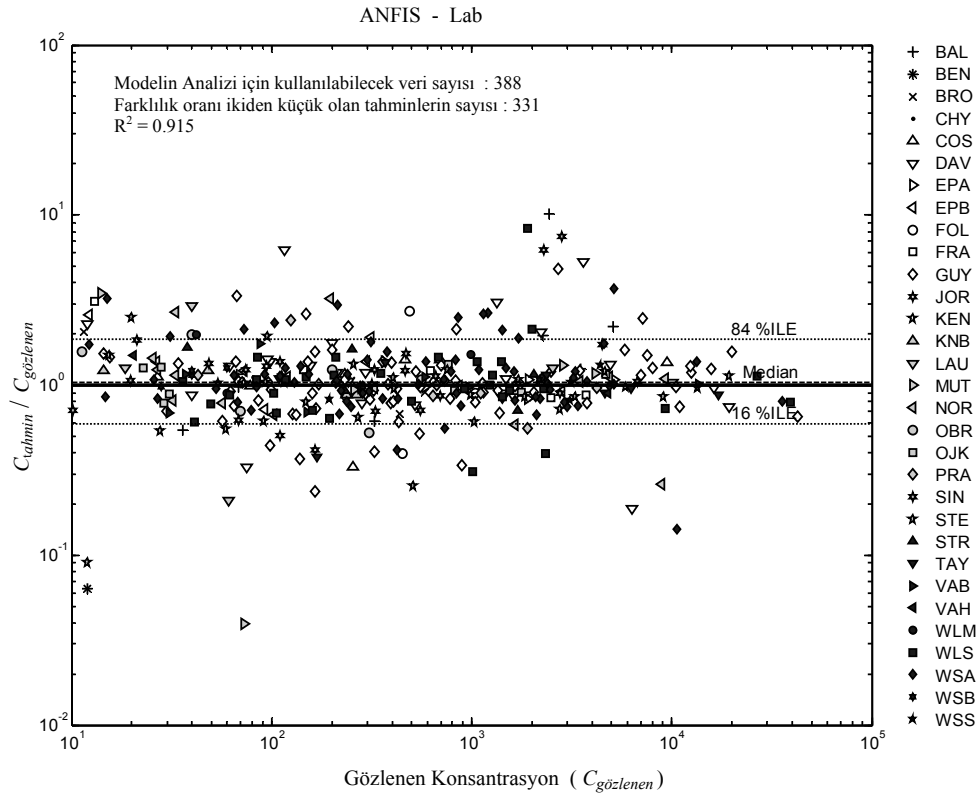
Şekil 5.14b. MLR metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



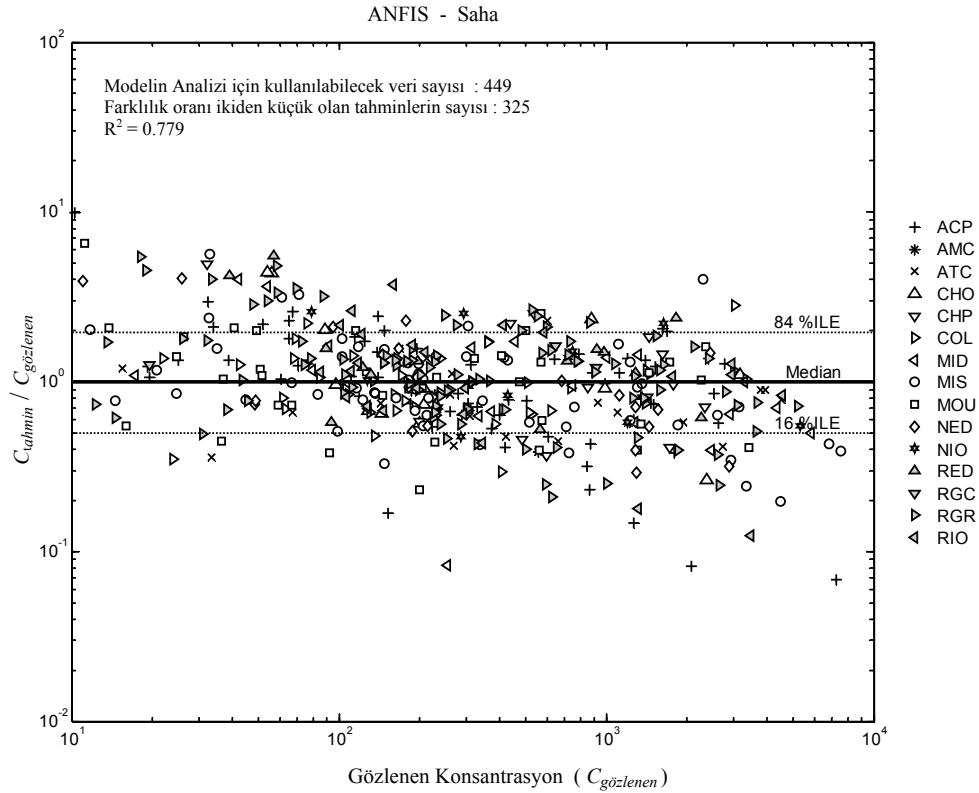
Şekil 5.15a. YSA metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



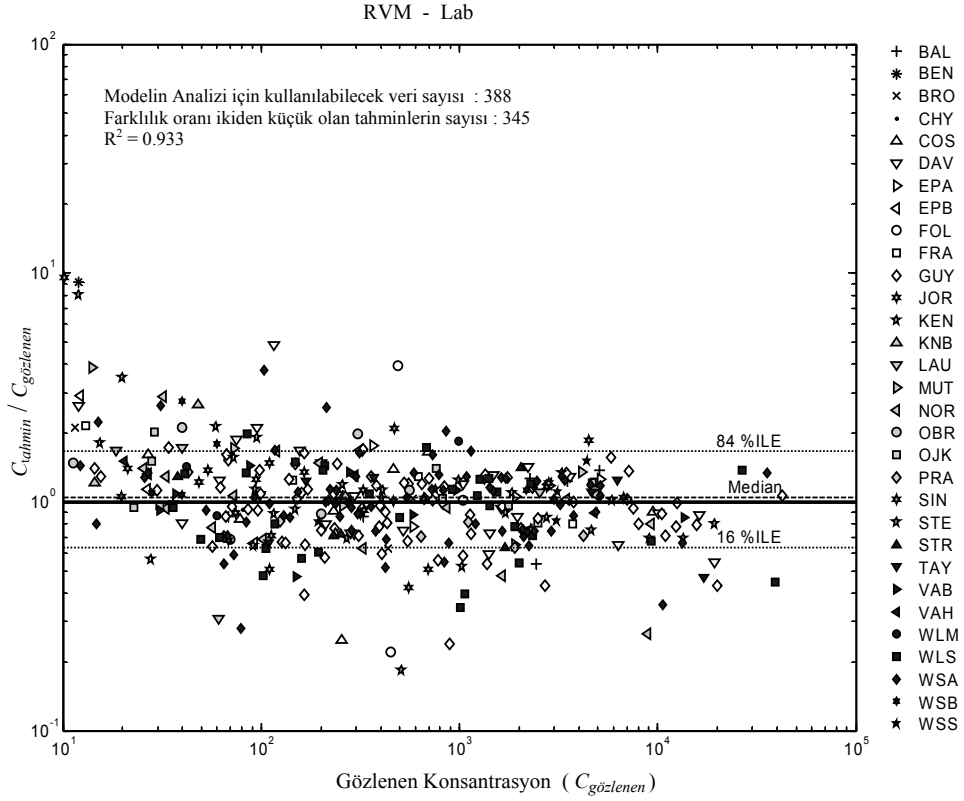
Şekil 5.15b. YSA metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



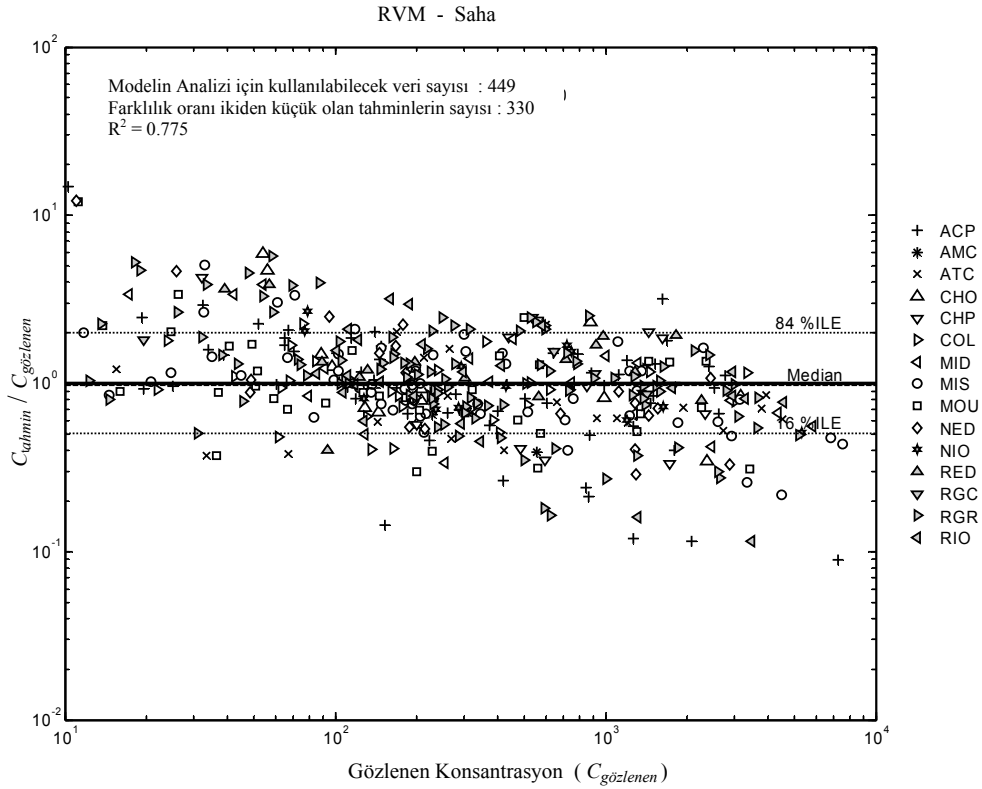
Şekil 5.16a. ANFIS metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



Şekil 5.16b. ANFIS metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



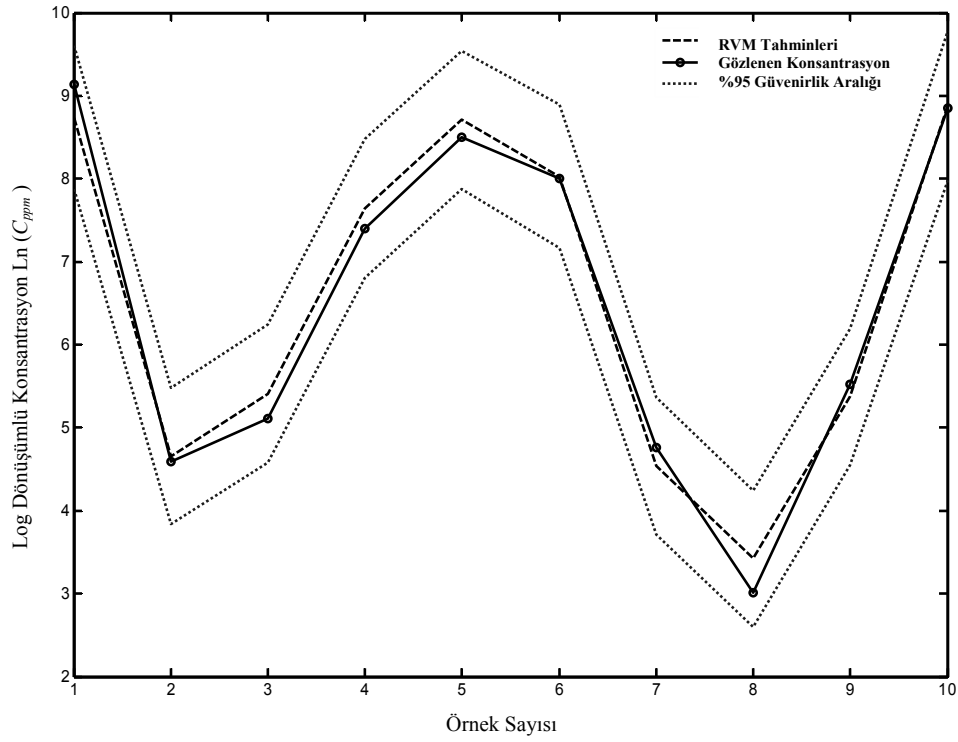
Şekil 5.17a. RVM metoduyla laboratuvar verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması



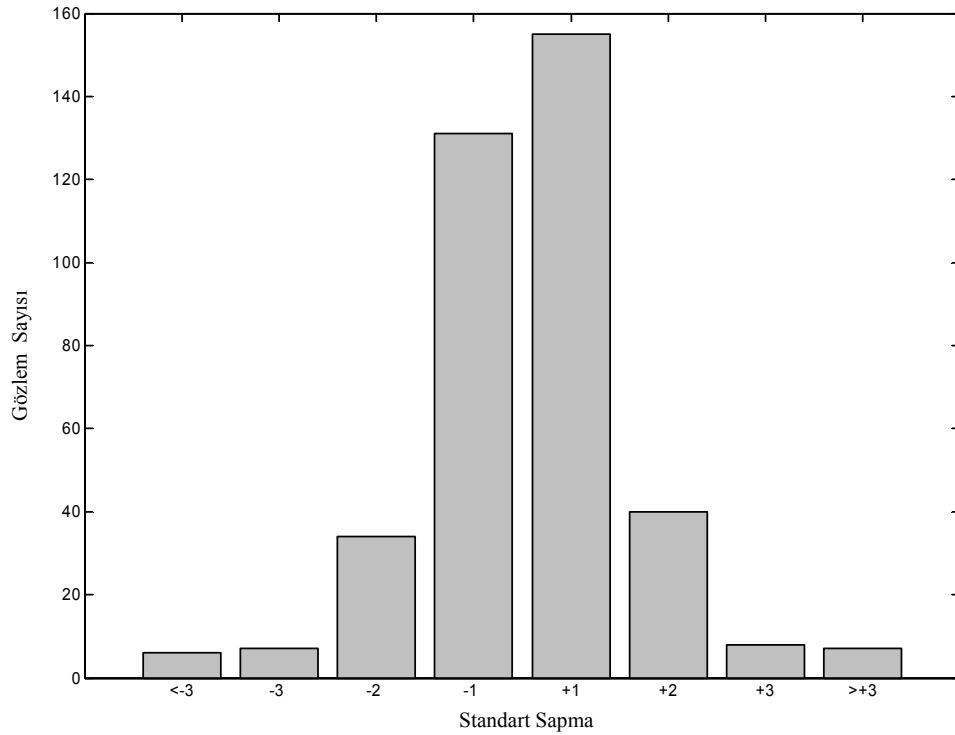
Şekil 5.17b. RVM metoduyla saha verilerine dayalı olarak elde edilmiş toplam katı madde konsantrasyonunun gözlemlenen (gerçek) konsantrasyonla karşılaştırılması

RVM tarafından tahmin edilen laboratuvar ve sahadaki toplam katı madde konsantrasyonu test takımlarından rasgele seçilmiş 10 adet konsantrasyon verisinin %95 güvenirlilik bandı aralığında kaldığı Şekil 5.18. ve 5.20.'de gösterilmiştir. Şekil 5.19. ve 5.21'e bakıldığında laboratuvar ve saha verilerine dayalı RVM toplam katı madde konsantrasyon tahminlerinin %70'lik bir kısmının ± 1 standart sapma içerisinde olduğu görülmektedir.

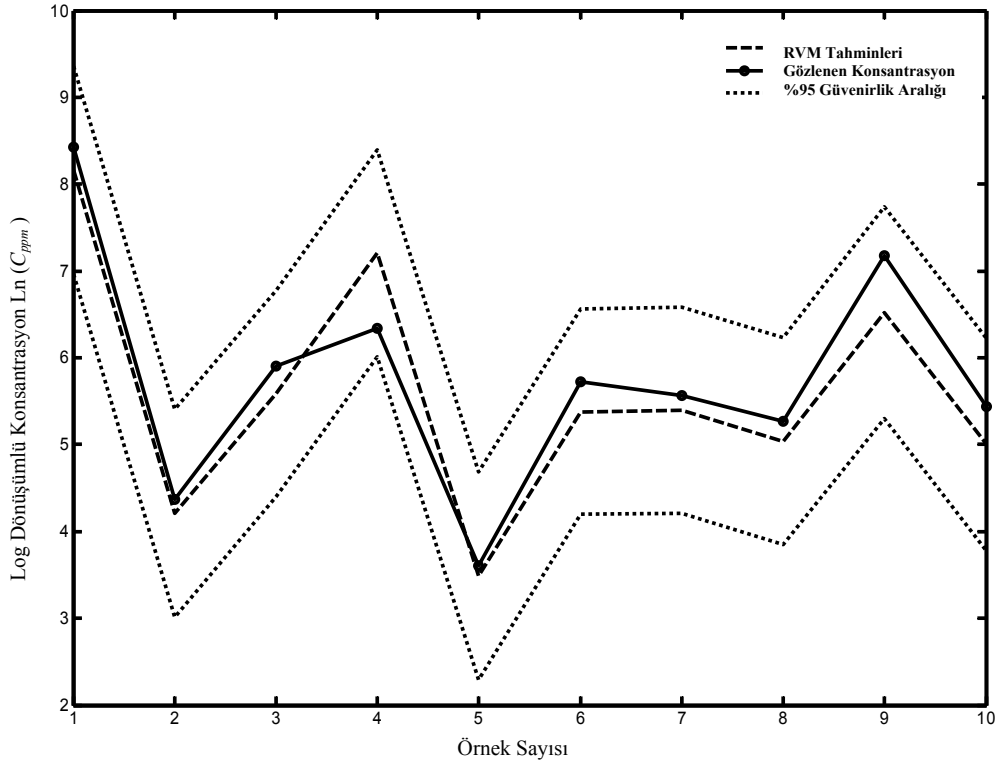
YSA, ANFIS, MLR, RVM modelleri ve toplam katı madde taşınım denklemlerinin verdiği sonuçlar istatistiki açıdan değerlendirilmiş olup Tablo 5.1. ve Şekil 5.22.'de verilmiştir. Tablo 5.1.'de tüm modellerin farklılık oranlarının geometrik ortalama (Geo. Ort.) değerleri ve geometrik standart sapma (Geo. SS.) değerleri laboratuvar ve saha çalışması için ayrı ayrı verilmiştir. Ayrıca determinasyon katsayıları da (R^2) bu tabloda yer almıştır. R^2 değerlerinin, geometrik ortalama ve geometrik standart sapma değerlerinin 1'e yakınsadığı modeller en iyi model olarak seçilebilir. Bununla birlikte hem laboratuvar hem de saha çalışmalarında kullanılan modellerin test takımlarındaki tahminlerden faydalanılarak hesaplanan geometrik ortalama, geometrik standart sapma, medyan değerleri ve her bir test takımının sayısı EK-2'de gösterilmiştir. Tablo 5.1.'de görüldüğü üzere RVM ve YSA performanslarının laboratuvar ve saha verilerine dayalı her iki çalışmada da diğerlerinden daha iyi olduğu gözlenmiştir. ANFIS sonuçlarının da bu iki modelin sonuçlarıyla kıyaslanabilecek nitelikte olduğu da aşikârdır. Ayrıca, Şekil 5.22.'ye bakıldığında medyanı 1'e yakınsayan ve %16 ve %84'lük persantili birleştiren çizgilerin birbirine en yakın olduğu metodun en iyi sonucu verdiği söylenebilir. Dolayısıyla Şekil 5.22.'den RVM, YSA ve ANFIS metotlarının en iyi sonuçları verdiği görülmektedir.



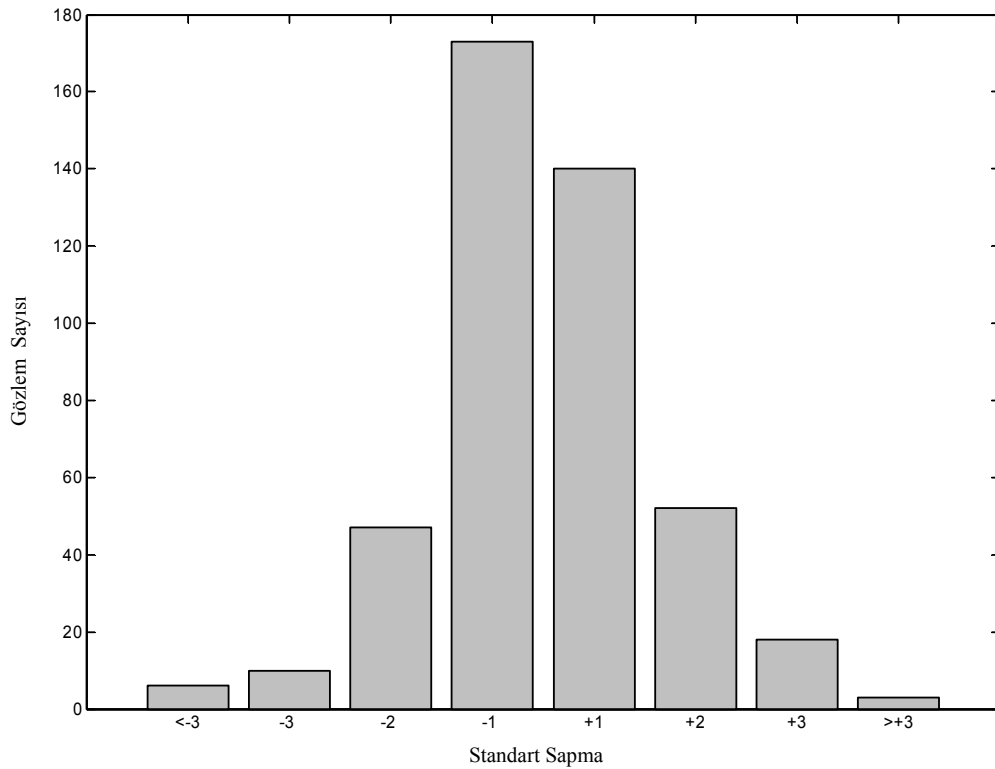
Şekil 5.18. Laboratuvar veri takımına ait test takımından rasgele alınan 10 verilik bir kısım için gözlenen ve RVM ile tahmin edilen değerlerin %95lik güvenirlilik aralığı bandı da gösterilerek kıyaslanması



Şekil 5.19. Laboratuvar verileriyle kurulan RVM modelinin hata değerlerinin standart sapma dağılımı



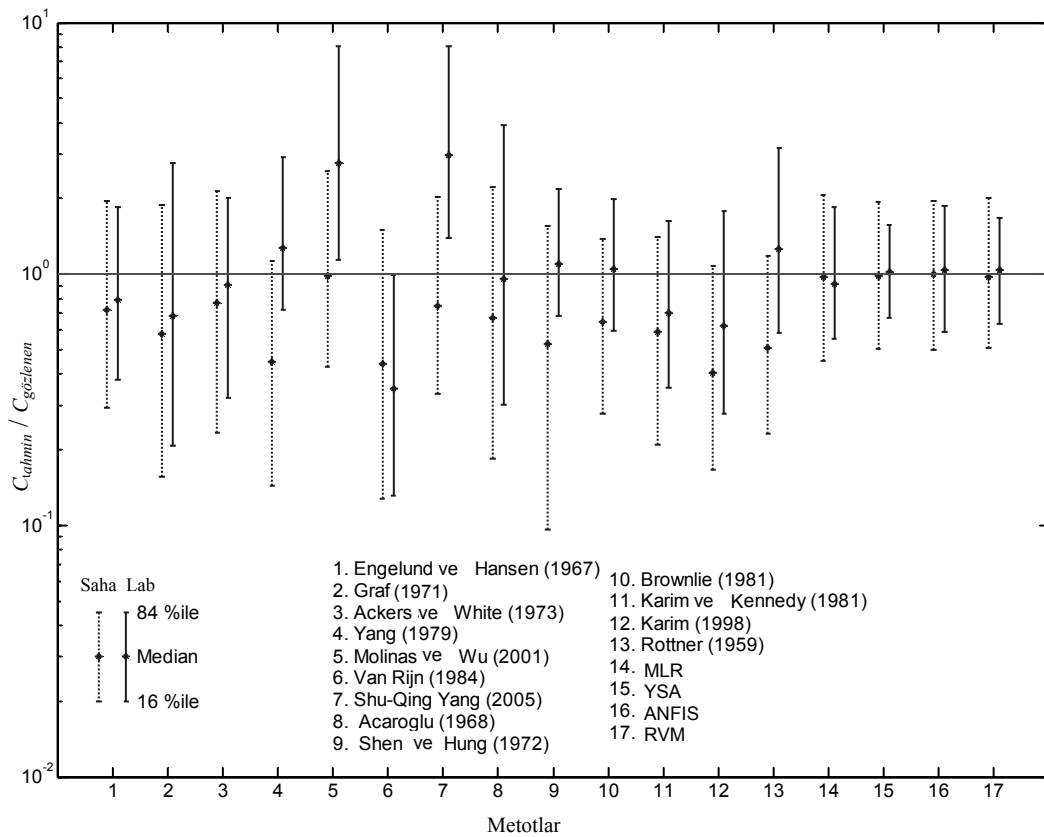
Şekil 5.20. Saha veri takımına ait test takımından rasgele alınan 10 verilik bir kısım için gözlenen ve tahmin edilen değerlerin %95lik güvenirlilik aralığı bandı da gösterilerek kıyaslanması



Şekil 5.21. Saha verileriyle kurulan RVM modelinin hata değerlerinin standart sapma dağılımı

Tablo 5.1. Metotların laboratuvar ve saha verilerine göre ayrı ayrı istatistiki açıdan değerlendirilmesi

Metotlar	Toplam Test Verisi Sayı	Laboratuvar			Saha		
		Geo. Ort.	Geo. S.S.	R ²	Geo. Ort.	Geo. S.S.	R ²
Engelund ve Hansen (1967)	837	0.79	2.21	0.83	0.72	2.58	0.66
Graf (1971)	837	0.68	3.65	0.52	0.58	3.48	0.52
Ackers ve White (1973)	836	0.91	2.49	0.88	0.77	3.03	0.61
Yang (1979)	837	1.27	2.01	0.86	0.45	2.81	0.67
Molinas ve Wu (2001)	837	2.77	2.66	0.80	0.99	2.46	0.62
Van Rijn (1984a,b)	820	0.35	2.76	0.79	0.44	3.43	0.50
Shu-Qing Yang (2005)	837	2.97	2.4	0.87	0.75	2.46	0.65
Acaroglu (1968)	837	0.96	3.59	0.54	0.67	3.47	0.52
Shen ve Hung (1972)	837	1.1	1.79	0.91	0.53	4.01	0.67
Brownlie (1981a)	837	1.04	1.83	0.90	0.64	2.22	0.72
Karim ve Kennedy (1981)	836	0.7	2.15	0.84	0.59	2.59	0.67
Karim (1998)	837	0.62	2.54	0.76	0.4	2.54	0.60
Rottner (1959)	837	1.26	2.33	0.83	0.51	2.26	0.68
MLR	837	1.01	1.84	0.90	0.96	2.13	0.73
YSA	837	1.02	1.53	0.95	0.99	1.96	0.78
ANFIS	837	1.05	1.77	0.92	0.99	1.98	0.78
RVM	837	1.04	1.62	0.93	0.97	1.99	0.78



Şekil 5.22. Tüm metotların hatalarının log normal dağılımlarının karşılaştırılması

BÖLÜM 6. TOPLAM KATI MADDE KONSANTRASYONU TAHMİNİ İÇİN İKİNCİ SENARYONUN UYGULANMASI

6.1. Giriş

Alüvyonlu kanallarda meydana gelen nehirlerle ilgili olayların doğru bir şekilde tahmin edilmesi uygulamada önemlidir. Günümüzde bu alanda yapılan çalışmalar, hem laboratuvar hem de saha verilerinin kalibrasyonu ile geliştirilen ampirik denklemlere odaklanma eğilimindedir (Chang, 1988; Yang, 1996; Julien, 1995). Bu yaklaşım, temel bir konu olan, laboratuvar ve saha kanallarındaki hidrolik davranışların farklı olmasıyla sınırlıdır. Bu çalışmada, RVM modelleri toplam katı madde konsantrasyonu tahmini için laboratuvar verileri kullanarak geliştirilmiş, modellerin performansları ise saha verileri kullanılarak test edilmiştir. On iki adet toplam katı madde taşınımı denklemi incelenmiş ve bu denklemlerin sonuçları RVM sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, yalnızca laboratuvar verileri kullanılarak eğitilen RVM modelinin, saha verilerine dayalı test takımı tahminlerine ilişkin performansının, toplam katı madde hareketi denklemlerinin performanslarıyla kıyaslanabilir olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, laboratuvar kanallarında ve nehirlerde meydana gelen katı madde taşınma olaylarının birbirleriyle ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle yalnızca laboratuvar verilerini kullanarak saha verileri için yararlı tahminler yapılabilir.

Ayrıca bu çalışmada alüvyonlu kanal gözlemleri için geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanı uygun bir formatta derlenmiş ve orijinal kayıtlardaki tutarsızlıklar elenerek gerekli tedbirler de alınmıştır.

6.2. İkinci Senaryonun Amacı ve Önemi

Nehirlerdeki katı madde taşınımı olayı hidrolik alanında en çok ilgi gören konulardan bir tanesidir. Katı madde hareketi olayının karmaşık olması ve belirsizlikler içermesi, teorik modellerin tamamını sınırlandırmaktadır. Ampirik ya da yarı ampirik modeller uzun yıllardır katı madde miktarı tahmini için kullanılmaktadır (Chang, 1988; Raudkivi, 1990; Simons ve Şentürk, 1992; Julien, 1995; Yang, 1996). Ampirik modellerin uygulamadaki başarısı modelin kalibrasyonunda kullanılan verilerin elde edilebilirliğine ve uygunluğuna bağlıdır. Ampirik modelleri geliştirebilmek için çok sayıda laboratuvar verisi literatürdeki kaynaklardan hazır olarak bulunabilmektedir. Fakat birçok çalışmaya rağmen saha verisi hala sınırlı sayıdadır ve saha ölçümlerindeki zorluklardan dolayı bu durumun gelecekte de böyle devam etmesi olasıdır (Molinas ve Wu, 2001; Simons ve Şentürk, 1992).

Bu senaryodaki temel soru şudur: acaba yalnızca laboratuvar verileriyle elde edilmiş modelleri saha koşullarına uygulayabilir miyiz? Hangi koşullar altında bu modellerin performanslarının iyi olacağını bekleyebiliriz? Literatürde, laboratuvar verileriyle eğitilmiş modellerin genellikle saha koşulları için iyi sonuç vermeyeceği bazen açık bazen de kapalı şekilde ileri sürülmüştür (Molinas ve Wu, 2001; Garde ve Ranga Raju, 1977). Fakat bu farklılığın nedenleri açıkça belirtilmemiştir. Bu tez, bu tür sorunlara açıklık getirmek için sistematik bir çalışma olmuştur.

Diğer bir konu ise ampirik modelleri geliştirirken girdi değişkenlerinin seçimidir. Birçok modelde, girdi değişkenleri fiziksel parametrelere ya da boyut analizine dayalı olarak seçilmiştir. Ancak girdi değişkenlerini belirlerken bu değişkenlerin hem laboratuvar hem de saha şartları için aynı aralık içerisinde yer alması gerektiğinin dikkate alınması gerekir.

Bu senaryoda RVM modeli laboratuvar verileri kullanılarak eğitilmiş ve modelin performansı saha verileri üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, seçilen daha önceki metotlarla kıyaslanmıştır.

Bir modeli geliştirmek ve doğrulamak için geniş ve güvenilir veri takımına ihtiyaç vardır. Brownlie (1981b) 1981 yılına kadar yapılmış olan katı madde hareketi ile ilgili çalışmalara ait verileri bir raporda derleyerek takdire değer bir iş gerçekleştirmiştir. Bu tarihten sonra birçok laboratuar ve saha çalışmalarına ait veriler de mevcuttur. Bu senaryoda, son zamanlarda yapılan çalışmalardaki verilerin derlenmesi ve Brownlie'nin kullandığı verilerin formatıyla uyumlu hale getirilmesi için çok büyük zaman ve emek harcanmıştır.

6.3. İkinci Senaryo İçin Veri Tabanının Oluşturulması

Ampirik modellerin geliştirilmesi ve bu modellerin doğrulanması için sayıca çok ve güvenilir veriler gerekir. Literatüre bakıldığında, katı madde hareketi ile ilgili kapsamlı veri tabanı oluşturma çalışması ilk olarak Johnson (1943) tarafından yapılmıştır. Daha sonra Peterson ve Howells (1973), Johnson tarafından derlenen verileri güncellemişlerdir. Birkaç yıl sonra 1981'de Brownlie (1981b), Peterson ve Howells tarafından oluşturulan veri tabanına yaklaşık 2500 veri daha ilave ederek bu çok kapsamlı verileri elektronik ortamdaki ulaşılabilir hale getirmiştir. Brownlie'nin çalışmasından sonra birçok veri takımları oluşturulmuştur. Özellikle Asya ve Afrika'nın gelişmekte olan ülkelerine ait birçok yeni veri takımları literatürden elde edilebilir olmasına rağmen Brownlie'nin çalışması güncellenmemiştir. Bu bölümdeki çalışma için, geniş bir aralığa sahip olan laboratuar veri takımları (5594 laboratuar verisi, 64 ayrı laboratuar çalışması) ve saha veri takımları (3843 saha verisi, 53 ayrı nehir sistemi) toplamda 9437 veri olmak üzere güncellenmiş ve bu veriler Brownlie'nin kullandığı formatla uyumlu hale getirilerek derlenmiştir (Tablo Ek-3.1. ve Tablo Ek-3.2.). Toplamda 9437 olan veri kayıtlarından 2443' (331 laboratuar verisi, 2112 saha verisi) Brownlie (1981b) derlemesine ilave edilen güncel veri sayısıdır (Tablo Ek-4.1. ve Tablo Ek-4.2.). Bu çalışmadaki saha verileri Emmet (1978), Brownlie (1981b), Kircher (1983), Williams ve Rosgen (1989), Julien (1992), Long ve Liang (1994), Posada (1995), Childers ve diğerleri (1988), Sinnakaudan ve diğerleri, (2006) kaynaklarından elde edilmiştir. Laboratuar verileri ise Einstein (1978), Brownlie (1981b), White ve Day, (1982), Samaga ve diğerleri (1986), Wilcock ve Southard (1988), Wang ve Zhang

(1990), Wang ve White (1993), Julien ve Raslan (1998), Wang ve diğerleri (1998) kaynaklarından derlenmiştir. Veriler uyumluluğu sağlamak için SI birim sistemine çevrilmiştir. Tüm değişkenlerin birimleri Tablo 6.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Değişkenlerin birimleri

No.	Variables	Unit
1	Su debisi	m ³ /s
2	Yatak genişliği	m
3	Akım derinliği	m
4	Su yüzeyi eğimi	m/m
5	Medyan çap d_{50}	mm
6	Su sıcaklığı	°C
7	Taşınan toplam katı madde konsantrasyonu	ppm
8	Yatak şekli tipi (BF)	0-5
9	Gradasyon (σ_g)	

6.4. Veri Takımlarındaki Sınırlandırmalar

Bu çalışmada yalnızca kum yataklı kanallar (sand bed channels) kullanıldığından katı madde medyan çapı (d_{50} , mm), $0.062 < d_{50} < 2.0$ aralığında sınırlandırılmıştır. Laboratuvar verilerindeki yan duvar etkilerini önlemek için, genişlik-derinlik oranı (B/D) 4'den küçük olan değerler elenmiştir. Aynı zamanda sıg su etkisini azaltmak için, rölatif pürüzlülük (R/d_{50}) değerleri 100'den küçük olan değerler modele dahil edilmemiştir. Bununla birlikte konsantrasyon değerleri 10 ppm'den küçük olan veriler de düşük konsantrasyonların doğruluk problemlerinden ötürü elenmiştir. Katı madde daneciklerinin dağılımının geometrik standart sapması olan gradasyon ($\sigma_g = 0.5[d_{84}/d_{50} + d_{50}/d_{16}]$) değerleri 5'ten büyük olan veriler de, dane dağılımının 2 modlu (yönlü) olmasından dolayı elenmiştir. Su sıcaklığı, kinematik viskozitenin hesabı için kullanılmıştır. Su sıcaklığı olmayan veriler için sıcaklık değeri 10 °C kabul edilmiş ve gradasyon değeri olmayan veriler için de gradasyon değeri 2 kabul edilmiştir. Sınırlandırmalar Tablo 6.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 6.2. Modellerde kullanılan veri takımlarındaki sınırlandırmalar

Parametreler	Sembol	Sınırlama	Sebep
Medyan çap, mm	d_{50}	$0.062 < d_{50} < 2.0$	Yalnızca kum
Gradasyon	σ_g	$\sigma < 5$	Bimodal dağılımın elenmesi
Genişlik derinlik oranı	B/D	$B/D > 4$	Yan duvar etkilerinin elenmesi
Rölatif pürüzlülük	R/d_{50}	$R/d_{50} > 100$	Yüzeysel su etkisinin elenmesi
Konsantrasyon (ppm)	C	$C > 10$	Doğruluk problemleri

Sınırlandırmalara ek olarak 34 laboratuvar verisi de diğer veri takımlarına uymadığından ötürü elenmiştir. Elenen veriler şunlardır: COS'dan 12 adet veri, EPB'den 3 adet veri, MUT'dan 3 adet veri, JOR'dan 2 adet veri, WSA'dan 9 ve WSS'den 5 adet veri.

6.5. Önerilen RVM Modeli

Literatürde, katı madde taşınımını tahmin etmek için, çeşitli sayıda boyutsuz parametrelerin kullanılmasıyla elde edilmiş bir çok denklem mevcuttur (Tablo 4.3.). Fakat araştırmacılar arasında en etkili girdi parametreleri olarak hangi boyutsuz değişkenlerin kullanılacağına dair bir birlik yoktur.

Bu bölümdeki amaç, laboratuvar verilerini kullanarak nehirlerde taşınan toplam katı madde konsantrasyonunu tahmin etmektir. Bu sebeple kurulan RVM modelinin girdi parametrelerinin seçiminde laboratuvar ve saha verileri için girdi parametrelerinin kabaca aynı aralıkta olmasına dikkat edilmiştir. Aynı zamanda RVM sonuçları, daha önceki bölümde matematiksel formülasyonları ayrıntılı bir şekilde ifade edilen 12 ayrı denklemlerle kıyas edilmiştir.

RVM modelinde kullanılan boyutsuz parametreler aşağıda verilmiştir,

$$C_{ppm} = f(u_m/u_*, u_*/\omega, \tau_* - \tau_{*c}, \tau'_*) \quad (6.1)$$

burada, C_{ppm} birimi ağırlıkça milyonda bir (parts per million by weight, ppm) olan toplam katı madde konsantrasyonunu, f ise C_{ppm} ile modelde girdi olarak kullanılan boyutsuz parametreler arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ifade etmektedir. RVM modeli laboratuvar verileri kullanılarak f fonksiyonu ile eğitilmiş ve modelin performansı saha verileri kullanılarak test edilmiştir.

Şunu söylemekte yarar var ki seçilmiş olan bu boyutsuz parametreler, katı madde hareketi olayının fiziğiyle doğrudan ilişkili olup geçmişteki araştırmacılar tarafından da göz önüne alınmıştır. Bu parametreler aşağıda açıklanmıştır:

(i) u_*/ω : boyutsuz askı maddesi parametresi olup, düşey türbülans değişimi bileşeninin (vertical turbulent fluctuation component) parçacığın çökme hızına oranıdır. Bu parametre Yang (1973) ve Karim (1998) tarafından kullanılmıştır (Tablo 4.5.).

(ii) u_m/u_* : sürtünme faktörü olup, Yang (2005), Ackers ve White (1973) tarafından kullanılmıştır (Tablo 4.5.).

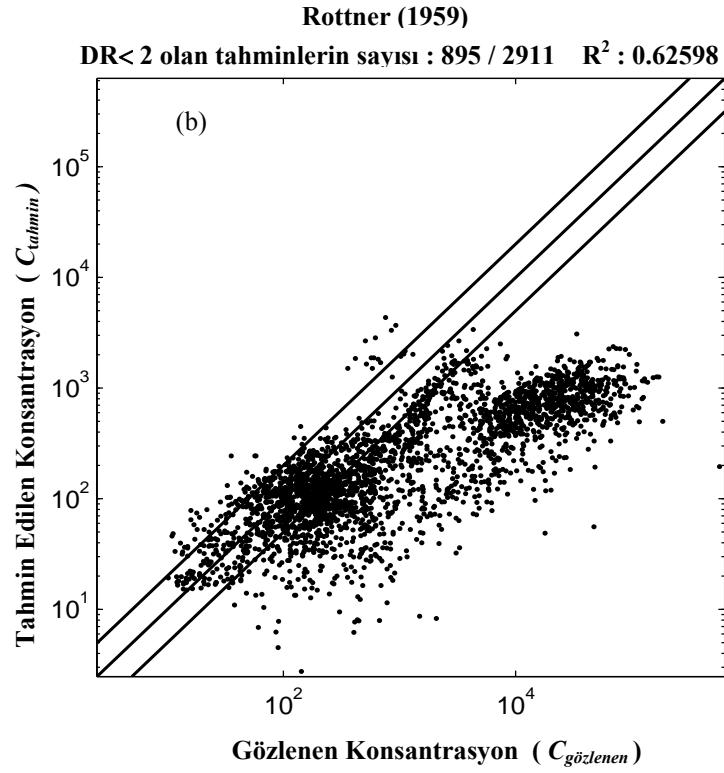
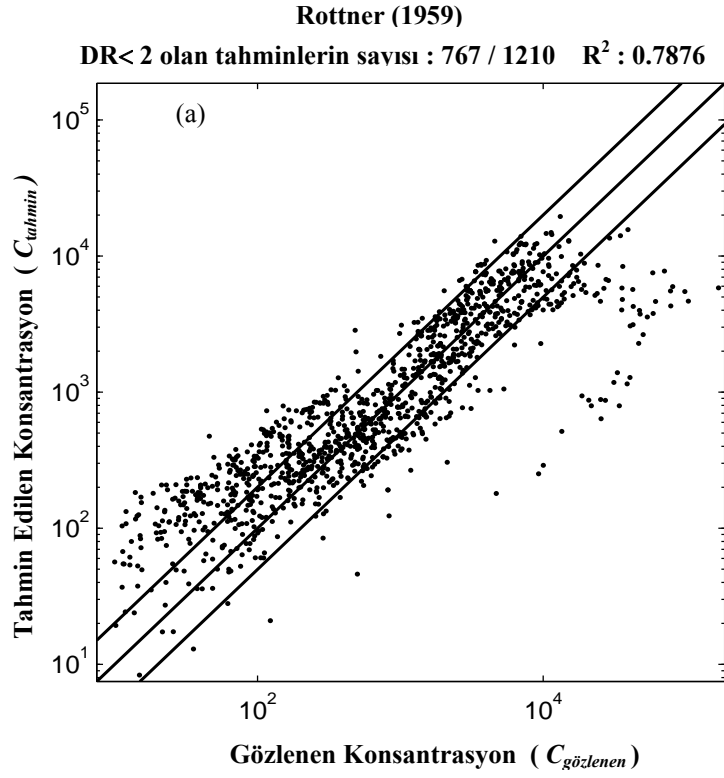
(iii) $\tau_* - \tau_{*c}$: katı madde taşınma hareketinin başlangıcını (initiation of sediment motion) ifade etmektedir. Toplam katı maddenin yatak malzemesi kısmıyla ilişkilidir. Shields (1936), Chang ve diğerleri, (1965), Karim ve Kennedy (1981) tarafından kullanılmıştır (Tablo 4.5.).

(iv) τ'_* : daneciğin boyutsuz kayma gerilmesini ifade etmektedir. Yatak şekillerinin (bedforms) olduğu yerde katı madde hareketine karşı gelen etkili kayma gerilemesi

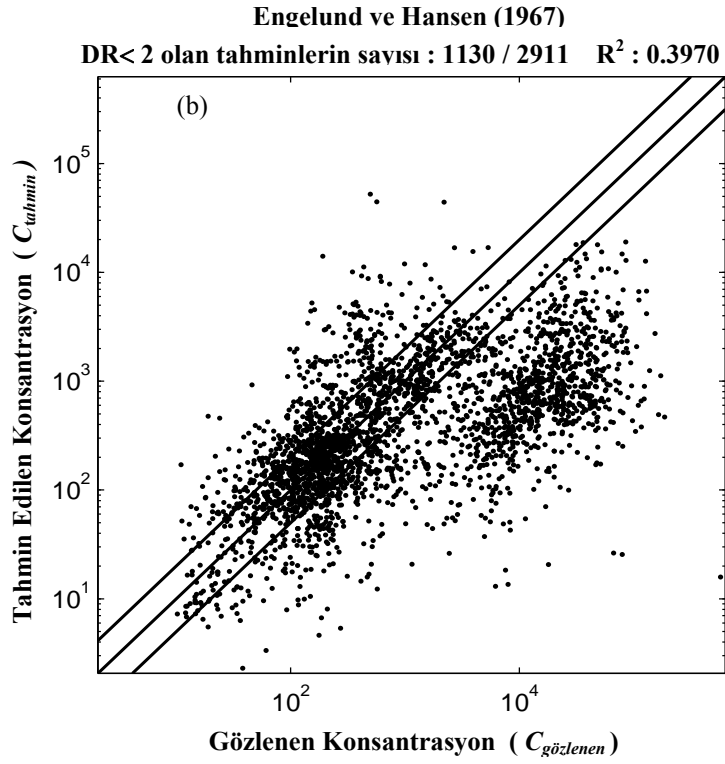
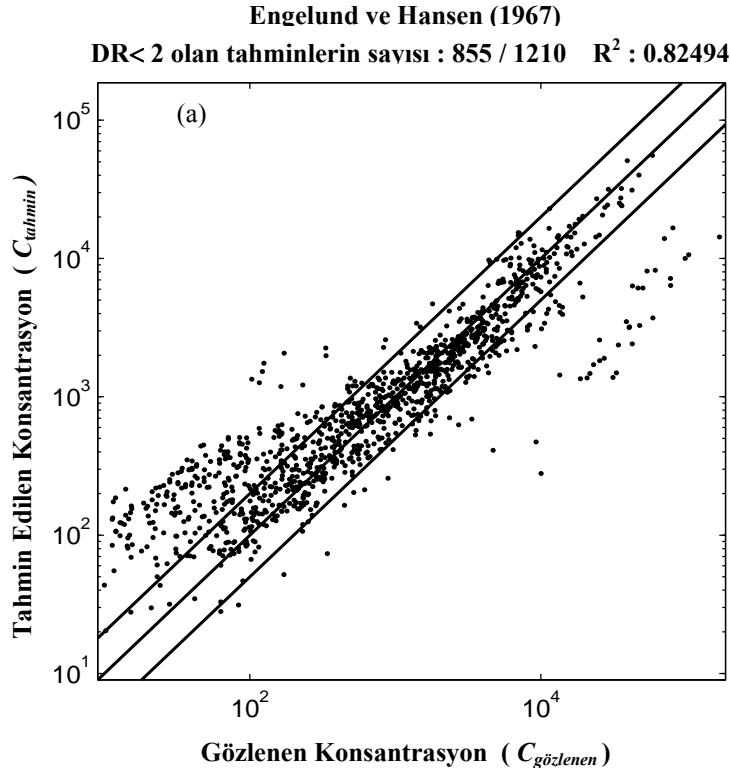
olarak düşünülebilir. van Rijn (1984a, b), Laursen (1958), ve Yang (2005) tarafından kullanılmıştır.

6.6. Modellerin Tahminlerinin Karşılaştırılması

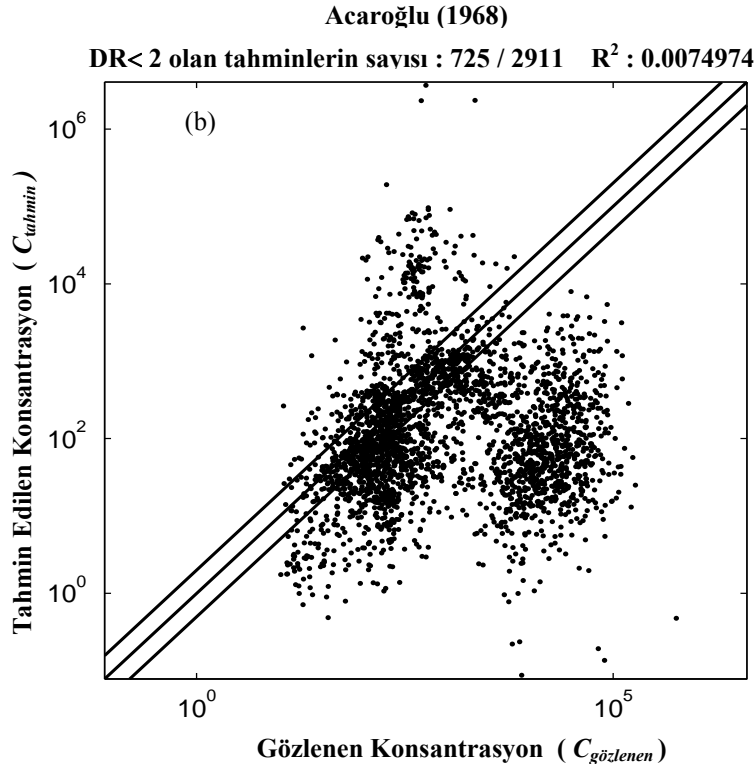
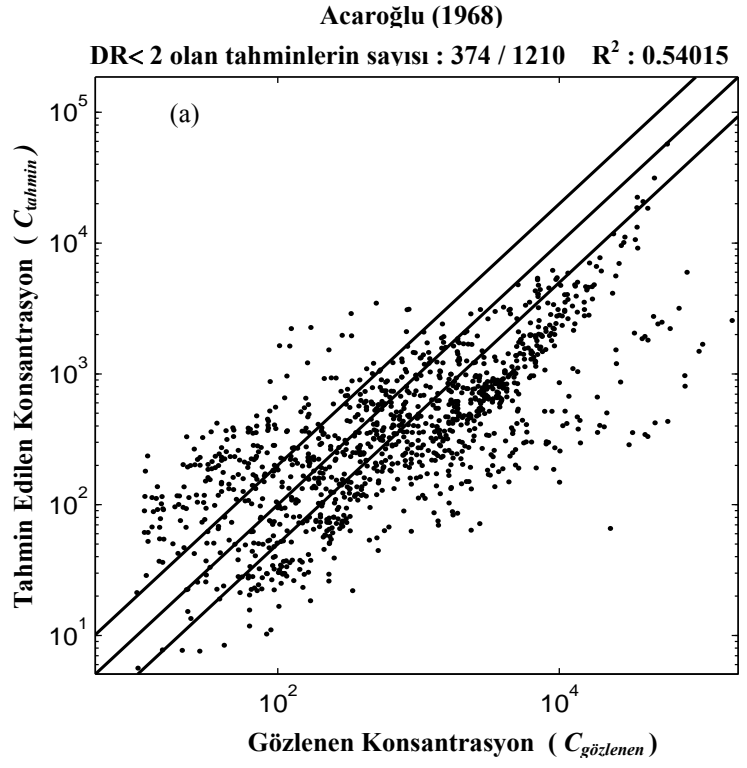
RVM modeli 1210 adet laboratuvar verisiyle eğitilmiş ve modelin performansı 2911 adet saha verisiyle test edilmiştir. RVM modelinin hem eğitim hem de test aşamasının katı madde hareketi denklemleriyle karşılaştırılması farklılık oranlarına (DR) bakılarak yapılmıştır. Farklılık oranı, tahmin edilen konsantrasyonun gözlenen konsantrasyona oranını ($C_{tahmin}/C_{gözlenen}$) ifade etmektedir. Farklılık oranları 2'den küçük olan tahminlerin sayıları Tablo 6.3.'de verilmiştir. Aynı zamanda kıyaslama için bütün modellerin determinasyon katsayıları (R^2) hesap edilerek Tablo 6.3.'de gösterilmiştir. Her bir tekniğin analizi, hem laboratuvar hem de nehir verileri için, tahmin edilen konsantrasyonun gözlenen konsantrasyona karşı gelecek şekilde oluşturulan grafiklerle ifade edilmiştir (Şekil 6.1.-6.13.). Katı madde hareketi denklemlerinin rölatif performanslarıyla ilgili ayrıntılı yorumlar da bir önceki bölümde mevcuttur.



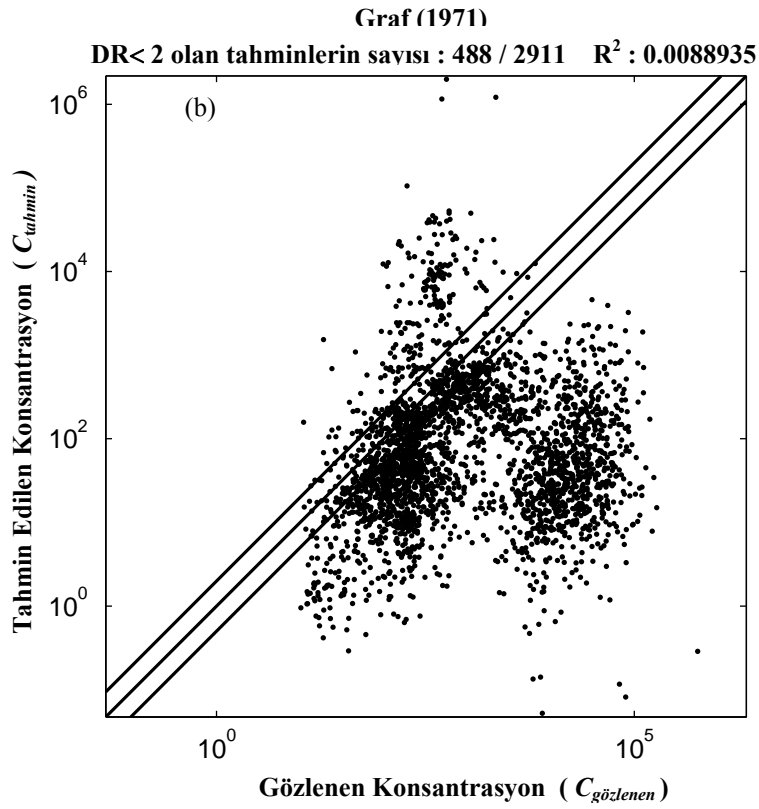
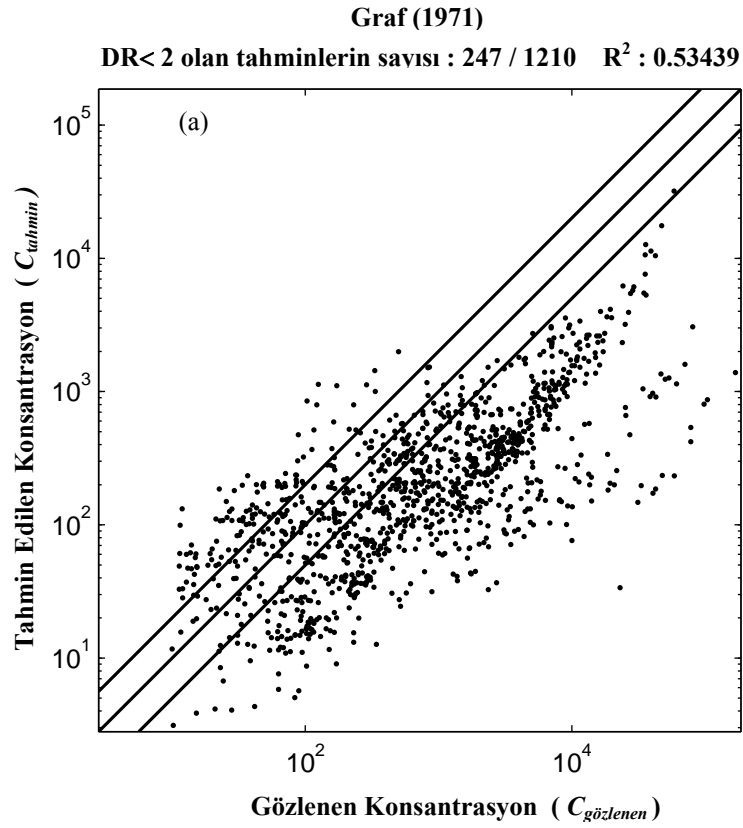
Şekil 6.1. Rottner (1959) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı
a) laboratuvar, b) nehir



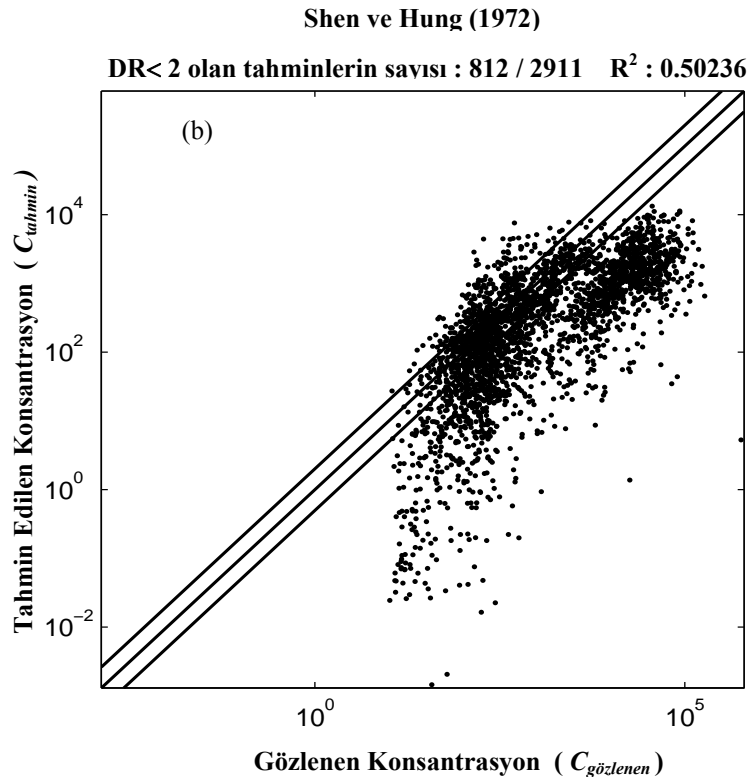
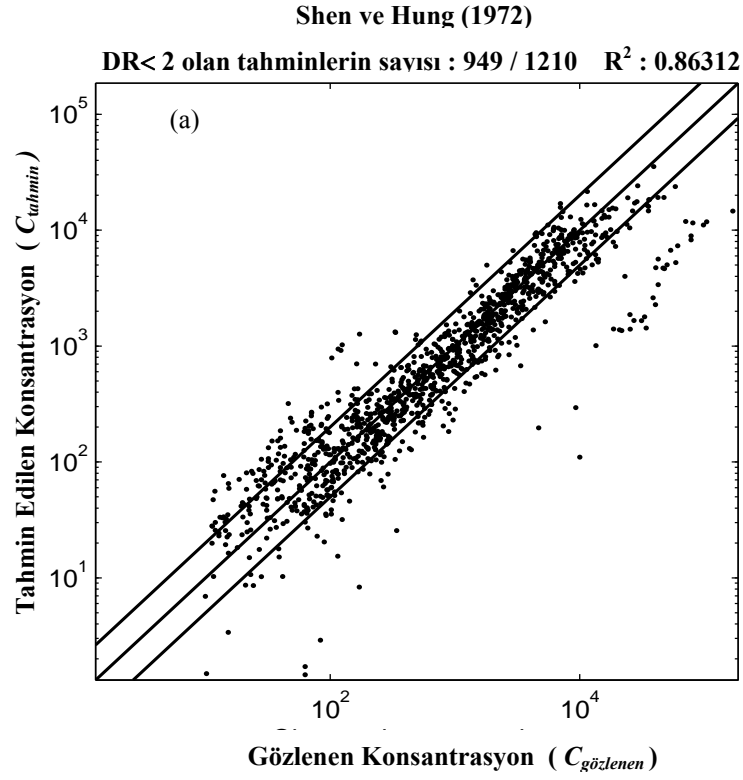
Şekil 6.2. Engelund and Hansen (1967) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir



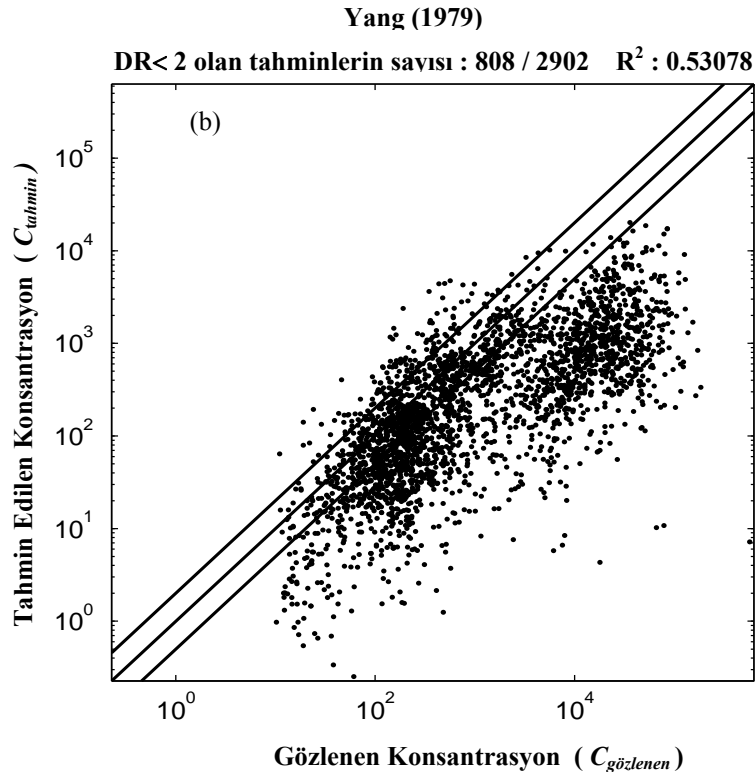
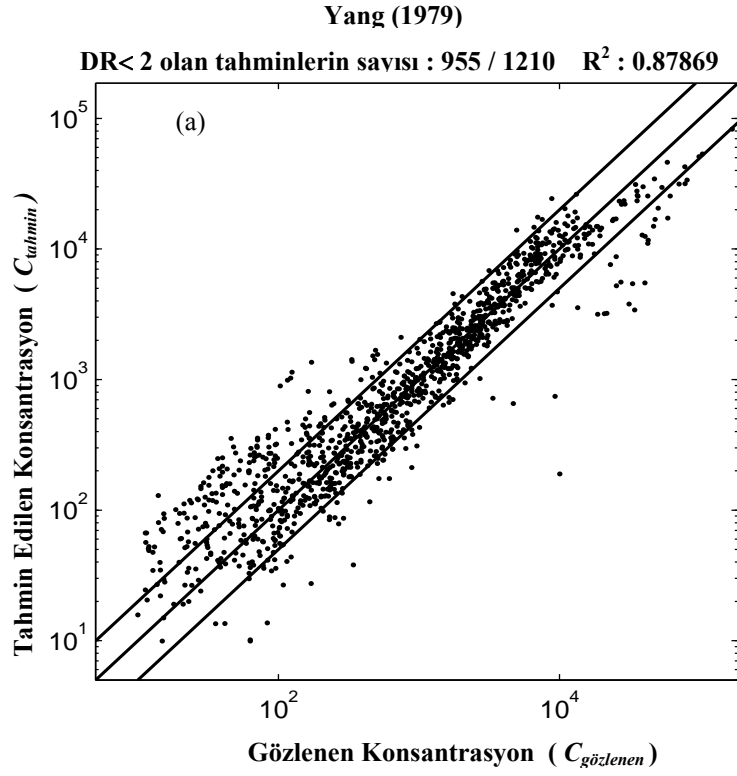
Şekil 6.3. Acaroğlu (1968) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı
a) laboratuvar, b) nehir



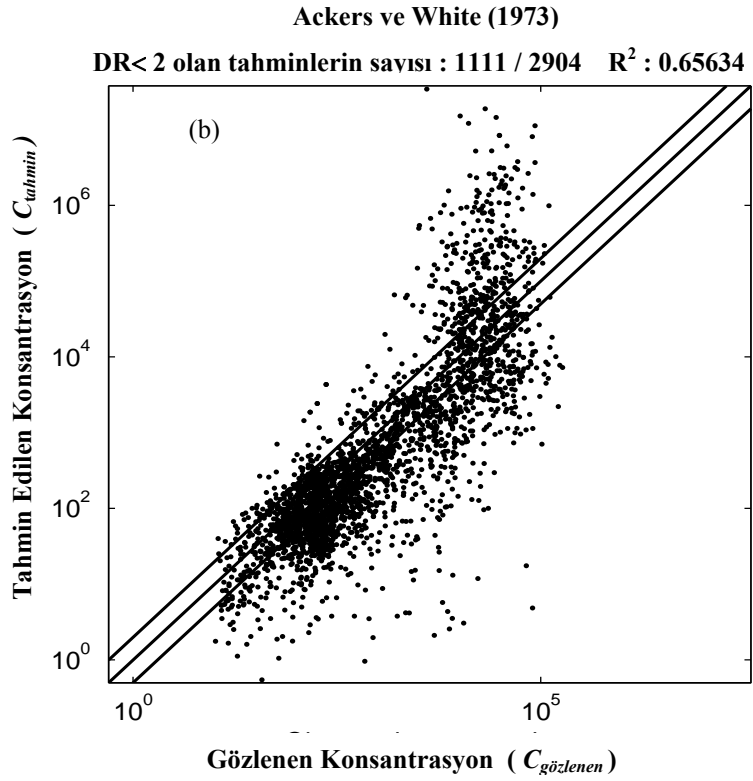
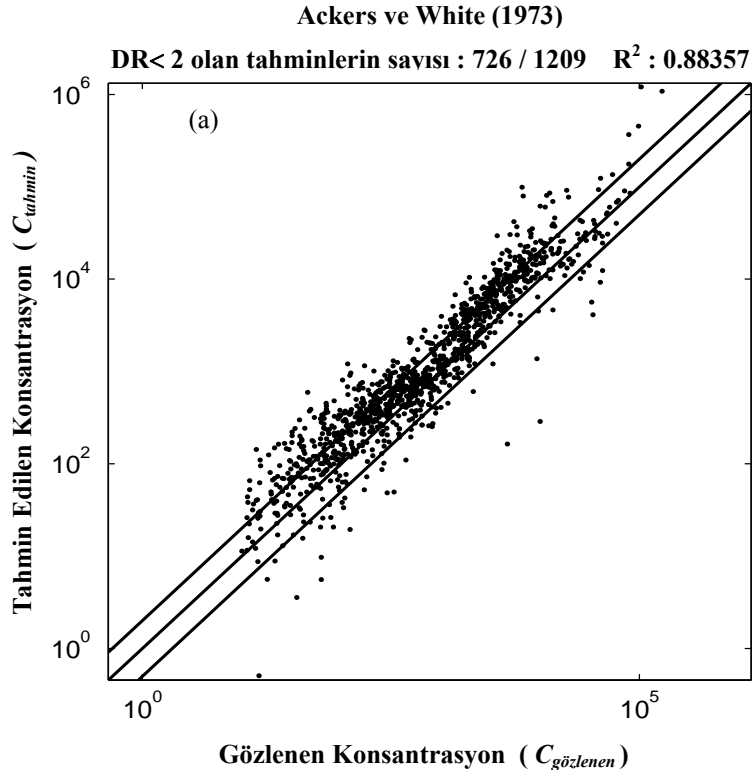
Şekil 6.4 Graf (1971) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı
a) laboratuvar, b) nehir



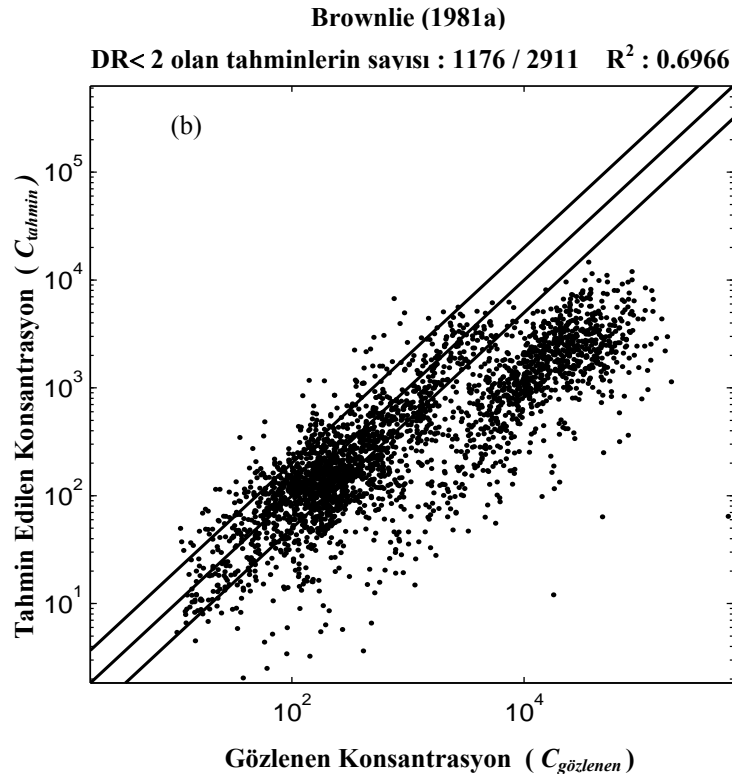
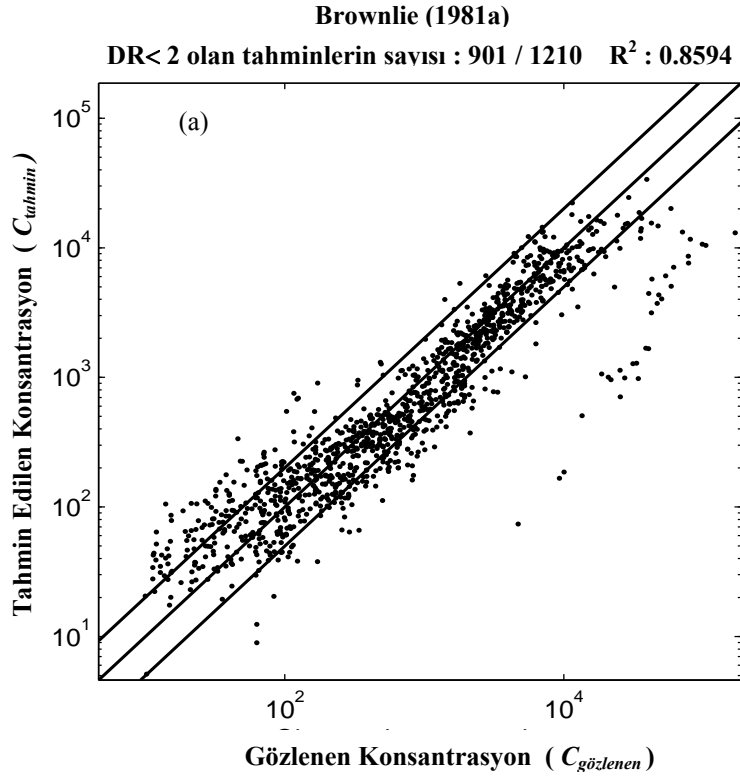
Şekil 6.5. Shen ve Hung (1972) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı
a) laboratuvar, b) nehir



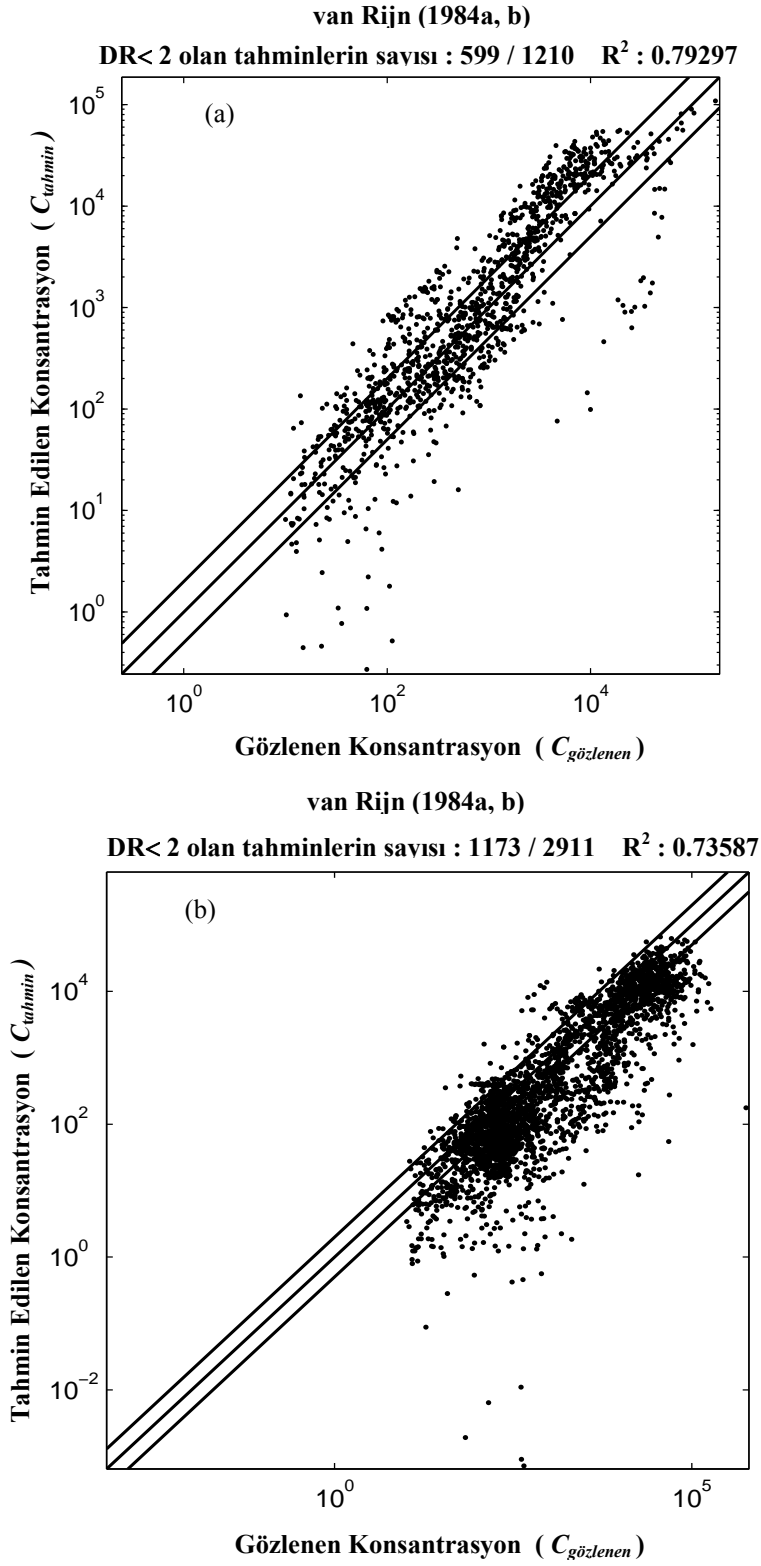
Şekil 6.6. Yang (1979) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı
a) laboratuvar, b) nehir



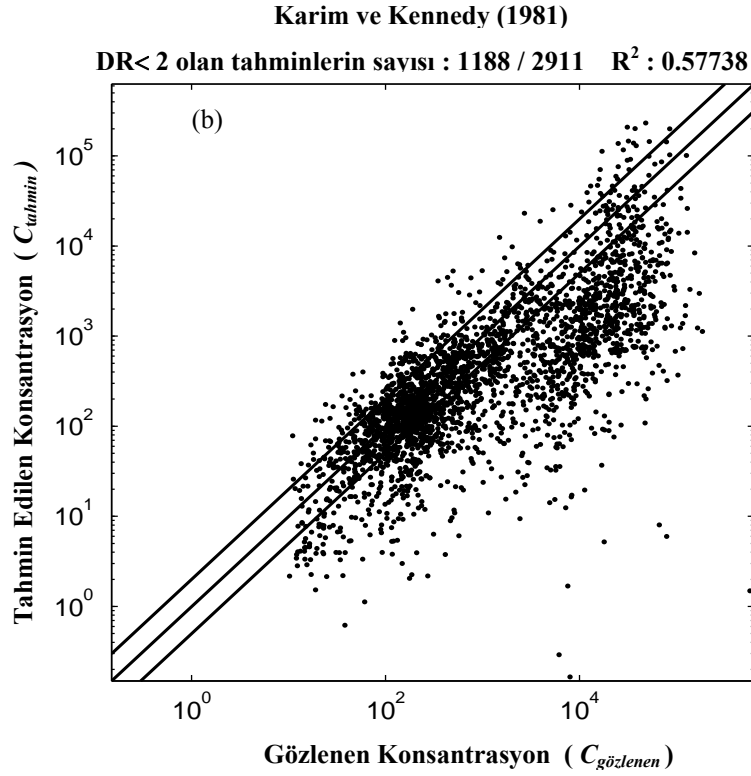
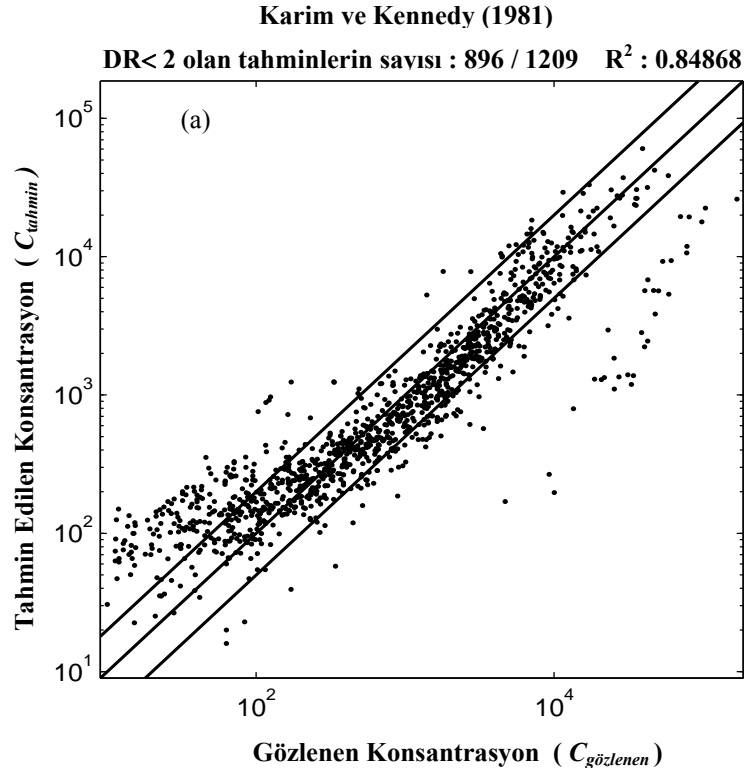
Şekil 6.7. Ackers ve White (1973) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir



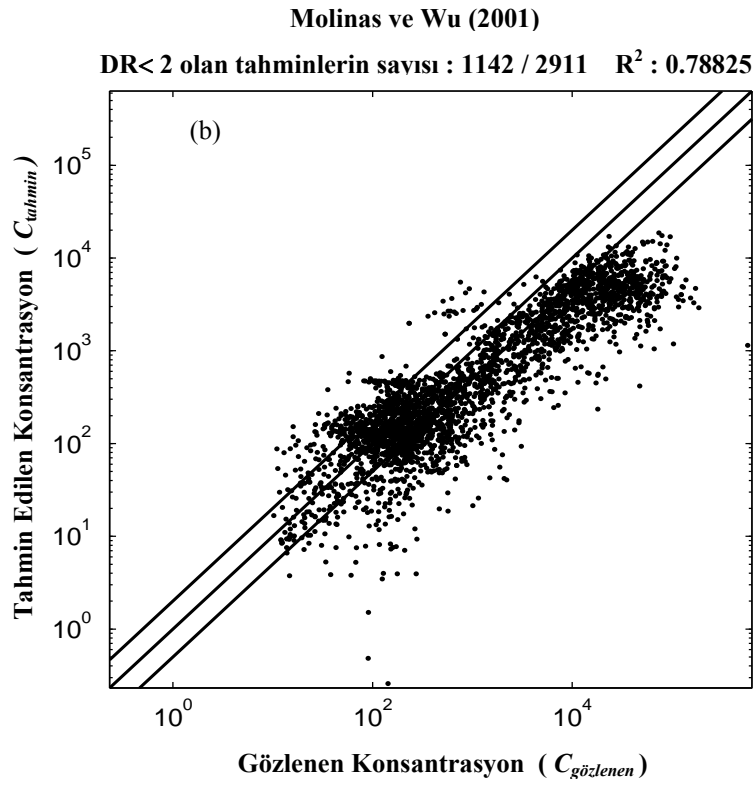
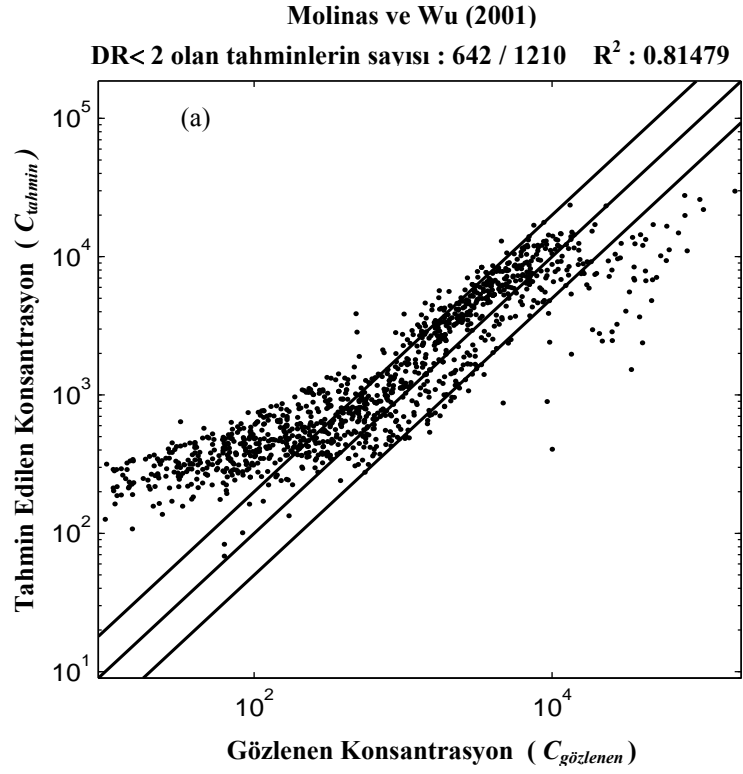
Şekil 6.8. Brownlie (1981a) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı
a) laboratuvar, b) nehir



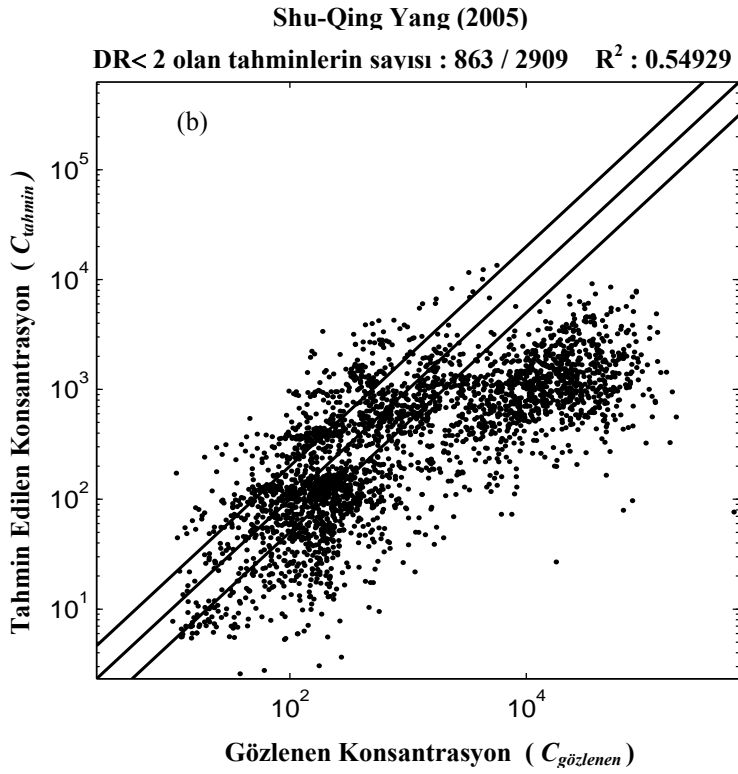
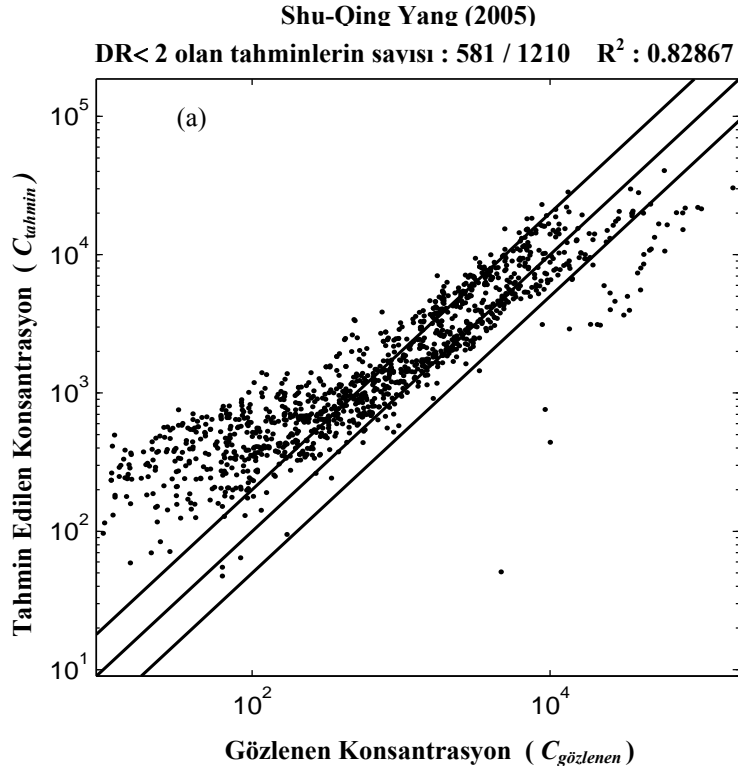
Şekil 6.9. van Rijn (1984a,b) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı
a) laboratuvar, b) nehir



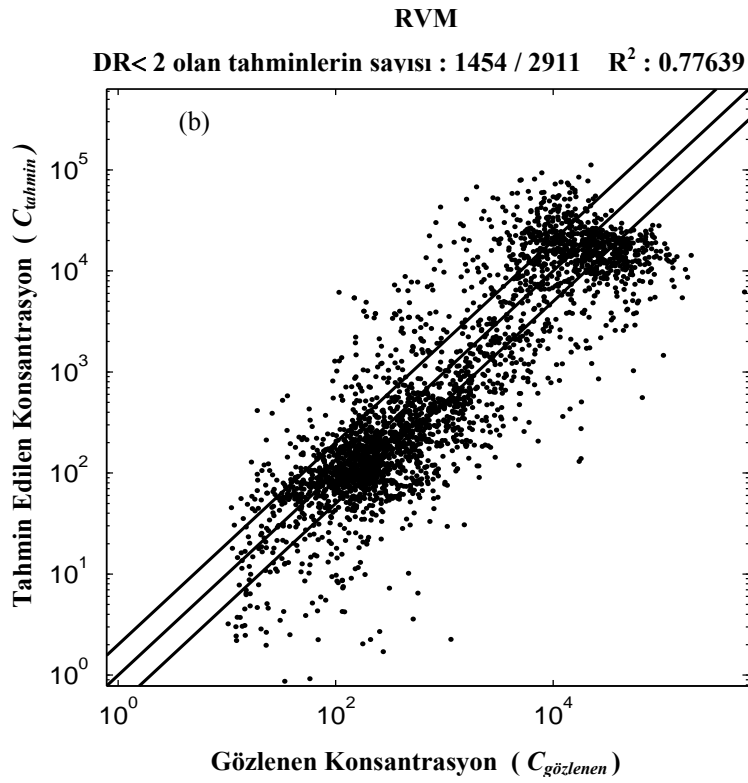
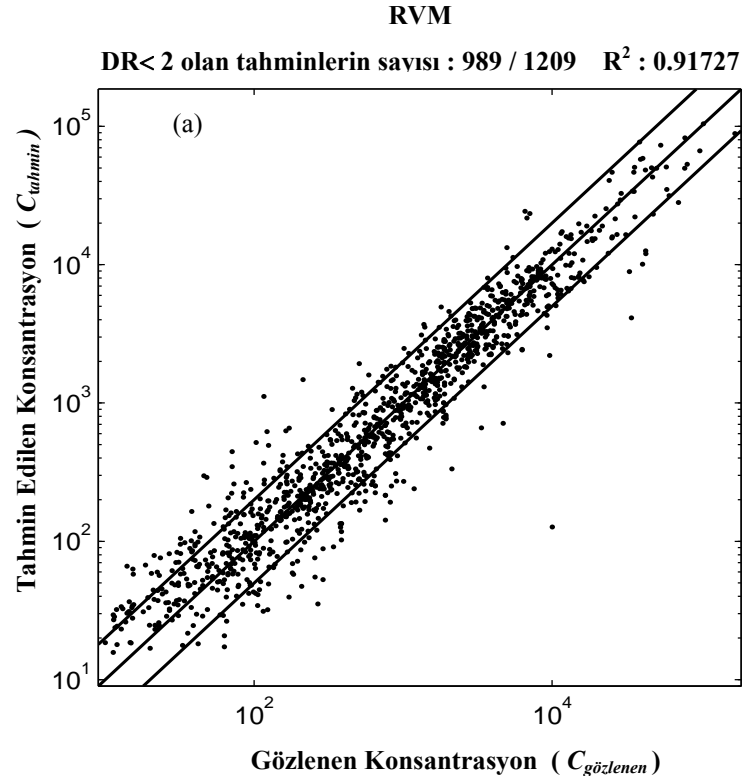
Şekil 6.10. Karim ve Kennedy (1981) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir



Şekil 6.11. Molinas ve Wu (2001) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir



Şekil 6.12. Shu-Qing Yang (2005) metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı a) laboratuvar, b) nehir



Şekil 6.13. RVM metodunun toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansı
a) laboratuvar, b) nehir

Tablo 6.3. Tüm metotlar için, farklılık oranı (DR) değeri 2'den küçük olan tahminlerin sayısı ve determinasyon katsayısı (R^2)

Araştırmacı	Laboratuvar			Nehir		
	Sayı	R^2	DR	Sayı	R^2	DR
Rottner (1959)	1210	0.7876	767	2911	0.6259	895
Engelund ve Hansen (1967)	1210	0.8249	855	2911	0.3970	1130
Acaroglu (1968)	1210	0.5401	374	2911	0.0075	725
Graf (1971)	1210	0.5344	247	2911	0.0089	488
Shen ve Hung (1972)	1210	0.8631	949	2911	0.5024	812
Yang (1979)	1210	0.8787	955	2902	0.5308	808
Ackers ve White (1973)	1209	0.8836	726	2904	0.6563	1111
Brownlie (1981a)	1210	0.8594	901	2911	0.6966	1176
van Rijn (1984a, b)	1210	0.7929	599	2911	0.7358	1173
Karim ve Kennedy (1981)	1209	0.8487	896	2911	0.5774	1188
Molinas ve Wu (2001)	1210	0.8148	642	2911	0.7882	1141
Shu-Qing Yang (2005)	1210	0.8287	581	2909	0.5493	863
RVM	1209	0.9173	989	2911	0.7764	1454

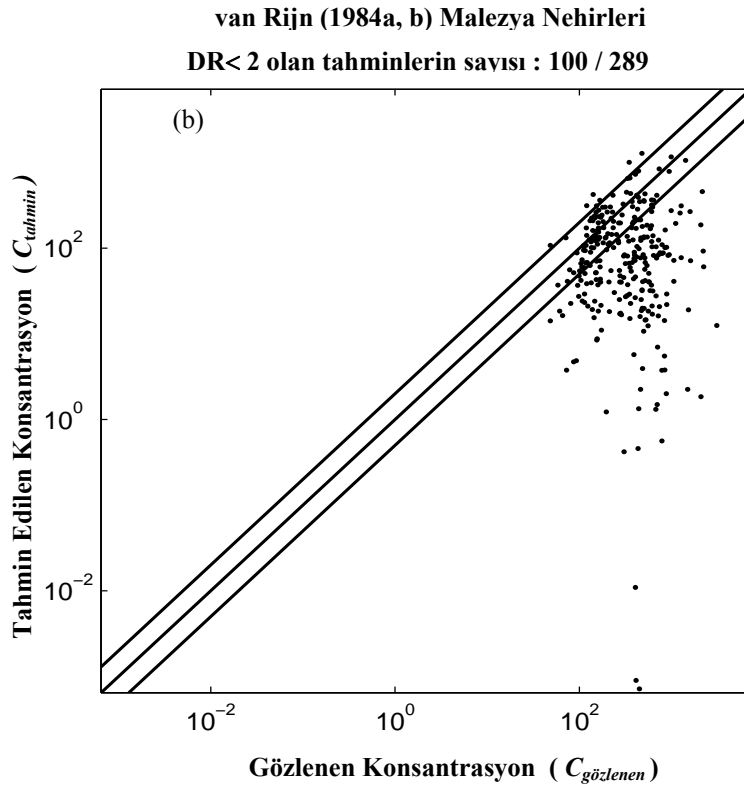
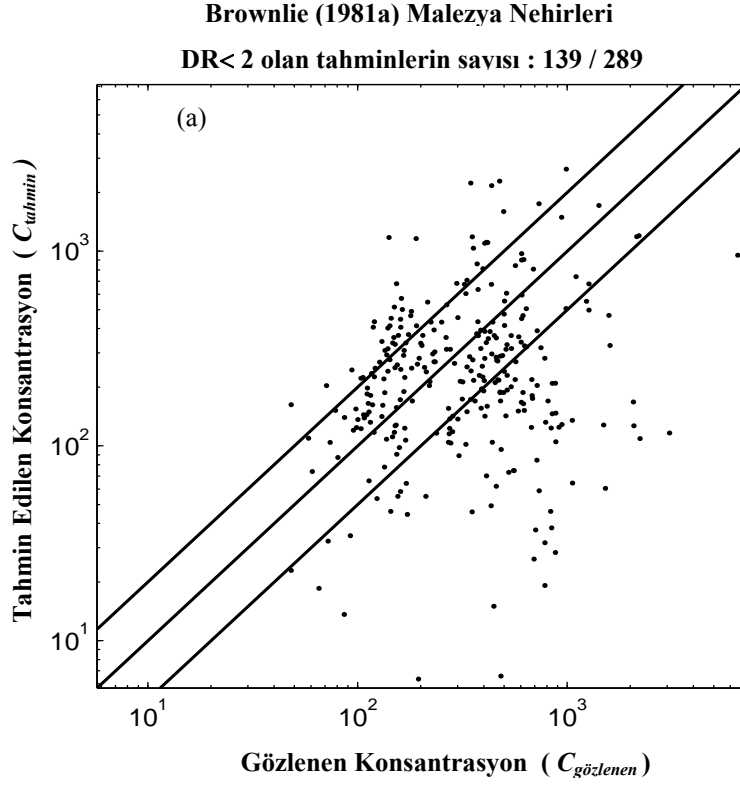
Önceki senaryoda RVM modellerinde aynı nehirlerle ait verilerin bir kısmı eğitimde, diğer bir kısmı da testte kullanılmıştı. Bu senaryoda ise modelin laboratuvar verilerine dayalı olması sebebiyle RVM modelinin performansını bağımsız bir şekilde kontrol edebilme imkânı da olmuştur. Bu nedenle RVM modelinin doğruluğunun açık bir şekilde gösterilebilmesi için Malezya (Malaysian Rivers) ve Aşağı Yellow Nehirleri (Lower Yellow River) bağımsız test takımları olarak kullanılmıştır. Önerilen modelin performansı, iyi sonuç veren üç farklı katı madde hareketi denklemiyle karşılaştırılmıştır. Modellerin performanslarının değerlendirilmesinde her bir modelin farklılık oranlarının geometrik standart sapması ve geometrik ortalaması kullanılmış, sonuçlar da Tablo 6.4.'de özetlenmiştir. Bununla birlikte tahminlerin grafik çıktıları Şekil 6.14. ve Şekil 6.15.'de verilmiştir. Ayrıca metotların ayrıntılı istatistiksel performans değerlendirmeleri Ek-5'de sunulmuştur. Karşılaştırmalar sonucunda, önerilen RVM modelinin performansının seçilen bağımsız test verileri için de diğer metotlardan daha üstün olduğu görülmüştür.

Bu çalışma, sadece laboratuvar verilerine dayalı kurulan modellerin saha şartları için de iyi sonuçlar verebileceğini göstermiştir. Bu sonuçlar katı madde yüklü nehirlerle laboratuvar kanallarının hidroliğinin aynı olduğu garantisini veremeyebilir. Ancak, açık

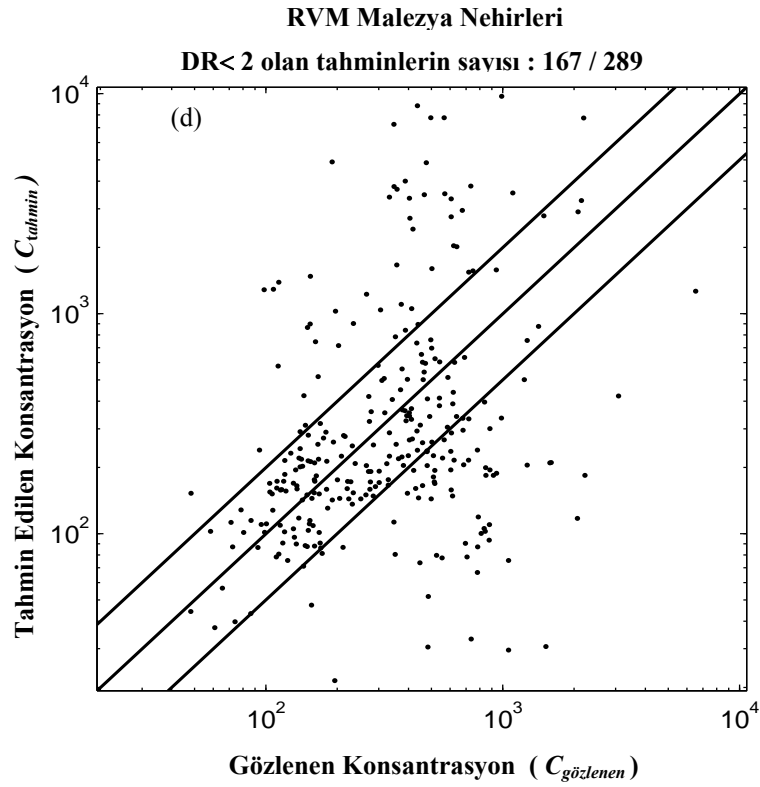
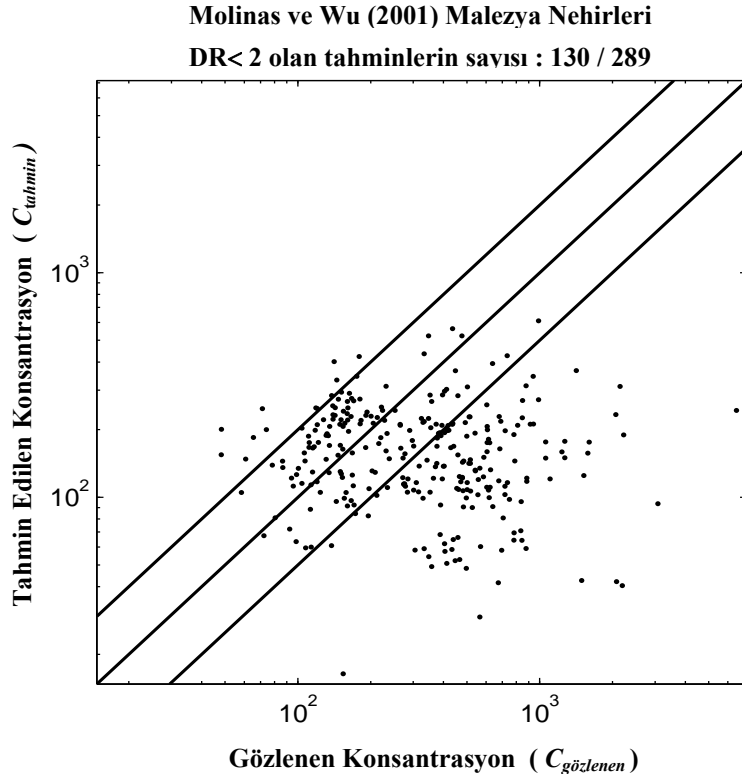
kanallardaki katı madde hareketinin, kayma gerilmesi, sürtünme faktörü ve katı madde özellikleri ile çok yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 6.4. Malezya ve Aşağı Yellow Nehirlerindeki toplam katı madde konsantrasyonu tahmini için kullanılan metotlarının performansı

Araştırmacılar	Sayı	Malezya Nehirleri			Aşağı Yellow Nehri			
		Geo. Ort.	Geo. S.S.	DR	Sayı	Geo. Ort.	Geo. S.S.	DR
Brownlie (1981a)	289	0.82	2.42	139	887	0.09	2.28	9
van Rijn (1984a,b)	286	0.30	4.91	100	935	0.32	3.25	389
Molinas ve Wu (2001)	289	0.85	2.18	130	935	0.21	2.23	112
RVM Modeli	289	0.92	2.61	167	935	0.82	3.53	393

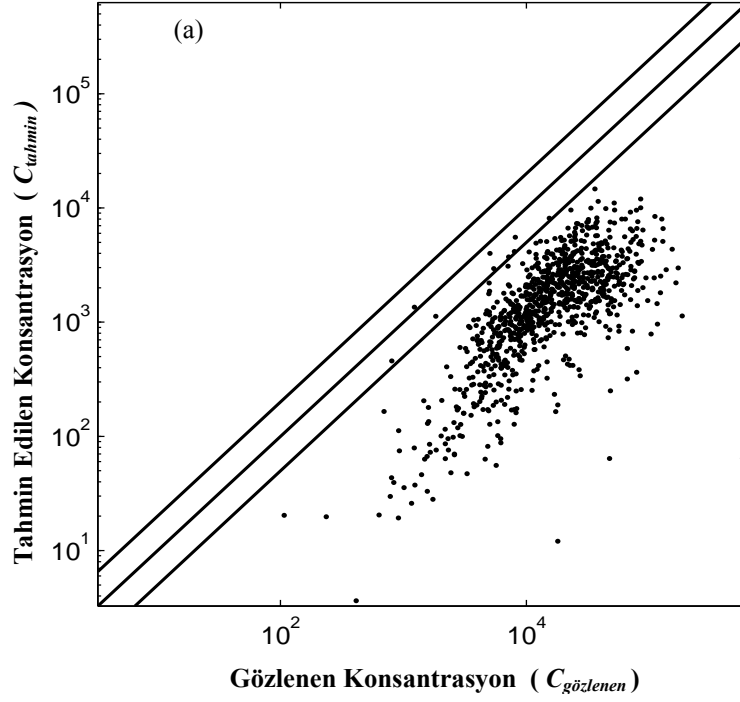


6.14A Malezya nehirleri için toplam katı madde konsantrasyonu tahmin performansı
a) Brownlie (1981a), b) van Rijn (1984a,b)

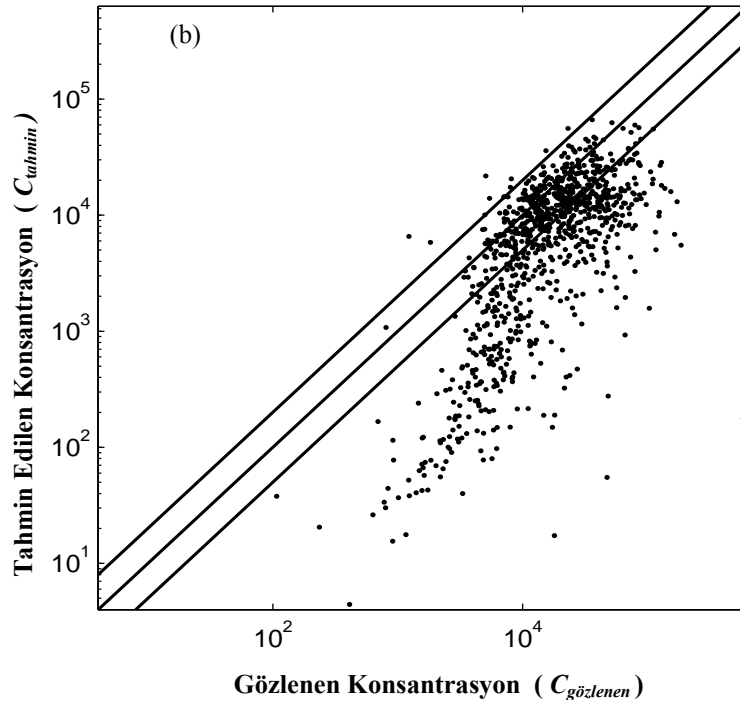


6.14B Malezya nehirleri için toplam katı madde konsantrasyonu tahmin performansı
c) Molinas ve Wu (2001), d) RVM

Brownlie (1981a) Aşağı Yellow Nehri
DR< 2 olan tahminlerin sayısı : 9 / 935



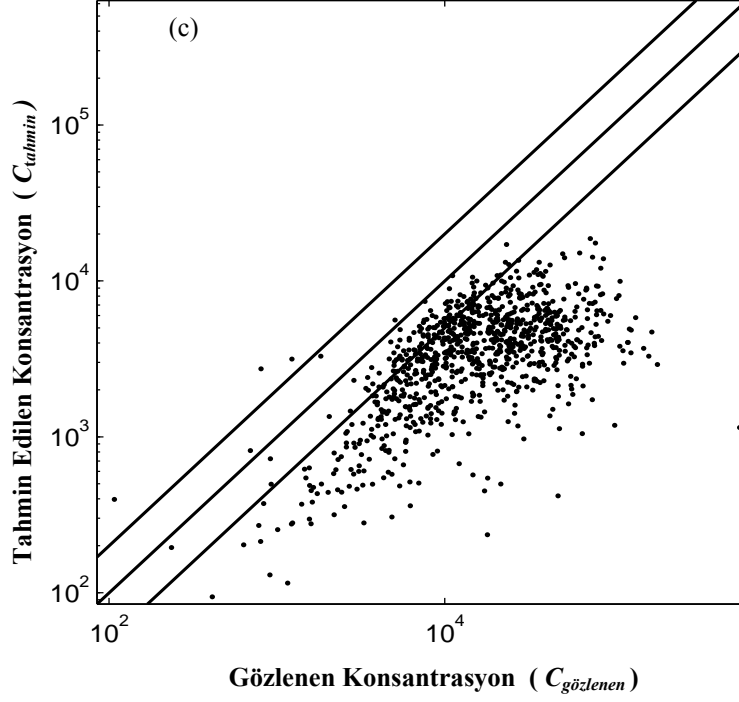
van Rijn (1984a, b) Aşağı Yellow Nehri
DR< 2 olan tahminlerin sayısı : 389 / 935



6.15A Aşağı Yellow Nehri için toplam katı madde konsantrasyonu tahmin performansı
a) Brownlie (1981a), b) van Rijn (1984a,b)

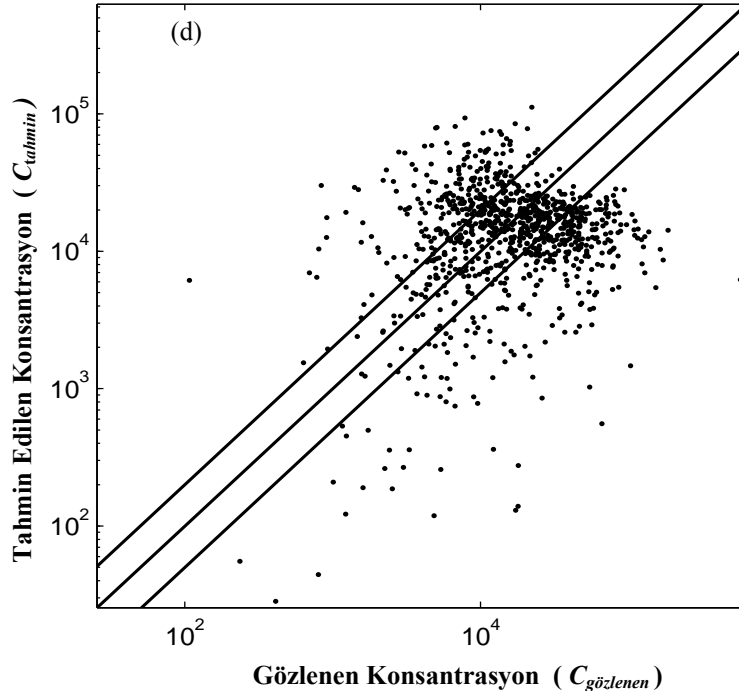
Molinas ve Wu (2001) Aşağı Yellow Nehri

DR < 2 olan tahminlerin sayısı : 112 / 935



RVM Aşağı Yellow Nehri

DR < 2 olan tahminlerin sayısı : 393 / 935



6.15B Aşağı Yellow Nehri için toplam katı madde konsantrasyonu tahmin performansı
c) Molinas ve Wu (2001), d) RVM

Bu senaryoda RVM modelinin katı madde konsantrasyonu tahminindeki etkinliği test edilmiştir. RVM modeli laboratuvar verileriyle eğitilmiş ve modelin performansı saha verileriyle denenmiştir. RVM'in, literatürde sıkça kullanılan 12 adet toplam katı madde hareketi denklemleri ile grafiksel ve istatistiksel karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda RVM modelinin bağımsız seçilen test takımlarında dahi bu denklemlerden daha iyi neticeler verdiği görölmüştür.

Çalışma neticesinde, yalnızca laboratuvar verilerine dayalı kurulan modellerin, nehirlerde taşınan katı madde miktarı tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Bir modeli geliştirmek ve doğrulamak için geniş ve güvenilir veri takımlarına ihtiyaç vardır. Brownlie (1981b) 1981 yılına kadar yapılmış olan katı madde hareketi ile ilgili çalışmalara ait verileri bir raporda derleyerek takdire değer bir iş gerçekleştirmiştir. Bu tarihten sonra birçok laboratuvar ve saha çalışmalarına ait veriler de mevcuttur. Bu tez çalışmasında, son zamanlarda yapılan çalışmalardaki verilerin derlenmesi ve bu verilerin Brownlie'nin raporundaki formatla uyumlu hale getirilmesi için çok büyük zaman ve emek harcanarak son derece kapsamlı ve güncel bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Yapay zeka modellerinde tahmin edilmek istenen olayı tanımlayan girdi parametrelerinin doğru seçilmesi, modelin performansının iyi olması açısından son derece önemlidir. Literatürde katı madde konsantrasyonunun tahmini için, daha önceki araştırmacılar tarafından önerilmiş birçok parametre mevcuttur. Ancak, bu araştırmacılar arasında, olayı en iyi şekilde ifade edebilecek girdi değişkenleri hakkında bir fikir birliği mevcut değildir. Bu tezde senaryolardaki modeller kurulmadan önce, modellerde kullanılacak olan girdi değişkenleri boyut analizi yardımıyla belirlenmiştir.

Tez kapsamında, toplam katı madde miktarını modellemek için iki ayrı senaryo düşünülmüştür:

Birinci senaryoda girdi değişkeni olarak kullanılan boyutsuz parametrelerin etkinlik dereceleri özellik seçimi yöntemiyle bulunmuş ve en etkili parametreler modellerde girdi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmadaki B/d_{50} haricindeki diğer tüm boyutsuz parametreler literatürde daha önceden kullanılmıştır. Literatürde B/d_{50} 'nin katı madde hareketine etkisinden bahsedilmemesine rağmen, bu boyutsuz parametre hem saha hem de

laboratuar verilerine dayalı modellerde etkin parametre olarak bulunmuştur. Bunun nedeni olarak, açık kanal geometrisinin katı madde taşınmasına önemli ölçüde etki ettiği söylenebilir. Bundan ötürü B/d_{50} 'nin katı madde taşınımı üzerindeki etkisini anlamak için daha fazla araştırmaların yapılması gereklidir. Bu parametrenin olaya etkisi, daha hassas ölçümlerle elde edilmiş, daha fazla sayıda, kaliteli ve güvenilir olan verilerle araştırılmalıdır.

Birinci senaryo için 7395 (2252 saha verisi ve 5143 laboratuar verisi) adet veriden oluşan veri tabanı toplam katı madde miktarının tahmininde kullanılmıştır. Modelin kurulmasından önce daha hassas sonuçlar elde etmek için veriler üzerinde bir takım eliminasyonlar yapılmıştır. Bu senaryoda nehirdeki katı madde tahmini için, yapay zeka modellerinin eğitim takımı 660 veriden, test takımı 449 veriden oluşturulmuştur. Laboratuar verileri için ise bu sayılar 560 ve 388 olarak alınmıştır. Ayrıca bu senaryoda toplam katı madde konsantrasyonunun tahmini amacıyla, yapay zeka tekniklerinden olan YSA, ANFIS ve literatüre yeni girmiş bir yöntem olan RVM kullanılmıştır. Bununla birlikte bu tekniklerin sonuçları, MLR ve literatürde sıkça kullanılan 13 adet toplam katı madde hareketi denklemlerinin sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Modellerin sonuçları karşılaştırıldığında RVM ve YSA'nın en iyi sonuçları verdiği, bulanık mantık teorisine dayalı ANFIS modelinin sonuçlarının da bu iki metotla kıyaslanabilir nitelikte olduğu görülmüştür. Ayrıca RVM'in, diğer yapay zeka metotlarına kıyasla daha kısa sürede ve bu metotlara yakın sonuçlar vermesi nedeniyle toplam katı madde konsantrasyonu tahmininde etkin bir model olarak kullanılabileceği söylenebilir.

13 adet katı madde taşınım denklemi arasından, Shen ve Hung (1972), Brownlie (1981a), Yang (1979) metotlarının laboratuar verilerine dayalı tahminlerde, Ackers ve White (1973), Brownlie (1981a), Engelund ve Hansen (1967), Molinas ve Wu (2001) ve Shu-Qing Yang (2005) metotlarının ise saha verilerine dayalı katı madde konsantrasyonu tahminlerinde iyi ve mantıklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Daha önce yapılmış olan birçok bilimsel çalışmada, su sıcaklığının katı madde taşınımı olayına etkisi incelenmiş, 15 °C-30 °C dereceleri arasında değişen su sıcaklıklarının katı madde debisi üzerinde her hangi bir etkisinin olmadığı, bu sıcaklıklar dışında ise etkisi olduğu vurgulanmıştır (Hong ve diğ., 1984). Akalın (2003) su sıcaklığının Aşağı Mississippi Nehrinde taşınan katı madde debisi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Su sıcaklığının düşey hız profillerini değiştirmesinden dolayı askı maddesi konsantrasyonunun da önemli ölçüde değiştiği sonucuna varmıştır.

Bu tezde kullanılan su sıcaklığı değerleri 0 °C ile 60 °C arasında değişmektedir. Su sıcaklığının etkisi, sıcaklığın suyun kinematik viskozitesinin hesabında kullanılması nedeniyle dolaylı olarak hesaba katılmıştır. Her bir sıcaklık verisi için farklı kinematik viskozite değeri kullanıldığından her iki senaryodaki modeller ve denklemlerin duyarlılığı artırılmıştır.

İkinci senaryo için 9470 (3843 saha verisi ve 5594 laboratuvar verisi) adet veriden oluşan veri tabanı toplam katı madde miktarının tahmininde kullanılmıştır. Bu senaryoda da modelin kurulmasından önce daha hassas sonuçlar elde etmek için veriler üzerinde bir takım eliminasyonlar yapılmıştır. Toplam katı madde miktarı tahmini için RVM modeli yalnızca laboratuvar verileri kullanılarak geliştirilmiştir. RVM'in eğitim takımı 1210 laboratuvar verisinden, test takımı ise 2911 saha verisinden oluşturulmuştur. Önerilen RVM modelinin sonuçları literatürde iyi bilinen 12 adet toplam katı madde hareketi denklemleriyle karşılaştırılmıştır.

Laboratuvar verilerini kullanarak eğitimi yapılan RVM modelinin sahadaki toplam katı madde konsantrasyonu tahminindeki performansının diğer bilinen denklemlerden çok daha iyi olduğu saptanmıştır. RVM modelinin performansı bağımsız veri takımlarıyla test edildiğinde de durumun benzer olduğu, RVM'in yine diğer metotlardan daha doğru ve güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durum, hem laboratuvar kanallarında hem de nehirlerde meydana gelen katı madde hareketlerine ilişkin temel fiziksel süreçlerin aslında aynı olabileceği fikrini doğurmuştur.

RVM modelinin kurulmasında kullanılan girdi değişkenlerinin laboratuvar ve saha verileri için aynı ve uygun aralıkta seçilmesi doğabilecek ekstrapolasyon problemlerini en başından önlemiştir.

Toplam katı madde hareketi denklemlerinin iyi sonuç vermemesinin nedeninin, denklemlerde kullanılan boyutsuz parametrelerin laboratuvar ve saha şartları için aynı aralıkta olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Aynı zamanda burada nehirlerin lineer olmayan ve sürekli değişen bir geometriye sahip olduğunu söylemekte de yarar vardır (Brownlie, 1981a). Bu nedenle geliştirilecek modelde girdi olarak kullanılacak değişkenlerin dikkatlice seçilmesi gerekir.

Sunulan bu tezde elde edilen bilgi ve tecrübeler ışığında, katı madde hareketini daha iyi yorumlayabilmek için yapılan öneriler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Açık kanallardaki yatak şeklinin değişimi akım rejimini etkilemektedir. Akım rejimi, aşağı rejim ve yukarı rejim olmak üzere yatak şekline bağlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Aynı zamanda yatak malzemesinin şekli ve büyüklüğü katı madde taşınımını da etkilemektedir. Bu nedenle akım rejimleri bulunduktan sonra RVM modelinin her iki rejimdeki toplam katı madde miktarının tahmini için ayrı ayrı uygulanması katı madde taşınma olayının daha iyi anlaşılmasını sağlayabilecektir. Ancak bu tür çalışmaların yapılabilmesi için düzenli ve doğruluğu yüksek yatak şekli gözlemlerinin yapılması gerektiği söylenebilir.

Açık kanallarda katı madde hareketi üçe bölünebilir. Bunlar askı maddesi, sürüntü maddesi ve hem askı hem sürüntü maddesi olarak söylenebilir. Bir katı madde daneciği bazen askıda, bazen sürüntü olarak ve bazen de her iki şekilde hareket edebilir. Her bir hareket şeklinin fiziki açıdan davranış mekaniği farklı olabilir. Bu nedenle toplam katı madde miktarının bu üç hareket şekline göre ayrı ayrı tahmin edilmesinin, katı madde hareketinin daha iyi anlaşılması açısından önem arz ettiği düşünülebilir.

Bu çalışmada B/d_{50} parametresi önemli bir girdi parametresi olarak bulunmuştur. Fakat B/d_{50} 'nin katı madde taşınımı olayına etkisinin daha fazla veri kullanılarak incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu alanda yeni tekniklerle, daha fazla verilerin ölçülmesi ve daha fazla çalışmaların yapılması gerektiği söylenebilir.

RVM'in performansı bir hidrolik mühendisinin umduğu kadar iyi olmayabilir. Bu nedenle çok karmaşık yapıya sahip olan katı madde hareketi konusunda daha fazla ve daha ileri çalışmalara ihtiyaç olduğu söylenebilir. Açıkça belirtmek gerekir ki, daha hassas ve doğrulukta elde edilmiş verilerle çok daha üstün modeller kurmak mümkün olacaktır.

Bu tez çalışmasının, gelecekte kurulacak modellere zemin hazırlaması ve daha gelişmiş modellere öncü olması umulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ABDEL-AAL, FAROUK, M., Extension of Bed Load Formula to High Sediment Rates, Doktora Tezi, University of California, at Berkeley, California, December, 1969.
- [2] ACAROĞLU, E.R., Sediment Transport in Conveyance Systems. Doktora Tezi, Cornell University, Ithaca, New York, 1968.
- [3] ACKERS, P., ve WHITE, W.R., Sediment Transport: New Approach and Analysis. J. Hyd. Div. ASCE, 99(11), 2041-2060, 1973.
- [4] ADRIAANSE, M., De Ruwheid van de Bergsche Maas Bij Hoge Afvoeren, Rijkswaterstaat, RIZA, Nota, (in Dutch), 1986.
- [5] AKALIN, S., Water Temperature Effect on Sand Transport by Size Fraction in the Lower Mississippi River. Doktora Tezi. Depart, of Civil Eng., Colorado State University, 2002.
- [6] ALONSO, C.V., NEIBLING, W.H., ve FOSTER, G.R., Estimating Sediment Transport Capacity in Watershed Modeling. Transactions American Society of Agriculture Engineering, 24 (5), 1211-1220, 1981.
- [7] ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, Artificial Neural Networks in Hydrology, II: Hydrologic Applications. Journal of Hydrologic Engineering 5 (2), 124-137, 2000.
- [8] ASCE, Sedimentation Engineering Manuals and Reports on Engineering Practice - No. 54, Edited by Vanoni, V. A., New York, 2006.
- [9] BAGNOLD, R.A., An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics. Professional Paper 422-1. USGS, Washington. D.C., 1966.
- [10] BARTON, J. R., ve LIN, P.N., A Study of the Sediment Transport in Alluvial Channels, Report No. CEF 55JRB2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1955.
- [11] BAYAZIT, M., Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası İstanbul, 1971.

- [12] BAYKAL, N., ve BEYAN, T., Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, Ankara, 2004.
- [13] BIANCHINI, M., ve GORI, M. Optimal Learning in Artificial Neural Networks: A Review of Theoretical Results. *Neurocomputing*, 13, 313-346, 1996.
- [14] BISHOP, C. M., *Pattern Recognition and Machine Learning*, 1st Edition. Information Science and Statistics. Springer, New York, USA, 2006.
- [15] BOGARDI, J., Traction of Pebbles by Flowing Water, Doktora Tezi. State University of Iowa, 1939.
- [16] BOGARDI, J., European Concepts of Sediment Transportation. *J. Hyd. Division*, 91(1), 29-54, 1965.
- [17] BOGARDI, J. *Sediment Transport in Alluvial Streams*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1974.
- [18] BRILHUIS, R., Enkele Hydraulische en Morphologische Parameters van de Netherlands Rijntakken, Rijkswaterstaat, DBW/RIZA, Nota, 88.003, 1988.
- [19] BROWNLIE, W.R.. Prediction of Flow Depth and Sediment Discharge in Open Channel. Report No. KH-R-43A. W.M. Keck Laboratory. California Institute of Technology. Pasadena, 1981a.
- [20] BROWNLIE, W.R., Compilation of Alluvial Channel Data: Laboratory and Field. Report No. KH-R-43B, W.M. Keck Laboratory. California Institute of Technology. Pasadena, 1981b.
- [21] BROWNLIE, W.R., Discussion of Total Load Transport in Alluvial Channels. *J. Hyd. Division*, ASCE, HY12, 1981c.
- [22] BUCKINGHAM, E., On physically similar systems: Illustrations of the use of Dimensional Equations. *Physical Review*, IV(4), 345-376, 1914.
- [23] CAO, ZHIXIAN, WANG, WENSHENG, ve DONG, J., Suspended Sediment Transport Capacity of Open Channel Flow. *International of Journal of Sediment Research*. 12(3), 1-10, 1997.
- [24] CASEY, H.J., *Über Geschiebebewegung*, Preuss. Versuchsanst. für Wasserbau und Schiffbau, Berlin Mitt., Vol.19, 1935.
- [25] CHANG, F. M., SIMONS, D. B., ve RICHARDSON, E. V., Total Bed Material Discharge in Alluvial Channels. USGS, Water Supply Paper, 1498-I, 1965.

- [26] CHANG, H. H., *Fluvial Processes in River Engineering*, John Wiley & Sons, 1988.
- [27] CHAUDHRY, H. M., SMITH, K. V. H. ve VIGIL H., *Computation of Sediment Transport in Irrigation Canals*, Proc. Institution of Civil Engineers, Vol.45, Paper 7241, 79-101, 1970.
- [28] CHILDERS, D., HAMMOND, S. E., ve JOHNSON W.P., *Hydrologic data for computation of sediment discharge Toutle and North Fork Toutle River near Mount St. Helens, Washington, Water years 1980-84*, U.S. Geological Survey Open-File Report 87-548, 1988.
- [29] CHITALE, S. V., *Hydraulics of Stable Channels*, Tables 13 and 17, Government of India, Ministry of Irrigation and Power, Central Water and Power Commission, 1966.
- [30] CHYN, S.D., *An Experimental Study of the Sand Transporting Capacity of the Flowing Water on Sandy Bed and the Effect of the Composition of the Sand*, Doktora Tezi. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1935.
- [31] CİĞİZOĞLU, H. K., *Suspended Sediment Estimation and Forecasting Using Artificial Neural Networks*. Turkish J.Eng.Env., TUBITAK 26, 15-25, 2002a.
- [32] CİĞİZOĞLU, K. H., *Suspended Sediment Estimation for Rivers Using Artificial Neural Networks and Sediment Rating Curves*. Turkish J.Eng.Env., TUBITAK 26, 27-36, 2002b.
- [33] COLBY, B. R., ve HEMBREE, C. H., *Computations of Total Sediment Discharge Niobrara River Near Cody, Nebraska*, Water-Supply Paper 1357, U.S. Geological Survey, Washington, D.C., 1955.
- [34] COSTELLO, W.R, *Development of Bed Configuration in Coarse Sands*, Report 74-1, Department of Earth and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1974.
- [35] CULBERTSON, J.K., SCOTT, C. H. ve BENNETT, J. P., *Summary of Alluvial-Channel Data from Rio Grande Conveyance Channel, New Mexico, 1965-69*, Professional Paper 562-J, United States Geological Survey, Washington, D.C., 49, 1972.
- [36] DA CUNHA, L. V., *River Mondego, Portugal*, Laboratorio Nacional De Engenharia Civil, Lisboa, 1969.
- [37] DAVES, T. R., *Summary of Experimental Data for Flume Tests over Fine Sand*, Department of Civil Engineering, University of Southampton, 1971.

- [38] DOĞAN, E., ŞAŞAL, M., ve IŞIK S., Suspended Sediment Load Estimation in Lower Sakarya River by Using Soft Computational Methods, Proceeding of the International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering, CMMSE 2005 Alicante, Spain, June, 27-30, 395-406, 2005.
- [39] DOĞAN, E., S. TRIPATHI, D.A. LYN, ve R.S. GOVINDARAJU., Application of Relevance Vector Machine for Sediment Transport Estimation. Proceedings of the 2007 World Environmental and Water Resources Congress, EWRI, ASCE. May 15-19, Tampa, Florida, 2007a.
- [40] DOĞAN, E., S. TRIPATHI, D.A. LYN, ve R.S. GOVINDARAJU., Modeling Sediment Transport Using Relevance Vector Machine. 32-nd IAHR Congress, Harmonizing the Demand of Art and Nature in Hydraulics, July 1-6, Venice, Italy, 2007b.
- [41] DOĞAN, E., YÜKSEL İ, ve KIŞI, Ö., Estimation of Total Sediment Load Concentration Obtained by Experimental Study Using Artificial Neural Networks, Environmental Fluid Mechanics, 7 (4), 271-288, 2007c.
- [42] EAST PAKISTAN WATER AND POWER DEVELOPMENT AUTHORITY, Flume Studies of Roughness and Sediment Transport of Movable Bed of Sand, Annual Report of Hydraulic Research Laboratory for 1966, 1967, 1968-1969, Dacca.
- [43] EİE, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü. Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları, Ankara, 2000.
- [44] EINSTEIN, H.A., Bed Load Transportation in Mountain Creek, U.S. Soil Conservation Service, SCS-TP-55, 1944.
- [45] EINSTEIN, H. A. ve CHIEN, N., Effects of Heavy Sediment Concentration near the Bed on Velocity and Sediment Distribution, MRP Series No. 8, University of California, Institute of Engineering Research and U.S. Army Engineering Division, Missouri River Corps of Engineers, Omaha, Nebraska, 1955.
- [46] EINSTEIN. H.A., Sediment transport data in laboratorial flumes, International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, (IRTECS Circular No.2), 1978.
- [47] EMMETT, W. W., BURROWS, R.L., ve PARKS, B., Sediment Transport in the Tanana River in the Vicinity of Fairbanks, Alaska. U. S. Geological Survey Open-File Report 78-290, 1978.
- [48] ENGELUND, F., ve HANSEN, E., A Monograph on Sediment Transport Alluvial Streams. Copenhagen: Teknik Vorlag, 1967.

- [49] ERKEK, C., ve AĞIRALIOĞLU, N., Su Kaynakları Mühendisliği, Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1994.
- [50] FOLEY, M. G., Scour and Fill in Ephemeral Streams, W. M. Keck Laboratory Report No. KH-R-33, California Institute of Technology, Pasadena, California, 1975.
- [51] FRANCO, JOHN J., Effects of Water Temperature on Bed-Load Movement, Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE, Vol. 94, No. WW3, Proc. Paper 6083, 343-352, 1968.
- [52] GARDE, R. J., RANGA RAJU, K. G., Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems. Halsted Press, New York, USA (Wiley Eastern Limited, New Delhi, India), 1977.
- [53] GHOSH, S., ve MUJUMDAR, P. P., Statistical Downscaling of GCM Simulations to Streamflow Using Relevance Vector Machine. Advances in Water Resources 31 (1), 132–146, 2008.
- [54] GIBBS, C. H., ve NEILL, C. R., Interim Report on Laboratory Study of Basket-Type Bed-Load Samplers, Research Council of Alberta in association with Department of Civil Engineering, University of Alberta, Number REH/72/2 , April 1972.
- [55] GILBERT, G. K., The Transportation of Debris by Running Water, U.S. Geological Survey, Professional Paper 86, 1914.
- [56] GOVERNMENT OF WEST BENGAL, Study on the Critical Tractive Force Various Grades of Sand Annual Report of the River Research Institute, West Bengal, Publication No. 26, Part I, 5-12, 1965.
- [57] Graf, W.H. Hydraulics of Sediment Transport. McGraw-Hill, 513 sf., 1971.
- [58] GUY, H. P., SIMONS, D. B. ve RICHARDSON, E.V., Summary of Alluvial Channel Data from Flume Experiments, 1956-61, U.S. Geological Survey, Professional Paper 462-1, 1966.
- [59] GUYON, I., ve ELISSEEFF, A., An introduction to Variable and Feature Selection. Journal of Machine Learning Research, 3, 1157–1182, 2003.
- [60] HARBOR D. J., Dynamics of bed forms in the Lower Mississippi River. Journal of Sedimentary Research 68: 750–762, 1998.
- [61] HILL, H. M., SRINIVASAN, V.S. ve UNNY, T. E., JR., Instability of Flat Bed in Alluvial Channels, Journal of Hydraulics Division, ASCE, 95(5), 1545-1558, 1969.

- [62] HO, PANG-YUNG, Abhangigkeit der Geschiebebewegung von der Kornform und der Temperature, Preuss. Versuchsanst. fur Wasserbau and Schiffbau, Berlin, Mitti., Vol.37, 1939.
- [63] HONG, ROU-JAI. KARIM, M.F. ve KENNEDY, J.F., Low Temperature Effects on Flow in Sand-bed Streams. J. Hyd. Eng., 110(2), 109-125, 1984.
- [64] HUBBELL, D. W. ve MATEJKA, D. Q., Investigation of Sediment Transportation, Middle Loup River at Dunning, Nebraska, U.S. Geological Survey, Water Supply Paper No. 1476, 1959.
- [65] IŞIK, S., DOĞAN, E., KALIN, L., ŞAŞAL, M., AĞIRALIOĞLU, N., Effects of Anthropogenic Activities on the Lower Sakarya River. Catena, 2008. (Basımda).
- [66] JAIN, S.K., Development of Integrated Sediment Rating Curves Using ANNs, Journal of Hydraulic Engineering., ASCE 127(1), 30-37, 2001.
- [67] JANG, J. S. R., ANFIS: Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, 23 (03): 665-685, 1993.
- [68] JOHNSON, J. W., Laboratory Investigations on Bed-Load Transportation and Bed Roughness, U.S. Soil Conservation Service, SCS-TP-50, 1943.
- [69] JORISSEN, A. L., Etude Experimentale du Transport Solide des Cours d'Eau, Revue Universelle des Mines, Belgium, Vol.14, No.3269-282, 1938.
- [70] JULIEN, P.Y., Study of Bedform Geometry in Large Rivers, Report Q 1386, Delft Hydraulics, Netherlands, 1992.
- [71] JULIEN, P.Y. Erosion and Sedimentation. Cambridge University Press, 1995.
- [72] JULIEN, P.Y., ve RASLAN, Y., Upper-regime Plane Bed, J. Hydraul. Eng., 124(11), 1086-1096, 1998.
- [73] KALINSKE, A. A., ve HSIA, C. H., Study of Transportation of Fine Sediments by Flowing Water, Iowa University Studies in Engineering, Bulletin 29, 1945.
- [74] KALKANIS, G. Transport of bed material due to wave action, CERC TM-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS., 1964.

- [75] KARIM, F., ve KENNEDY, J.F., Computer-based Predictors for Sediment Discharge and Friction Factor of Alluvial Streams. Report no. 242. Iowa Institute of Hydraulic Research. University of Iowa, 1981.
- [76] KARIM, F., ve KENNEDY, J.F., Menu of Coupled Velocity and Sediment Discharge Relations for Rivers. *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 116(8), 978-996, 1990.
- [77] KARIM, M.F., Bed Material Discharge Prediction for Non-uniform Bed Sediments. *J. Hyd. Eng., ASCE*, 124(6), 597-604, 1998.
- [78] KENNEDY, J. F., Stationary Waves and Antidunes in Alluvial Channels, Report KH-R-2, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California, 1961.
- [79] KENNEDY, J. F. ve BROOKS, N. H., Laboratory Study of An Alluvial Stream of Constant Discharge, Proceedings, Federal Inter-Agency Sediment Conference, Misc. Pub. 970, U.S. Department of Agriculture, 320-330, 1963.
- [80] KHALIL, A., ALMASRI, M. N., MCKEE, M., ve KALUARACHCHI, J. J., Applicability of Statistical Learning Algorithms in Groundwater Quality Modeling. *Water Resources Research* 41 (5), 2005a.
- [81] KHALIL, A., MCKEE, M., KEMBLOWSKI, M., ve ASEFA, T., Sparse Bayesian Learning Machine For Real-Time Management of Reservoir Releases. *Water Resources Research* 41 (11), 2005b.
- [82] KHALIL, A. F., MCKEE, M., KEMBLOWSKI, M., ASEFA, T., ve BASTIDAS, L., Multi-Objective Analysis of Chaotic Dynamic Systems With Sparse Learning Machines. *Advances in Water Resources* 29 (1), 72-88, 2006.
- [83] KIRCHER, J. E., Interpretation of Sediment Data for The South Platte River in Colorado and Nebraska, and the North Platte and Platte Rivers in Nebraska, U. S. Geological Survey Professional Paper 1277-D, 1983.
- [84] KİŞİ, Ö., YÜKSEL, İ., ve DOĞAN, E., Modelling Daily Suspended Sediment of Rivers in Turkey Using Several Data Driven Techniques. *Hydrological Sciences Journal*, 2008. (Basımda).
- [85] KLAASSEN, G.J., VERMEER, K. ve UDDIN, N., Sedimentological Processes in the Jamuna (Lower Brahmaputra) river, Bangladesh. in: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Budapest, Hungary, 381-394, 1988.

- [86] KNOTT, J. M., Sediment Discharge in the Trinity River Basin, California, Water-Resource Investigations 49-73, U.S. Geological Survey, 1974.
- [87] KOÇ, L. M., Taş Dolgu Dalgakıranların Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık Sistemleri ve Genetik Algoritma İle Ön Tasarımı ve Güvenirlik Analizi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [88] LANGHAAR, H., Dimensional Analysis and Theory of Models.. New York: John Wileyand Sons, 1951.
- [89] LAURSEN, E. M., The Total Sediment Load of Streams. Journal of the Hyd. Division, ASCE, 84(1), 1530, 1-36, 1958.
- [90] LONG, Y., ve LIANG, G., Data Base of Sediment Transport in the Yellow River. Technical Report No. 94001, Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservation Commission, Zhengzhou, P. R. China, 1994.
- [91] LOPES, L. V., EFOLLİOTT, F. P., ve BAKER, B. M., Impacts of Vegetative Practices on Suspended Sediment From Watershed of Arizona. J. Water Resources Planing and Management, ASCE, 127(1), 41-47, 2001.
- [92] MACDOUGALL, C. H., Bed-Sediment Transportation in Open Channels, Transactions of the Annual Meeting 14, American Geophysical Union, 491-495, 1933.
- [93] MAHMOOD, K., Selected Equilibrium-State Data from ACOP Canals, Civil, Mechanical and Environmental Engineering Department Report No. EWR-79-2, George Washington University, Washington, D.C., 1979.
- [94] MAVIS, F. T., LIU, T.,ve SOUCEK, E., The Transportation of Detritus by Flowing Water, Iowa University Studies in Engineering, Bulletin 11, 1937.
- [95] MCBEAN, E. A., ve AL-NASSRİ, S., Uncertainty in Suspended Sediment Transport Curves. J. Hydraul. Eng, ASCE, 114(1), 63-73, 1988.
- [96] MCCULLOCH, W.S.,ve PITTS, W.H., A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, Bull. Math. Biophys. 5, 115–133, 1943.
- [97] MERWIN, D., A., A Neural Network Approach to Solving Areal Interpolation Problems, Doktora Tezi, University of Connecticut, Connecticut, 2004.

- [98] MEYER-PETER, E., ve MULLER, R., Formulas for Bed Load Transport, Proceedings, Second Meeting of International Association for Hydraulic Structures Research, Stockholm, 1948.
- [99] MIDDLETON, G.V., ve SOUTHARD, J.B., Mechanics of Sediment Movement. Short Course No. 3: Tulsa, OK, Soc. Econ. Paleont. and Mineral, 1984.
- [100] MILHOUS, R.T., Sediment Transport in a Gravel-Bottomed Stream, Doktora Tezi, Oregon State University, 1973.
- [101] MOLINAS, A., ve WU, B. S., Transport of Sediment in Large Sandbed Rivers. J. Hydraul. Res. 39(2), 135–146, 2001.
- [102] MÜFTÜOĞLU, R. F., Akarsu Yapıları, Cilt 1, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1980.
- [103] MUTTER, D. G., A Flume Study of Alluvial Bed Configurations, Masters Thesis Submitted to the Faculty of Graduate Studies, University of Alberta, 1971.
- [104] NAKATO, T., Test of Selected Sediment Transport Formulas. J. Hyd. Eng., 116(3), 362-379, 1990.
- [105] NAYAK, P.C., SUDHEER, K.P., RANGAN, D.M. ve RAMASASTRI, K.S., A Neuro-Fuzzy Computing Tecnique for Modeling Hydrological Time Series. J. of Hhdrology, 291, 52-66, 2004.
- [106] NEDECO, Rio Magdalena and Canal del Dique Project, Mission Tecnica Colombo-Holandesa, NEDECO Report, NEDECO, the Hague, 1973.
- [107] NEILL, C. R., Laboratory Study of Scour of Coarse Uniform Bed Material, Research Council of Alberta, 1967.
- [108] NOMICOS, G., Effects of Sediment Load on the Velocity Field and Friction Factor on Turbulent Flow in an Open Channel, Dokora Tezi, Calif. Inst. of Technology, Pasadena, Calif., 1956.
- [109] NORDIN, C. F., JR., Flume Studies with Fine and Coarse Sands, Open File Report 76-762, U.S. Geological Survey, Washington, D.C., 1976.
- [110] NORDIN, G. F. ve BEVERAGE, J. P., Sediment Transport in the Rio Grande, New Mexico, Professional Paper 462-F, U.S. Geological Survey, Washington, D.C., 1965.
- [111] O'BRIEN, M. P., Notes on the Transportation of Silt by Streams, Transactions of the Annual Meeting 17, American Geophysical Union, 431-436, 1936.

- [112] ONISHI, Y., JAIN, S. C. ve KENNEDY, J. R., Effects of Meandering in Alluvial Channels, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 102, No. HY7, 899-917, 1976.
- [113] ÖZTURK, F., APAYDIN, H., ve WALLING, D.E., Suspended Sediment Loads Through Flood Events for Streams of Sakarya Basin. Turkish J.Eng.Env. TUBITAK 25 643-650, 2001.
- [114] PACHECO-CEBALLOS, R., Transport of sediments: Analytical Solution. J. Hyd. Research. 27(4), 501 – 518, 1989.
- [115] PAINTAL, A. S., Concept of Critical Shear Stress in Loose Boundary Open Channels, Journal of Hydraulic Research, No.1, 90-113, 1971.
- [116] PETERSON, A W., ve HOWELLS, R.F., A Compendium of Solids Transport Data for Mobile Boundary Channels, Report No. HY-1973-ST3, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Canada, January, 1973.
- [117] POSADA-G, L., Transport of Sands in Deep Rivers. Doktora Tezi. Depart, of Civil Eng., Colorado State University, 1995.
- [118] PRATT, C. J., Summary of Experimental Data for Flume Tests over 0.49 mm Sand, Department of Civil Engineering, University of Southampton, 1970.
- [119] RAUDKIVI, A. J., Loose Boundary Hydraulics, 3rd Edition, Pergamon Press, Oxford, England, 1990.
- [120] ROTTNER, J., A Formula for Bed-Load Transport. La Houille Blanche No. 3, 301 -307, 1959.
- [121] RUMELHART, D.E., HINTON, G.E., ve WILLIAMS, R.J., Learning representations by back-propagating errors. Nature, 323, 533-536, 1986.
- [122] SAMAGA, B.R., RANGA RAJU, K.G., ve GARDE, R.J., Bed Load Transport Rate of Sediment Mixtures, J. Hydr. Eng., ASCE, 112(11), 1003-1018, 1986a.
- [123] SAMAGA, B.R., RANGA RAJU, K.G., ve GARDE, R.J., Suspended load transport rate of sediment mixtures, J. Hydr. Eng., ASCE, 112(11), 1019-1038, 1986b
- [124] SAMIDE, G. W., Sediment Transport Measurements, Mastır Tezi. University of Alberta, June 1971.
- [125] SATO, S., KIKKAWA, H. ve ASHIDA, K., Research on the Bed Load Transportation, Journal of Research, Public Works Research Institute Vol.3, Res. Paper 3, Const. Ministry, Tokyo, Japan, 21 sf., March 1958.

- [126] SCHOLKOPF, B., ve SMOLA, A. J., Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond, 1st Edition. Adaptive Computation and Machine Learning. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2002.
- [127] SEITZ, H R., Suspended and Bedload Sediment Transport in the Snake and Clearwater Rivers in the Vicinity of Lewiston, Idaho, File Report 76-886, U.S. Geological Survey, Boise, Idaho, 1976.
- [128] ŞEN, Z., Fuzzy Logic and System Models in Water Sciences, Turkish Water Foundation, İstanbul, 2004.
- [129] SHEN, H.W., ve HUNG, C.S., An Engineering Approach to Total Bed-material Load by Regression Analysis. Proc. Sedimentation Symposium, ed. H.W. Shen. Berkeley. California, Water Resources Pub. 1972, chap.14, 1972.
- [130] SHEN, H. W., MELLEMA, W. J., ve HARRISON, A. S., Temperature and Missouri River Stages Nearear Omaha. J. Hydraul. Div., ASCE 104(1), 1–20, 1978.
- [131] SHIELDS, A., Arwendung der Aenlich-keits-mechanik and der Turbulenzforschung auf die Geshienbebewegung: Mitteilungen der Preussischen Versuch-sanstalt fur Wasserbau and Schiffsbau, Berlin, Germany. Translated to English by W. P. Ott and J. C. van Uchelen, California Institute of Technology, Pasadena, USA, 1936.
- [132] SHINOHARA, K., ve TSUBAKI, T., On the Characteristics of Sand Waves Formed Upon Beds of the Open Channels and Rivers, Reprinted from Reports of Research Institute of Applied Mechanics, Kyushu University, Vol. VII, No.25, 1959.
- [133] SIMONS, D.B., Theory of Design of Stable Channels in Alluvial Materials, Doktora Tezi. Colorado State University, 1957.
- [134] SIMONS, D.B., ve ŞENTÜRK, F.,. Sediment Transport Technology-Water and Sediment Dynamics. Water Resources Publications, Littleton. CO., 1992.
- [135] SINGH, B., Transport of Bed-Load in Channels with Special Reference to Gradient Form, Doktora Tezi, University of London, London, England, 1960.
- [136] SINNAKAUDAN, S. K., AB GHANI, A., AHMAD, M. S. S., ve ZAKARIA, N. A., Multiple linear regression model for total bed material load prediction. Journal of Hydraulic Engineering 132 (5), 521–528, 2006.

- [137] SONI, J. P., Short Statistical Analysis of Total Load Concentration, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 106, No. HY8, 1383-1389, August 1980.
- [138] STEIN, R. A., Laboratory Studies of Total Load and Apparent Bed Load, Journal of Geophysical Research, Vol.70, No 8, 1831-1842, 1965.
- [139] STEVEN, H.H. JR., ve YANG, C.T., Summary and Use of Selected Fluvial Sediment discharge Formula. USGS. Water Res. Investigations Report 89-4026. Denver, Colorado, 1989.
- [140] STRAUB, L. G., Transportation Characteristics Missouri River Sediment, M.R.D. Sediment Series No.4, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, Minneapolis, Minnesota, April 1954.
- [141] STRAUB, L. G., ANDERSON, A G. ve FLAMMER, G. H., Experiments on the Influence of Temperature on the Sediment Load, M.R.D. Sediment Series No. 10, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, Minneapolis, Minnesota, January, 1958.
- [142] SUYKENS, J. A. K., Nonlinear Modelling and Support Vector Machines. Proceeding Of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest, Hungary, 287-294, 2001.
- [143] TAYLOR, B. D., Temperature Effects in Alluvial Streams, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources Report KH-R-27, California Institute of Technology, Pasadena, California, 204 sf., August 1971.
- [144] TIPPING, M. E., Sparse Bayesian Learning and the Relevance Vector Machine. Journal of Machine Learning Research 1 (3), 211–244, 2001.
- [145] TOFFALETI, F. B., A Procedure for Computation of the Total River Sand Discharge and Detailed Distribution, Bed to Surface, Technical Report No.5, Committee of Channel Stabilization, Corps of Engineers, U.S. Army, November 1968.
- [146] TRIPATHI, S., ve GOVINDARAJU, R. S., On Selection of Kernel Parameters in Relevance Vector Machines for Hydrologic Applications. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 21 (6), 747–764, 2007.
- [147] USACE, United States Army Corps of Engineers, U.S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Studies of River Bed Materials and Their Movement with Special Reference to the Lower Mississippi River, Paper 17, 1935A.

- [148] USACE, United States Army Corps of Engineers, U.S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Effect of Turbidity on Sand Movement, unpublished report of experiments, 1935B.
- [149] USACE, United States Army Corps of Engineers, U.S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Flume Tests Made to Develop a Synthetic Sand Which Will Not Form Ripples When Used in Movable-Bed Models, Technical Memorandum 99-1 (unpublished), 1936A.
- [150] USACE, United States Army Corps of Engineers, U.S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Flume Tests of Synthetic Sand Mixture (Sand No.10), Technical Memorandum 95-1 (unpublished), 1936B.
- [151] USACE, United States Army Corps of Engineers, U.S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Studies of Light-Weight Materials, with Special Reference to their Movement and use as Model Bed Material, Technical Memorandum 103 -1 (unpublished), 1936C.
- [152] USBR, United States Bureau of Reclamation, Interim Report, Total Sediment Transport Program, Lower Colorado River Basin, January 1958.
- [153] VAN RIJN, L.C., The Prediction of Bed Forms, Alluvial Roughness and Sediment Transport, Research Report S 487 part III. Delft Hydraulics Laboratory, 1982.
- [154] VAN RIJN, L. C., Discussion of Sediment Transport and Unit Stream Power Function. J. Hyd. Eng., 109(12), 1785-87, 1983.
- [155] VAN RIJN, L. C., Sediment Transport Part I: Bed Load Transport. J. Hyd. Eng., (10), 1431-1456, 1984a..
- [156] VAN RIJN, L. C., Sediment Transport Part II: Suspended Load Transport. J. Hyd. Eng., 110, (11), 1613-1641, 1984b.
- [157] VAN RIJN, L. C., Sediment Transport Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness. J. Hyd. Eng., 110(12), 1733-54.,1984c.
- [158] VAN RIJN, L. C., Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, AQUA Publications, Amsterdam, The Netherlands, 1993.
- [159] VANONI, V. A., ve BROOKS, N. H., Laboratory Studies of the Roughness and Suspended Load of Alluvial Streams, M.R.D. Sediment Series, No.11, California Institute of Technology Sedimentation Laboratory, 1957.

- [160] VANONI, V. A., ve HWANG, LI SAN, Relation Between Bed Forms and Friction in Streams, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 93, No. HY3, Proc. Paper 5242, 121-144, May 1967.
- [161] VANONI, V.A., Sedimentation Engineering. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice - No. 54, ASCE. New York, 1975.
- [162] WANG, S., ve ZHANG, R., Experimental Study on Transport Rate of Graded Sediment. Proceedings of International Conference on River Flood Hydraulics, Edited by W. R. White, John Wiley & Sons Ltd, Wallingford, England, 299-306, 1990.
- [163] WANG, S., ve WHITE, W. R., Alluvial Resistance in Transition Regime, J. Hydraul. Eng., 119(6), 725– 741, 1993.
- [164] WANG, S., CHENG, Y., ve HUI, Y., A Study on Transport Capacity of Nonuniform Sediment in Open Channels. Journal of Hydraulic Engineering, Chinese Hydraulic Engineering Society, No. 1, Beijing, China, 1-9, 1998.
- [165] WHITE, W. R., MILLI, H., ve CRABBE, A.D., Sediment Transport Theories: a Review. Proc. Inst. Civil Eng. Part 2, 59, sf. 265 – 92, 1975.
- [166] WHITE, W. R., ve DAY, T. J., Transport of Graded gravel Bed Material. Gravel-bed Rivers, edited by R. D. Hey, J. C. Bathurst, and C. R. Thorn, John Wiley & Sons Ltd, 181-223, 1982.
- [167] WIJBENGA, J. H. A., Analyse Prototype-Metingen (niet-) Permanente Ruwheid. Verslag Onderzoek, Delft Hydraulics, Q1302, Mei 1991.
- [168] WILCOCK, P. R., and SOUTHARD J. B., Experimental Study of Incipient Motion in Mixed-Size Sediment, Journal of Water Resources Research, 24(7), 1137-1151, 1988.
- [169] WILLIAMS, G. P., Flume Width and Water Depth Effects in Sediment Transport Experiments, U.S. Geological Survey, Professional Paper 562-H, 1970.
- [170] WILLIAMS, GARNETT P., ve ROSGEN, DAVID L., Measured Total Sediment Loads (Suspended Loads and Bed Loads) for 93 United Streams. Open - File Reports (USGS) Section 89 - 67, Denver Colorado, 1989.
- [171] WILLIS, J. C., COLEMAN, N. L. ve ELLIS, W. M., Laboratory Study of Transport of Fine Sand, Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 98, HY3, Proc. Paper 8765, 489-501, March 1972.
- [172] WILLIS, J.C., Suspended Load from Error-Function Models, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No. HY7, 801-816, July 1979.

- [173] WU, B., MOLINAS, A., JULIEN, P. Y., Bed-Material Load Computations for Nonuniform Sediments. *Journal of Hydraulic Engineering* 130 (10), 1002–1012, 2004.
- [174] YALIN, M.S., *Mechanics of Sediment Transport*. Pergamon Press, Oxford, 298 sf., 1972.
- [175] YANG, C. T., Unit Stream Power and Sediment Transport. *J. Hyd. Division*. 98(10), 1805-1826, 1972.
- [176] YANG, C. T., Incipient Motion and Sediment Transport. *J. Hyd. Division*. 99(10), 1679-1704, 1973.
- [177] YANG, C. T., Unit Stream Power Equations for Total Load. *Journal of Hydrology* 40 (1/2): 123-138, 1979.
- [178] YANG, C. T., *Sediment Transport Theory and Practice*. McGraw -Hill Companies. Inc., 1996.
- [179] YANG, C. T., ve WAN, S., Comparison of Selected Bed Material Load Formulas. *J. Hyd. Eng.*,117(8), 973-989, 1991.
- [180] YANG, S.-Q., Formula for Sediment Transport in Rivers,Estuaries, and Coastal Waters. *J. Hyd. Eng.*, 131 (11), 968-979, 2005.
- [181] YIN, Y., Experiment study on bedforms and alluvial resistance on sandy bed. MS thesis. Tsinghua University, Beijing, China, 1989.
- [182] ZNAMENSKAYA, N. S., Experimental Study of the Dune Movement of Sediment, *Transactions of the State Hydrologic Institute (Trudy GGI)* No. 108, 89-111. Translated by L.G. Robbins, 1963.

EKLER

Ek 1. Birinci Senaryo İçin Derlenen Veriler

Tablo Ek-1.1. Saha verileri için araştırmaların listesi

Data Kod	Araştırmacılar	Kayıtların Sayısı	Kümülatif Kayıtlar
ACP	ACOP Canal, Mahmood, (1979)	151	151
AMA	Amazon Nehri, Posada (1995)	82	233
AMC	American Canal, Simons (1957)	11	244
ATC	Atchafalaya Nehri, Toffaleti, (1968)	72	316
CHI	Canal Data, Chitales (1966)	32	348
CHOP	Chop Canals, Chaudhry, ve diğ., (1970)	66	414
COL	Colorado Nehri, U. S. Bureau of Reclamation (1958)	131	545
HII	Hii Nehri, Shinohara ve Tsubaki (1959)	38	583
LEO	River Data, Leopold (1969) ¹	72	655
MAY	Malezya Nehirleri Dataları, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	346	1001
MID	Middle Loup Nehri, Hubbell ve Matejka (1959)	38	1039
MIS	Mississippi Nehri, Toffaleti, (1968), ve Posada (1995)	250	1289
MOU	Mountain Deresi, Einstein (1944)	100	1389
NED	Rio Magdalena ve Canal del Dique, NEDECO (1973)	113	1502
NIO	Niobrara Nehri, Colby ve Hembree, (1955)	40	1542
NSR	North Saskatchewan Nehri ve Elbow Nehri, Samide (1971)	55	1597
OAK	Oak Creek, Oregon, Milhous (1973)	17	1614
POR	Portekiz Nehirleri, Da Cunha (1969)	219	1833
RED	Red Nehri, Toffaleti, (1968)	30	1863
RGC	Rio Grande Conveyance Channel, Culbertson, ve diğ., (1972)	33	1896
RGR	Rio Grande Nehri, Nordin and Beverage (1965)	293	2189
RIO	Rio Grande near Bernalillo, Toffaleti (1968)	38	2227
SNK	Snake ve Clearwater Nehirleri , Seitz (1976)	21	2248
TRI	Trinity Nehri, Knott (1974)	4	2252

Tablo Ek-1.2. Laboratuvar verileri için araştırmaların listesi

Data Kod	Araştırmacılar	Kayıtların Sayısı	Kümülatif Kayıtlar
ABA	Abdel-Aal (1969)	10	10
BAL	Barton ve Lin, P (1955)	28	38
BEN	Government of West Bengal (1965)	18	56
BOY	Bogardi ve Yen (1936)	48	104
BRO	Vanoni ve Brooks (1957)	21	125
CAS	Casey (1935)	92	217
CHY	Chyn (1935)	32	249
COS	Costello (1974)	28	277
DAV	Daves (1971)	79	356
EAC	Einstein ve Chien (1955)	16	372
EPA	E. Pakistan Water ve Power (1967)	68	440

Tablo Ek-1.2. (Devam)

EPB	E. Pakistan Water ve Power (1966,1968,1969)	56	496
FOL	Foley (1975)	12	508
FRA	Franco (1968)	19	527
GIB	Gibbs ve Niell (1972)	9	536
GIL	Gilbert (1914)	889	1425
GKA	Gilbert (1914)	125	1550
GKB	Gilbert (1914)	62	1612
GUY	Guy, ve diğ., (1966)	339	1951
HPY	Ho (1939)	80	2031
JOR	Jorissen (1938)	26	2057
KAH	Kalinske ve Hsia (1945)	9	2066
KAL	Kalkanis (1964)	23	2089
KEN	Kennedy (1961)	41	2130
KNB	Kennedy ve Brooks (1965)	9	2139
LAU	Laursen (1958)	24	2163
MAV	Mavis ve diğ., (1937)	293	2456
MCD	MacDougal (1933)	74	2530
MPR	Meyer-Peter ve Muller (1948)	135	2665
MUT	Mutter (1971)	28	2693
NOM	Nomicos (1956)1	30	2723
NOR	Nordin (1976)	62	2785
OBR	O'Brien (1936)	83	2868
OJK	Onishi ve diğ., (1976)	14	2882
PAI	Paintal (1971)	96	2978
PRA	Pratt (1970)	60	3038
SAT	Sato ve diğ., (1958)	243	3281
SIN	Singh (1960)	305	3586
SON	Soni (1980)	23	3609
STE	Stein (1965)	56	3665
STR	Straub (1954) ve Straub ve diğ., (1958)	24	3689
TAY	Taylor (1971)	39	3728
VAB	Vanoni ve Brooks (1957)	15	3743
VAH	Vanoni ve Hwang (1967)	16	3759
WIL	Willis 1979)	32	3791
WLM	Williams (1970)	177	3968
WLS	Willis ve diğ., (1972)	96	4064
WSA	US Waterways Exp. Sta. (1935A)	330	4394
WSB	US Waterways Exp. Sta. (1936A)	102	4496
WSL	US Waterways Exp. Sta. (1936C)	298	4794
WSS	US Waterways Exp. Sta. (1936B)	313	5107
ZNA	Znamenskaya (1963)	36	5143

Ek 2. Birinci Senaryo İçin Her Bir Modelin Performansının İstatistiksel Değerlendirmeleri

Engelund ve Hansen (Lab)								
Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	0.66	2.38	0.20	0.28	0.48	1.57	3.36
BEN	1	4.34	1.00	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34
BRO	4	1.01	2.95	0.41	0.34	0.67	2.99	6.23
CHY	1	1.49	1.00	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49
COS	7	0.78	1.76	0.27	0.44	0.80	1.37	1.67
DAV	29	0.93	2.37	0.18	0.39	0.77	2.19	7.81
EPA	5	0.79	1.60	0.32	0.49	0.90	1.27	1.23
EPB	7	1.14	1.99	0.54	0.57	1.10	2.28	4.21
FOL	3	0.68	1.96	0.32	0.35	0.59	1.34	1.65
FRA	5	0.67	2.26	0.26	0.30	0.50	1.51	2.75
GUY	74	0.83	1.98	0.18	0.42	0.85	1.64	4.39
JOR	4	1.58	2.01	0.77	0.79	1.51	3.17	4.28
KEN	6	0.60	2.49	0.22	0.24	0.51	1.49	2.84
KNB	4	1.39	2.60	0.41	0.53	1.32	3.62	5.66
LAU	4	1.04	3.90	0.13	0.27	1.95	4.06	3.92
MUT	5	1.49	2.42	0.65	0.62	1.30	3.61	8.06
NOR	17	0.72	2.11	0.27	0.34	0.58	1.52	3.63
OBR	6	1.31	2.29	0.30	0.57	1.27	2.99	4.47
OJK	8	1.36	2.43	0.29	0.56	1.74	3.30	4.16
PRA	8	0.80	2.04	0.37	0.39	0.73	1.63	3.61
SIN	21	0.88	2.14	0.29	0.41	0.86	1.89	3.32
STE	22	0.92	2.26	0.29	0.41	0.87	2.08	4.41
STR	5	0.60	1.67	0.30	0.36	0.77	1.00	1.19
TAY	7	0.67	1.91	0.22	0.35	0.80	1.29	1.72
VAB	8	0.71	1.50	0.33	0.47	0.71	1.07	1.24
VAH	2	1.48	1.51	0.98	0.98	1.60	2.23	2.23
WLM	3	0.88	1.26	0.64	0.70	0.95	1.11	1.11
WLS	32	0.78	2.05	0.16	0.38	0.64	1.61	3.33
WSA	72	0.71	2.17	0.17	0.33	0.66	1.54	10.70
WSB	5	1.09	3.02	0.28	0.36	0.94	3.30	4.33
WSS	4	0.68	2.08	0.43	0.32	0.45	1.41	2.42
TAMAMI	388	0.84	2.21	0.13	0.38	0.79	1.85	10.70

Engelund ve Hansen (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.68	2.67	0.05	0.25	0.68	1.81	12.33
AMC	2	0.59	1.72	0.34	0.34	0.68	1.01	1.01
ATC	22	0.54	2.41	0.15	0.23	0.47	1.31	3.13
CHO	13	0.66	2.78	0.11	0.24	0.62	1.85	3.85
CHP	12	0.92	2.93	0.20	0.31	1.25	2.69	5.15
COL	36	0.62	2.11	0.11	0.29	0.62	1.30	2.25
MID	19	0.73	2.54	0.06	0.29	0.84	1.86	2.39
MIS	59	0.70	2.52	0.03	0.28	0.61	1.77	4.42
MOU	39	0.62	2.80	0.04	0.22	0.70	1.74	5.39
NED	22	0.76	2.50	0.16	0.30	0.71	1.90	10.25
NIO	13	1.02	2.74	0.11	0.37	0.96	2.80	9.94
RED	15	1.04	1.85	0.49	0.56	0.83	1.93	3.38
RGC	4	0.82	1.82	0.33	0.45	0.89	1.50	1.78
RGR	103	0.91	2.64	0.06	0.35	0.97	2.41	27.75
RIO	25	0.97	2.19	0.18	0.44	0.85	2.12	4.76
TAMAMI	449	0.76	2.58	0.03	0.29	0.72	1.95	27.75

Graf (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	0.55	3.44	0.14	0.16	0.36	1.89	6.44
BEN	1	5.62	1.00	5.62	5.62	5.62	5.62	5.62
BRO	4	1.73	4.35	0.55	0.40	0.90	7.50	21.10
CHY	1	2.49	1.00	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
COS	7	0.96	1.74	0.37	0.55	1.09	1.67	1.84
DAV	29	0.71	4.33	0.02	0.16	0.75	3.09	11.17
EPA	5	0.53	1.59	0.30	0.33	0.49	0.84	1.22
EPB	7	1.18	3.26	0.12	0.36	1.42	3.86	5.90
FOL	3	0.51	2.27	0.23	0.22	0.37	1.15	1.56
FRA	5	0.48	6.02	0.05	0.08	0.27	2.86	11.60
GUY	74	0.72	3.13	0.07	0.23	0.66	2.25	7.71
JOR	4	3.58	2.11	1.89	1.70	2.61	7.53	12.71
KEN	6	0.29	4.93	0.03	0.06	0.41	1.42	3.96
KNB	4	2.33	3.22	0.44	0.72	3.17	7.51	9.41
LAU	4	1.31	4.32	0.17	0.30	2.52	5.64	6.12
MUT	5	0.87	4.78	0.09	0.18	0.87	4.18	11.49
NOR	17	0.67	5.06	0.05	0.13	0.70	3.40	11.75
OBR	6	2.26	2.73	0.45	0.83	2.70	6.17	6.89
OJK	8	1.54	6.80	0.06	0.23	2.75	10.50	11.59
PRA	8	0.80	3.63	0.13	0.22	0.93	2.92	11.35
SIN	21	0.93	2.66	0.24	0.35	0.76	2.48	8.17
STE	22	0.83	3.13	0.18	0.27	0.66	2.60	8.16
STR	5	0.57	3.34	0.15	0.17	0.57	1.90	3.95
TAY	7	0.36	2.45	0.07	0.15	0.32	0.89	1.71
VAB	8	0.51	3.12	0.03	0.16	0.76	1.59	1.78
VAH	2	1.10	4.01	0.27	0.27	2.35	4.42	4.42
WLM	3	1.57	2.31	0.48	0.68	2.78	3.61	2.87
WLS	32	0.70	2.83	0.08	0.25	0.58	1.99	8.45
WSA	72	0.66	3.47	0.04	0.19	0.63	2.29	19.02
WSB	5	1.18	3.58	0.35	0.33	0.52	4.21	6.45
WSS	4	0.23	3.57	0.06	0.06	0.36	0.82	0.99
TAMAMI	388	0.76	3.65	0.02	0.21	0.68	2.77	21.10

Graf (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.48	3.59	0.02	0.13	0.49	1.71	9.28
AMC	2	0.97	1.76	0.55	0.55	1.13	1.72	1.72
ATC	22	0.33	3.26	0.08	0.10	0.22	1.08	6.87
CHO	13	0.47	4.41	0.03	0.11	0.29	2.07	13.14
CHP	12	0.79	2.59	0.11	0.31	0.93	2.05	2.97
COL	36	0.57	2.92	0.04	0.19	0.77	1.66	4.46
MID	19	0.55	3.11	0.08	0.18	0.82	1.70	3.40
MIS	59	0.55	3.61	0.01	0.15	0.56	2.00	9.57
MOU	39	0.43	3.68	0.02	0.12	0.58	1.58	7.33
NED	22	0.61	3.83	0.02	0.16	0.66	2.35	38.04
NIO	13	0.75	3.36	0.05	0.22	0.95	2.51	4.27
RED	15	0.68	2.04	0.20	0.34	0.65	1.39	4.09
RGC	4	0.84	2.17	0.22	0.39	1.22	1.82	1.50
RGR	103	0.58	3.77	0.02	0.15	0.59	2.19	214.75
RIO	25	0.58	2.74	0.10	0.21	0.53	1.59	4.83
TAMAMI	449	0.54	3.48	0.01	0.16	0.58	1.88	214.75

Ackers ve White (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	0.56	1.92	0.27	0.29	0.36	1.08	1.42
BRO	4	1.10	1.37	0.69	0.80	1.17	1.50	1.58
CHY	1	0.59	1.00	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
COS	7	0.43	2.29	0.09	0.19	0.61	0.98	1.14
DAV	29	1.01	2.39	0.07	0.42	1.05	2.42	9.10
EPA	5	1.61	1.80	0.82	0.90	1.58	2.91	3.90
EPB	7	0.74	1.53	0.41	0.48	0.70	1.13	1.45
FOL	3	1.37	1.86	0.57	0.74	2.04	2.54	2.20
FRA	5	0.45	3.13	0.05	0.14	0.60	1.42	1.34
GUY	74	0.85	2.47	0.07	0.34	1.00	2.09	11.29
JOR	4	0.41	1.84	0.16	0.23	0.47	0.76	0.85
KEN	6	1.09	3.54	0.09	0.31	1.31	3.84	4.01
KNB	4	1.47	2.14	0.73	0.68	1.10	3.15	5.29
LAU	4	0.45	6.20	0.02	0.07	1.19	2.78	1.52
MUT	5	1.11	3.35	0.11	0.33	1.53	3.71	3.26
NOR	17	0.60	2.63	0.10	0.23	0.51	1.59	3.76
OBR	6	0.64	3.47	0.06	0.18	0.69	2.21	2.88
OJK	8	0.73	2.35	0.22	0.31	0.79	1.73	3.13
PRA	8	0.57	1.73	0.25	0.33	0.62	0.99	1.13
SIN	21	0.84	1.94	0.27	0.43	0.78	1.62	3.13
STE	22	0.96	2.07	0.25	0.46	1.05	1.98	4.63
STR	5	0.60	2.42	0.21	0.25	0.84	1.45	2.15
TAY	7	1.10	2.12	0.24	0.52	1.31	2.32	2.74
VAB	8	0.57	3.14	0.04	0.18	0.67	1.80	2.41
VAH	2	1.17	1.96	0.60	0.60	1.44	2.29	2.29
WLM	3	0.41	2.46	0.15	0.17	0.36	1.02	1.34
WLS	32	0.85	2.32	0.06	0.36	0.84	1.97	3.59
WSA	72	0.80	2.51	0.04	0.32	0.91	2.00	7.12
WSB	5	0.75	1.69	0.37	0.44	0.80	1.27	1.33
WSS	4	1.33	1.72	0.64	0.78	1.29	2.29	2.96
TAMAMI	387	0.81	2.49	0.02	0.32	0.91	2.01	11.29

Ackers ve White (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.60	3.19	0.03	0.19	0.57	1.92	69.42
AMC	2	0.34	1.62	0.21	0.21	0.38	0.55	0.55
ATC	22	0.49	2.91	0.06	0.17	0.42	1.43	6.93
CHO	13	0.67	2.66	0.10	0.25	0.60	1.78	4.89
CHP	12	0.83	2.65	0.13	0.31	1.01	2.19	4.47
COL	36	0.60	2.52	0.06	0.24	0.63	1.51	2.54
MID	19	0.61	2.84	0.02	0.22	0.69	1.74	2.18
MIS	59	0.64	3.44	0.00	0.19	0.80	2.22	10.22
MOU	39	0.57	4.00	0.00	0.14	0.70	2.28	3.65
NED	22	0.77	2.30	0.16	0.33	0.73	1.77	4.56
NIO	13	0.76	2.10	0.10	0.36	0.88	1.60	2.01
RED	15	0.97	2.00	0.41	0.49	0.86	1.94	6.67
RGC	4	0.56	2.27	0.17	0.25	0.60	1.27	1.67
RGR	103	0.89	2.97	0.04	0.30	0.98	2.65	50.28
RIO	25	1.07	2.57	0.11	0.42	1.25	2.74	5.03
TAMAMI	449	0.71	3.03	0.00	0.23	0.77	2.14	69.42

Yang (Lab)								
Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	1.34	2.23	0.51	0.60	0.84	2.98	6.18
BEN	1	4.16	1.00	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16
BRO	4	1.85	2.57	0.90	0.72	1.20	4.77	9.33
CHY	1	2.24	1.00	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
COS	7	1.22	1.86	0.57	0.66	0.94	2.27	3.87
DAV	29	1.75	2.05	0.49	0.85	1.52	3.58	8.62
EPA	5	1.17	1.40	0.65	0.84	1.36	1.64	1.68
EPB	7	2.16	1.77	1.27	1.22	1.78	3.83	7.75
FOL	3	1.21	2.45	0.51	0.49	0.83	2.96	4.16
FRA	5	1.68	1.75	0.63	0.96	1.93	2.95	3.21
GUY	74	1.37	1.78	0.35	0.77	1.33	2.43	6.27
JOR	4	2.74	1.88	1.28	1.45	2.91	5.16	6.20
KEN	6	1.20	1.78	0.51	0.67	1.08	2.14	3.05
KNB	4	2.05	2.11	0.78	0.97	2.05	4.33	5.88
LAU	4	1.51	3.34	0.28	0.45	2.44	5.06	5.53
MUT	5	2.09	2.35	1.07	0.89	1.41	4.91	10.64
NOR	17	1.37	1.94	0.36	0.71	1.37	2.67	5.28
OBR	6	2.28	2.21	0.61	1.03	2.03	5.02	8.48
OJK	8	2.27	1.91	0.95	1.19	2.55	4.34	6.08
PRA	8	1.21	2.00	0.45	0.61	1.15	2.42	5.11
SIN	21	1.48	2.19	0.40	0.68	1.14	3.25	6.70
STE	22	1.36	2.04	0.48	0.67	1.13	2.78	6.88
STR	5	1.20	1.68	0.65	0.72	1.07	2.02	2.35
TAY	7	1.07	1.53	0.48	0.70	1.03	1.64	1.68
VAB	8	1.16	1.37	0.83	0.85	1.17	1.60	2.23
VAH	2	2.03	1.56	1.30	1.30	2.23	3.17	3.17
WLM	3	1.53	1.22	1.16	1.25	1.73	1.86	1.79
WLS	32	1.40	1.88	0.45	0.74	1.11	2.64	4.69
WSA	72	1.31	2.03	0.23	0.65	1.07	2.67	9.30
WSB	5	1.85	2.82	0.60	0.66	0.94	5.23	6.68
WSS	4	1.38	1.42	0.79	0.97	1.53	1.97	2.03
TAMAMI	388	1.45	2.01	0.23	0.72	1.27	2.91	10.64

Yang (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.34	2.91	0.03	0.12	0.35	0.98	4.10
AMC	2	0.45	1.68	0.27	0.27	0.51	0.76	0.76
ATC	22	0.28	2.74	0.03	0.10	0.33	0.77	4.09
CHO	13	0.38	2.56	0.09	0.15	0.39	0.97	1.58
CHP	12	0.57	2.45	0.10	0.23	0.87	1.41	1.74
COL	36	0.41	2.99	0.04	0.14	0.38	1.21	3.47
MID	19	0.38	2.44	0.03	0.15	0.52	0.92	1.43
MIS	59	0.41	2.74	0.02	0.15	0.49	1.12	2.24
MOU	39	0.31	3.04	0.02	0.10	0.30	0.94	1.44
NED	22	0.47	2.39	0.09	0.20	0.43	1.12	6.51
NIO	13	0.52	2.39	0.05	0.22	0.69	1.23	1.39
RED	15	0.52	1.84	0.20	0.28	0.51	0.95	1.83
RGC	4	0.37	2.77	0.06	0.13	0.59	1.02	0.83
RGR	103	0.45	2.96	0.02	0.15	0.50	1.33	11.79
RIO	25	0.51	2.56	0.06	0.20	0.42	1.30	2.98
TAMAMI	449	0.40	2.81	0.02	0.14	0.45	1.13	11.79

Molinas ve Wu (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	3.69	2.85	0.62	1.30	3.16	10.52	12.75
BEN	1	22.90	1.00	22.90	22.90	22.90	22.90	22.90
BRO	4	5.10	2.93	2.06	1.74	3.55	14.95	30.06
CHY	1	6.52	1.00	6.52	6.52	6.52	6.52	6.52
COS	7	2.69	2.27	0.57	1.18	2.77	6.10	9.52
DAV	29	2.80	2.34	0.61	1.20	2.32	6.55	14.66
EPA	5	1.48	1.68	0.58	0.88	1.58	2.48	2.83
EPB	7	6.34	2.42	2.22	2.62	4.68	15.34	27.29
FOL	3	2.93	1.92	1.76	1.53	1.94	5.63	7.37
FRA	5	4.20	1.96	2.05	2.14	2.98	8.22	13.56
GUY	74	2.55	2.39	0.24	1.07	2.35	6.10	18.27
JOR	4	5.83	2.22	2.15	2.63	5.89	12.91	17.79
KEN	6	3.25	2.94	0.49	1.10	3.60	9.55	13.03
KNB	4	6.39	2.08	3.05	3.07	5.62	13.29	19.65
LAU	4	5.61	3.50	0.78	1.60	8.00	19.62	22.56
MUT	5	3.77	3.62	0.70	1.04	2.56	13.64	29.43
NOR	17	3.51	2.98	0.54	1.18	3.12	10.46	17.25
OBR	6	5.19	2.64	1.75	1.97	4.17	13.70	22.88
OJK	8	4.34	3.24	0.88	1.34	6.60	14.07	16.55
PRA	8	1.75	2.41	0.52	0.73	2.03	4.23	9.64
SIN	21	3.34	2.86	0.60	1.17	2.83	9.56	37.98
STE	22	3.11	2.69	0.47	1.16	2.24	8.37	26.38
STR	5	2.77	1.65	2.00	1.68	2.09	4.57	7.45
TAY	7	1.89	2.20	0.45	0.86	2.07	4.17	4.68
VAB	8	3.44	2.59	0.64	1.33	3.41	8.91	14.66
VAH	2	4.94	3.19	1.55	1.55	8.66	15.77	15.77
WLM	3	5.24	1.37	3.38	3.83	6.17	7.17	6.90
WLS	32	2.76	2.27	0.46	1.21	2.94	6.26	10.01
WSA	72	2.64	2.70	0.09	0.98	2.71	7.13	31.99
WSB	5	6.91	2.99	0.80	2.31	11.76	20.67	15.75
WSS	4	2.34	1.34	1.64	1.74	2.33	3.15	3.49
TAMAMI	388	3.03	2.66	0.09	1.14	2.77	8.06	37.98

Molinas ve Wu (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.93	2.57	0.04	0.36	0.92	2.38	7.19
AMC	2	1.01	1.49	0.67	0.67	1.09	1.50	1.50
ATC	22	0.81	2.22	0.25	0.37	0.78	1.81	6.20
CHO	13	1.32	2.50	0.18	0.53	1.61	3.30	5.59
CHP	12	0.92	2.05	0.41	0.45	0.74	1.88	3.87
COL	36	1.22	2.80	0.18	0.44	1.07	3.43	8.06
MID	19	0.76	2.36	0.18	0.32	0.65	1.78	4.18
MIS	59	1.12	2.68	0.10	0.42	0.96	3.00	7.21
MOU	39	1.10	2.15	0.21	0.51	1.07	2.36	14.13
NED	22	1.23	2.71	0.23	0.45	1.26	3.34	10.25
NIO	13	0.95	1.90	0.27	0.50	0.91	1.80	3.06
RED	15	1.24	2.21	0.53	0.56	0.98	2.75	10.71
RGC	4	0.63	1.27	0.43	0.50	0.69	0.81	0.80
RGR	103	1.09	2.34	0.14	0.47	0.98	2.55	14.01
RIO	25	1.07	2.48	0.10	0.43	1.11	2.66	5.51
TAMAMI	449	1.05	2.46	0.04	0.43	0.99	2.58	14.13

van Rijn (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	7	0.73	2.65	0.11	0.28	0.66	1.94	1.97
BRO	4	0.68	1.80	0.28	0.38	0.81	1.22	1.24
CHY	1	0.25	1.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
COS	7	0.31	1.89	0.08	0.16	0.37	0.58	0.71
DAV	28	0.40	2.39	0.02	0.17	0.42	0.96	3.38
EPA	5	0.39	1.90	0.23	0.20	0.31	0.74	1.37
EPB	7	0.43	2.47	0.09	0.18	0.40	1.07	1.28
FOL	3	0.54	2.14	0.30	0.25	0.33	1.16	1.59
FRA	5	0.83	1.90	0.40	0.44	0.70	1.56	1.85
GUY	74	0.33	2.41	0.02	0.14	0.29	0.81	2.39
JOR	4	0.15	1.98	0.07	0.07	0.18	0.29	0.31
KEN	6	0.83	1.33	0.50	0.62	0.91	1.10	1.24
KNB	4	0.33	2.22	0.10	0.15	0.35	0.73	0.96
LAU	4	0.34	1.34	0.25	0.25	0.32	0.45	0.52
MUT	2	0.75	1.31	0.57	0.57	0.78	0.99	0.99
NOR	17	0.26	6.29	0.00	0.04	0.36	1.62	3.51
OBR	6	0.20	1.57	0.09	0.13	0.21	0.32	0.40
OJK	8	0.27	2.46	0.04	0.11	0.28	0.65	1.09
PRA	8	0.20	1.62	0.07	0.12	0.20	0.32	0.35
SIN	21	0.45	2.49	0.08	0.18	0.38	1.13	2.29
STE	22	0.30	2.65	0.03	0.12	0.33	0.81	2.38
STR	5	0.56	3.58	0.06	0.16	0.94	1.99	2.34
TAY	7	0.35	2.37	0.06	0.15	0.31	0.82	1.30
VAB	8	0.30	1.67	0.12	0.18	0.33	0.50	0.77
VAH	2	0.50	1.93	0.26	0.26	0.61	0.96	0.96
WLM	3	0.23	3.87	0.04	0.06	0.28	0.91	1.11
WLS	32	0.32	2.52	0.01	0.13	0.34	0.81	2.04
WSA	68	0.37	3.14	0.01	0.12	0.39	1.18	3.05
WSB	5	0.45	2.58	0.12	0.17	0.37	1.17	2.00
WSS	4	0.75	1.48	0.46	0.51	0.72	1.11	1.37
TAMAMI	377	0.36	2.76	0.00	0.13	0.35	1.00	3.51

van Rijn (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.36	3.23	0.02	0.11	0.41	1.16	3.99
AMC	2	0.53	2.04	0.26	0.26	0.66	1.07	1.07
ATC	22	0.30	2.69	0.05	0.11	0.29	0.82	3.86
CHO	13	0.65	3.10	0.11	0.21	0.59	2.01	4.54
CHP	12	0.39	2.96	0.08	0.13	0.42	1.16	1.77
COL	35	0.58	4.47	0.01	0.13	0.49	2.58	7.44
MID	19	0.27	2.81	0.02	0.10	0.32	0.76	1.56
MIS	59	0.49	3.66	0.01	0.13	0.52	1.80	4.28
MOU	39	0.48	2.55	0.07	0.19	0.42	1.23	3.38
NED	21	0.33	3.70	0.02	0.09	0.30	1.22	13.12
NIO	13	0.44	2.19	0.08	0.20	0.51	0.96	1.04
RED	15	0.51	2.50	0.12	0.20	0.45	1.27	4.60
RGC	4	0.67	3.78	0.13	0.18	0.55	2.55	5.29
RGR	99	0.46	3.82	0.00	0.12	0.46	1.77	37.57
RIO	25	0.47	3.43	0.04	0.14	0.61	1.62	4.62
TAMAMI	443	0.44	3.43	0.00	0.13	0.44	1.50	37.57

Shu-Qing Yang (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	3.47	2.32	1.17	1.50	2.90	8.05	14.18
BEN	1	19.07	1.00	19.07	19.07	19.07	19.07	19.07
BRO	4	6.53	3.01	2.74	2.17	3.98	19.66	42.89
CHY	1	8.64	1.00	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64
COS	7	3.25	1.85	1.13	1.76	3.11	6.02	6.43
DAV	29	3.23	2.34	0.74	1.38	2.41	7.55	15.53
EPA	5	1.89	1.33	1.26	1.42	1.90	2.52	3.00
EPB	7	6.06	2.01	1.75	3.02	6.35	12.17	17.69
FOL	3	2.97	2.19	1.67	1.36	1.74	6.51	9.01
FRA	5	3.63	2.19	1.32	1.66	3.52	7.94	14.43
GUY	74	2.95	2.22	0.63	1.33	2.71	6.54	21.81
JOR	4	8.08	2.09	3.31	3.87	7.22	16.86	25.22
KEN	6	2.54	2.43	0.85	1.05	3.02	6.17	7.47
KNB	4	7.85	2.16	3.07	3.63	9.13	16.98	19.98
LAU	4	5.67	3.30	1.33	1.72	7.68	18.70	24.85
MUT	5	3.85	3.32	1.21	1.16	2.21	12.80	35.02
NOR	17	3.42	2.93	0.47	1.17	3.89	10.01	25.22
OBR	6	7.05	2.49	2.87	2.84	5.73	17.54	25.02
OJK	8	5.26	3.22	1.44	1.63	6.37	16.92	23.53
PRA	8	2.40	2.27	1.14	1.06	1.98	5.47	17.68
SIN	21	3.68	2.21	0.98	1.67	3.67	8.12	14.97
STE	22	3.33	2.50	0.85	1.33	2.64	8.34	28.60
STR	5	2.86	1.99	1.52	1.44	2.24	5.70	10.87
TAY	7	1.89	1.79	0.69	1.05	1.80	3.39	3.73
VAB	8	3.01	1.99	0.98	1.51	3.18	6.00	7.53
VAH	2	4.96	3.54	1.40	1.40	9.47	17.54	17.54
WLM	3	6.36	1.38	4.15	4.60	6.84	8.78	9.06
WLS	32	3.18	2.05	0.88	1.55	3.32	6.52	15.30
WSA	72	2.95	2.24	0.40	1.32	2.77	6.61	30.48
WSB	5	6.10	2.61	1.24	2.33	7.34	15.95	17.46
WSS	4	2.01	1.44	1.34	1.40	1.87	2.89	3.53
TAMAMI	388	3.34	2.40	0.40	1.39	2.97	8.04	42.89

Shu-Qing Yang (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.71	2.53	0.06	0.28	0.60	1.78	4.74
AMC	2	1.20	1.58	0.76	0.76	1.33	1.90	1.90
ATC	22	0.60	1.98	0.23	0.30	0.49	1.19	5.37
CHO	13	0.89	2.37	0.20	0.38	0.71	2.11	3.16
CHP	12	1.00	2.12	0.24	0.47	1.17	2.11	2.81
COL	36	0.98	3.04	0.22	0.32	0.67	2.97	9.17
MID	19	0.68	2.08	0.16	0.33	0.58	1.42	2.29
MIS	59	0.87	2.60	0.16	0.34	0.71	2.27	8.06
MOU	39	0.75	2.34	0.08	0.32	0.68	1.76	4.36
NED	22	1.01	2.60	0.20	0.39	0.80	2.63	19.05
NIO	13	0.91	1.85	0.25	0.49	0.83	1.68	2.89
RED	15	0.97	1.69	0.48	0.57	0.86	1.64	3.17
RGC	4	0.80	1.40	0.47	0.57	0.87	1.12	1.17
RGR	103	0.85	2.45	0.07	0.35	0.82	2.08	14.41
RIO	25	0.83	2.63	0.11	0.32	0.74	2.19	5.58
TAMAMI	449	0.83	2.46	0.06	0.34	0.75	2.03	19.05

Acaroğlu (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	0.82	3.42	0.22	0.24	0.60	2.80	9.66
BEN	1	7.92	1.00	7.92	7.92	7.92	7.92	7.92
BRO	4	2.39	4.26	0.82	0.56	1.23	10.19	28.40
CHY	1	3.75	1.00	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
COS	7	1.36	1.62	0.61	0.84	1.54	2.21	2.55
DAV	29	1.04	4.21	0.04	0.25	0.95	4.36	15.02
EPA	5	0.77	1.56	0.45	0.49	0.67	1.20	1.69
EPB	7	1.69	3.17	0.17	0.53	2.02	5.37	8.13
FOL	3	0.71	2.06	0.38	0.34	0.47	1.46	1.95
FRA	5	0.68	5.62	0.09	0.12	0.41	3.80	14.91
GUY	74	1.03	3.10	0.10	0.33	0.97	3.18	11.32
JOR	4	4.93	2.08	2.69	2.37	3.57	10.24	17.20
KEN	6	0.42	5.01	0.04	0.08	0.57	2.13	6.30
KNB	4	3.40	3.29	0.63	1.03	4.48	11.19	14.60
LAU	4	1.94	4.43	0.25	0.44	3.87	8.61	9.36
MUT	5	1.36	4.75	0.13	0.29	1.25	6.43	17.83
NOR	17	0.95	4.88	0.07	0.20	0.98	4.65	14.89
OBR	6	3.34	2.69	0.75	1.24	3.87	9.00	10.73
OJK	8	2.18	6.46	0.09	0.34	3.84	14.11	15.33
PRA	8	1.15	3.56	0.18	0.32	1.33	4.10	15.49
SIN	21	1.33	2.56	0.36	0.52	1.12	3.41	10.59
STE	22	1.17	3.15	0.24	0.37	0.90	3.70	10.73
STR	5	0.81	3.30	0.21	0.25	0.74	2.68	5.58
TAY	7	0.53	2.37	0.10	0.22	0.49	1.25	2.43
VAB	8	0.77	3.13	0.05	0.25	1.01	2.42	2.67
VAH	2	1.55	4.33	0.36	0.36	3.54	6.72	6.72
WLM	3	2.17	2.17	0.73	1.00	3.50	4.72	4.03
WLS	32	1.00	2.82	0.12	0.36	0.88	2.83	11.77
WSA	72	0.93	3.40	0.06	0.27	0.89	3.17	28.85
WSB	5	1.79	3.51	0.49	0.51	0.82	6.28	10.11
WSS	4	0.34	3.28	0.10	0.10	0.53	1.10	1.27
TAMAMI	388	1.09	3.59	0.04	0.30	0.96	3.90	28.85

Acaroğlu (Saha)								
Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.56	3.59	0.03	0.16	0.57	2.02	11.67
AMC	2	1.12	1.78	0.63	0.63	1.31	2.00	2.00
ATC	22	0.39	3.26	0.09	0.12	0.27	1.26	8.08
CHO	13	0.55	4.42	0.04	0.12	0.35	2.43	15.17
CHP	12	0.93	2.57	0.14	0.36	1.10	2.40	3.62
COL	36	0.68	2.90	0.05	0.23	0.92	1.97	5.13
MID	19	0.64	3.08	0.09	0.21	0.95	1.98	3.99
MIS	59	0.66	3.61	0.02	0.18	0.66	2.37	11.74
MOU	39	0.51	3.64	0.03	0.14	0.66	1.85	8.44
NED	22	0.72	3.82	0.03	0.19	0.78	2.75	43.56
NIO	13	0.89	3.30	0.06	0.27	1.13	2.95	5.41
RED	15	0.80	2.04	0.24	0.39	0.77	1.63	4.79
RGC	4	1.00	2.16	0.27	0.46	1.48	2.15	1.72
RGR	103	0.69	3.77	0.02	0.18	0.68	2.60	255.17
RIO	25	0.69	2.78	0.12	0.25	0.62	1.92	6.20
TAMAMI	449	0.64	3.47	0.02	0.18	0.67	2.22	255.17

Shen ve Hung (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	1.21	1.47	0.75	0.82	1.06	1.77	2.79
BEN	1	3.38	1.00	3.38	3.38	3.38	3.38	3.38
BRO	4	1.80	1.88	1.10	0.95	1.34	3.38	5.31
CHY	1	2.36	1.00	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
COS	7	1.00	1.64	0.39	0.61	1.03	1.65	1.93
DAV	29	1.34	1.89	0.49	0.71	1.09	2.54	9.58
EPA	5	1.25	1.22	0.90	1.02	1.27	1.53	1.66
EPB	7	1.64	1.50	0.85	1.09	1.56	2.47	3.60
FOL	3	1.31	1.86	0.70	0.70	1.05	2.45	3.07
FRA	5	0.98	1.19	0.75	0.82	0.97	1.17	1.31
GUY	74	1.16	1.64	0.30	0.71	1.05	1.90	5.50
JOR	4	1.97	1.60	0.95	1.23	2.13	3.16	3.54
KEN	6	0.93	1.84	0.52	0.50	0.85	1.71	3.32
KNB	4	2.06	1.92	1.08	1.07	1.65	3.95	6.10
LAU	4	1.35	3.13	0.25	0.43	1.94	4.23	4.85
MUT	5	1.58	2.35	0.57	0.67	1.36	3.72	7.34
NOR	17	1.12	1.78	0.52	0.63	0.94	1.99	4.21
OBR	6	1.91	1.91	0.81	1.00	1.92	3.65	5.58
OJK	8	1.60	1.77	0.65	0.90	1.73	2.84	4.71
PRA	8	0.90	1.91	0.35	0.47	0.91	1.71	3.29
SIN	21	1.19	1.88	0.21	0.63	1.21	2.23	4.31
STE	22	1.27	1.79	0.52	0.71	1.13	2.28	4.94
STR	5	0.97	1.37	0.63	0.71	0.88	1.34	1.65
TAY	7	1.18	1.50	0.62	0.78	1.23	1.77	1.95
VAB	8	1.01	1.29	0.54	0.78	1.07	1.30	1.30
VAH	2	1.84	1.45	1.28	1.28	1.97	2.66	2.66
WLM	3	1.29	1.30	0.89	0.99	1.52	1.67	1.57
WLS	32	1.22	1.66	0.38	0.73	1.21	2.02	4.27
WSA	72	1.12	1.79	0.10	0.63	1.05	2.00	9.09
WSB	5	1.64	2.08	0.59	0.79	1.21	3.41	4.46
WSS	4	1.12	1.57	0.74	0.71	0.94	1.75	2.38
TAMAMI	388	1.22	1.79	0.10	0.68	1.10	2.18	9.58

Shen ve Hung (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.32	4.06	0.01	0.08	0.40	1.30	3.66
AMC	2	0.46	1.50	0.31	0.31	0.50	0.70	0.70
ATC	22	0.26	4.81	0.00	0.05	0.36	1.25	4.51
CHO	13	0.41	2.55	0.10	0.16	0.37	1.05	2.17
CHP	12	0.68	2.58	0.12	0.27	1.03	1.77	2.22
COL	36	0.35	4.35	0.01	0.08	0.44	1.51	3.12
MID	19	0.36	3.41	0.01	0.10	0.57	1.21	1.55
MIS	59	0.39	3.82	0.00	0.10	0.48	1.49	2.93
MOU	39	0.22	6.23	0.00	0.04	0.28	1.37	1.54
NED	22	0.50	2.46	0.10	0.20	0.57	1.23	3.25
NIO	13	0.59	2.55	0.04	0.23	0.83	1.50	1.74
RED	15	0.60	2.16	0.15	0.28	0.68	1.29	2.97
RGC	4	0.23	7.93	0.01	0.03	0.71	1.85	0.91
RGR	103	0.44	4.04	0.00	0.11	0.57	1.76	5.97
RIO	25	0.62	2.72	0.09	0.23	0.58	1.68	3.64
TAMAMI	449	0.39	4.01	0.00	0.10	0.53	1.55	5.97

Brownlie (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	1.21	1.29	0.92	0.94	1.15	1.57	1.88
BEN	1	5.07	1.00	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07
BRO	4	1.36	1.64	0.87	0.83	1.16	2.23	3.04
CHY	1	2.09	1.00	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
COS	7	0.82	1.92	0.21	0.42	0.89	1.57	1.85
DAV	29	1.14	1.85	0.36	0.61	1.10	2.10	7.72
EPA	5	1.06	1.41	0.71	0.75	1.06	1.49	1.91
EPB	7	1.52	1.42	0.82	1.07	1.39	2.16	2.44
FOL	3	1.38	1.69	0.92	0.82	0.99	2.33	2.88
FRA	5	0.81	1.39	0.50	0.58	0.77	1.12	1.38
GUY	74	1.03	1.68	0.29	0.61	1.02	1.74	4.54
JOR	4	1.23	1.71	0.58	0.72	1.23	2.11	2.65
KEN	6	1.21	1.78	0.59	0.68	0.97	2.15	3.42
KNB	4	1.98	1.79	1.30	1.11	1.50	3.55	5.37
LAU	4	1.59	2.43	0.56	0.66	1.89	3.86	4.77
MUT	5	1.63	2.50	0.46	0.65	1.29	4.08	7.00
NOR	17	1.01	1.78	0.31	0.57	0.98	1.80	4.68
OBR	6	1.27	1.64	0.68	0.78	1.33	2.08	2.39
OJK	8	1.21	1.75	0.64	0.69	1.12	2.13	3.59
PRA	8	0.72	1.70	0.29	0.43	0.71	1.23	2.01
SIN	21	1.01	2.08	0.19	0.48	1.10	2.10	3.69
STE	22	1.23	1.90	0.38	0.64	1.24	2.34	4.72
STR	5	0.79	1.37	0.46	0.57	0.98	1.07	1.03
TAY	7	1.20	1.47	0.73	0.82	1.04	1.76	2.23
VAB	8	1.03	1.41	0.61	0.73	1.04	1.45	1.87
VAH	2	1.97	1.42	1.38	1.38	2.09	2.80	2.80
WLM	3	1.16	1.35	0.77	0.86	1.26	1.56	1.59
WLS	32	1.08	1.66	0.27	0.65	1.11	1.79	3.45
WSA	72	0.96	1.94	0.04	0.50	0.95	1.86	6.26
WSB	5	1.72	1.42	1.11	1.22	1.77	2.44	2.94
WSS	4	1.16	1.62	0.74	0.72	0.97	1.88	2.61
TAMAMI	388	1.09	1.83	0.04	0.60	1.04	1.99	7.72

Brownlie (Saha)								
Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.55	2.41	0.03	0.23	0.56	1.33	2.24
AMC	2	0.40	1.54	0.26	0.26	0.43	0.61	0.61
ATC	22	0.47	2.22	0.15	0.21	0.36	1.04	5.09
CHO	13	0.62	2.28	0.11	0.27	0.63	1.41	2.89
CHP	12	0.68	2.31	0.15	0.30	0.86	1.58	2.29
COL	36	0.60	2.03	0.10	0.29	0.60	1.22	2.79
MID	19	0.54	2.24	0.06	0.24	0.50	1.22	2.24
MIS	59	0.61	2.14	0.07	0.28	0.68	1.30	3.56
MOU	39	0.55	2.31	0.02	0.24	0.65	1.27	2.13
NED	22	0.65	2.15	0.15	0.30	0.60	1.40	3.33
NIO	13	0.70	1.73	0.21	0.41	0.79	1.21	1.54
RED	15	0.82	1.99	0.33	0.41	0.66	1.62	5.68
RGC	4	0.49	1.39	0.34	0.35	0.50	0.68	0.73
RGR	103	0.70	2.16	0.08	0.32	0.72	1.50	7.56
RIO	25	0.75	2.31	0.10	0.33	1.01	1.74	2.67
TAMAMI	449	0.62	2.22	0.02	0.28	0.64	1.37	7.56

Karim ve Kennedy (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	0.63	1.63	0.24	0.38	0.60	1.03	1.71
BRO	4	2.04	2.66	0.68	0.77	2.15	5.43	7.89
CHY	1	0.65	1.00	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
COS	7	0.79	1.76	0.28	0.45	0.80	1.39	1.68
DAV	29	0.76	2.08	0.23	0.37	0.67	1.59	5.86
EPA	5	0.53	1.67	0.26	0.32	0.49	0.89	1.30
EPB	7	0.89	1.75	0.31	0.51	0.87	1.57	2.04
FOL	3	0.85	2.03	0.33	0.42	1.08	1.73	1.75
FRA	5	0.56	2.51	0.23	0.22	0.43	1.42	3.27
GUY	74	0.72	2.04	0.08	0.35	0.69	1.47	4.14
JOR	4	1.43	2.09	0.69	0.69	1.12	2.98	4.85
KEN	6	0.85	1.78	0.36	0.48	0.83	1.51	2.33
KNB	4	0.84	3.18	0.16	0.26	0.86	2.66	4.22
LAU	4	1.98	2.14	0.55	0.92	2.73	4.25	3.87
MUT	5	0.84	2.83	0.25	0.30	0.74	2.36	5.26
NOR	17	0.76	2.61	0.17	0.29	0.75	1.98	4.75
OBR	6	1.13	2.21	0.45	0.51	1.00	2.51	4.24
OJK	8	1.47	2.30	0.34	0.64	1.54	3.39	4.32
PRA	8	0.46	2.59	0.14	0.18	0.44	1.20	3.62
SIN	21	0.75	2.00	0.23	0.38	0.73	1.50	2.91
STE	22	0.87	1.97	0.35	0.44	0.79	1.72	4.36
STR	5	0.61	2.05	0.37	0.30	0.39	1.25	2.40
TAY	7	0.71	1.85	0.21	0.39	0.79	1.31	1.65
VAB	8	0.55	1.64	0.24	0.33	0.54	0.90	1.14
VAH	2	1.57	1.84	0.85	0.85	1.87	2.89	2.89
WLM	3	1.22	1.45	0.73	0.84	1.41	1.76	1.74
WLS	32	0.73	1.84	0.21	0.40	0.70	1.35	3.02
WSA	72	0.68	2.07	0.08	0.33	0.65	1.40	6.13
WSB	5	0.99	1.82	0.56	0.55	0.68	1.80	2.51
WSS	4	0.56	2.40	0.23	0.23	0.51	1.33	2.04
TAMAMI	387	0.76	2.15	0.08	0.35	0.70	1.63	7.89

Karim ve Kennedy (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.47	2.75	0.03	0.17	0.55	1.29	4.40
AMC	2	0.41	1.58	0.26	0.26	0.45	0.64	0.64
ATC	22	0.37	2.47	0.09	0.15	0.30	0.91	3.12
CHO	13	0.51	2.51	0.10	0.21	0.58	1.29	2.53
CHP	12	0.70	2.62	0.15	0.27	0.90	1.83	2.59
COL	36	0.52	2.50	0.05	0.21	0.61	1.31	1.99
MID	19	0.48	2.33	0.04	0.21	0.43	1.13	1.81
MIS	59	0.53	2.72	0.01	0.19	0.58	1.43	2.77
MOU	39	0.46	2.77	0.03	0.17	0.57	1.28	2.50
NED	22	0.59	2.41	0.13	0.25	0.54	1.43	6.76
NIO	13	0.66	2.58	0.08	0.26	0.74	1.70	4.73
RED	15	0.69	1.86	0.30	0.37	0.60	1.29	3.24
RGC	4	0.46	1.77	0.19	0.26	0.56	0.81	0.81
RGR	103	0.62	2.53	0.04	0.25	0.74	1.57	5.97
RIO	25	0.73	2.39	0.10	0.31	0.75	1.75	3.21
TAMAMI	449	0.54	2.59	0.01	0.21	0.59	1.41	6.76

Karim (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	0.66	3.05	0.16	0.22	0.61	2.01	4.35
BEN	1	4.59	1.00	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59
BRO	4	0.76	3.06	0.23	0.25	0.56	2.32	4.73
CHY	1	0.97	1.00	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
COS	7	0.59	2.55	0.14	0.23	0.61	1.50	2.17
DAV	29	0.79	2.74	0.13	0.29	0.98	2.15	6.28
EPA	5	0.40	2.44	0.14	0.16	0.39	0.98	1.38
EPB	7	1.39	2.32	0.48	0.60	1.10	3.22	8.33
FOL	3	0.63	2.16	0.28	0.29	0.51	1.36	1.77
FRA	5	1.22	1.93	0.35	0.63	1.43	2.36	2.38
GUY	74	0.64	2.14	0.18	0.30	0.59	1.38	4.23
JOR	4	1.10	3.09	0.27	0.36	1.77	3.41	3.64
KEN	6	0.70	2.00	0.20	0.35	0.78	1.41	1.60
KNB	4	0.86	1.99	0.37	0.43	1.03	1.71	1.86
LAU	4	0.82	3.65	0.21	0.22	1.38	2.99	3.51
MUT	5	1.33	3.03	0.24	0.44	1.60	4.04	7.08
NOR	17	0.68	2.22	0.12	0.31	0.68	1.50	2.45
OBR	6	0.97	3.05	0.23	0.32	1.04	2.94	5.35
OJK	8	1.18	3.00	0.14	0.39	1.59	3.53	4.14
PRA	8	0.61	2.36	0.17	0.26	0.66	1.43	1.86
SIN	21	0.73	2.58	0.14	0.28	0.59	1.88	6.40
STE	22	0.70	2.56	0.17	0.27	0.56	1.80	4.43
STR	5	0.63	2.16	0.19	0.29	0.74	1.36	1.99
TAY	7	0.39	2.07	0.18	0.19	0.28	0.82	1.94
VAB	8	0.84	2.36	0.20	0.35	0.89	1.97	4.66
VAH	2	1.09	1.75	0.62	0.62	1.27	1.91	1.91
WLM	3	0.74	1.18	0.58	0.63	0.83	0.87	0.84
WLS	32	0.63	2.18	0.18	0.29	0.52	1.37	3.17
WSA	72	0.61	2.63	0.04	0.23	0.53	1.59	11.20
WSB	5	1.12	3.58	0.24	0.31	0.70	4.02	6.69
WSS	4	0.82	1.91	0.37	0.43	0.93	1.57	1.76
TAMAMI	388	0.70	2.54	0.04	0.28	0.62	1.78	11.20

Karim (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.38	2.51	0.01	0.15	0.38	0.95	6.36
AMC	2	0.33	1.64	0.20	0.20	0.37	0.54	0.54
ATC	22	0.36	2.13	0.08	0.17	0.32	0.76	1.97
CHO	13	0.47	2.88	0.05	0.16	0.41	1.35	3.00
CHP	12	0.35	2.01	0.14	0.18	0.32	0.71	1.55
COL	36	0.38	2.35	0.07	0.16	0.36	0.89	2.19
MID	19	0.34	2.53	0.04	0.13	0.34	0.85	1.96
MIS	59	0.41	2.69	0.03	0.15	0.36	1.10	4.09
MOU	39	0.43	2.53	0.04	0.17	0.46	1.09	4.46
NED	22	0.45	2.86	0.08	0.16	0.31	1.30	4.61
NIO	13	0.43	1.81	0.17	0.24	0.43	0.77	1.57
RED	15	0.54	2.13	0.22	0.25	0.45	1.15	3.89
RGC	4	0.32	1.49	0.19	0.21	0.33	0.47	0.51
RGR	103	0.50	2.67	0.05	0.19	0.45	1.33	16.56
RIO	25	0.46	2.54	0.05	0.18	0.51	1.17	2.79
TAMAMI	449	0.42	2.54	0.01	0.17	0.40	1.08	16.56

Rottner (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	2.07	2.02	0.67	1.02	1.87	4.17	5.53
BEN	1	11.10	1.00	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10
BRO	4	2.14	1.74	1.13	1.23	2.05	3.72	4.79
CHY	1	3.07	1.00	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07
COS	7	1.14	1.89	0.48	0.60	1.26	2.15	3.94
DAV	29	1.40	2.20	0.32	0.63	1.34	3.08	6.29
EPA	5	1.01	1.39	0.56	0.73	1.08	1.41	1.44
EPB	7	2.52	2.26	0.66	1.12	1.96	5.70	9.08
FOL	3	1.89	1.75	1.07	1.08	1.56	3.30	4.04
FRA	5	1.25	1.79	0.60	0.70	1.01	2.23	3.42
GUY	74	1.19	2.14	0.13	0.56	1.10	2.55	6.87
JOR	4	1.60	2.14	0.55	0.75	1.89	3.43	3.97
KEN	6	1.39	2.85	0.49	0.49	1.54	3.96	6.08
KNB	4	2.73	1.49	1.68	1.83	2.54	4.06	5.11
LAU	4	2.87	2.76	0.66	1.04	3.60	7.90	9.74
MUT	5	1.90	3.32	0.70	0.57	0.80	6.32	13.09
NOR	17	1.24	2.41	0.31	0.52	1.18	3.00	5.84
OBR	6	1.82	1.84	0.83	0.99	1.48	3.35	4.97
OJK	8	1.37	2.44	0.53	0.56	1.17	3.35	5.66
PRA	8	0.79	1.98	0.24	0.40	0.92	1.57	2.38
SIN	21	1.46	2.24	0.37	0.65	1.38	3.27	5.46
STE	22	1.61	2.42	0.37	0.67	1.48	3.91	10.06
STR	5	0.95	1.23	0.76	0.77	0.94	1.17	1.38
TAY	7	1.20	1.80	0.46	0.67	1.11	2.16	3.47
VAB	8	1.50	2.49	0.38	0.60	1.60	3.74	4.97
VAH	2	2.15	2.38	0.90	0.90	3.01	5.12	5.12
WLM	3	1.84	1.33	1.38	1.38	1.67	2.45	2.72
WLS	32	1.31	2.11	0.22	0.62	1.38	2.76	4.29
WSA	72	1.15	2.53	0.02	0.45	1.15	2.90	8.54
WSB	5	3.44	2.07	0.82	1.66	4.58	7.12	6.06
WSS	4	1.05	1.56	0.60	0.67	1.15	1.64	1.73
TAMAMI	388	1.36	2.33	0.02	0.59	1.26	3.18	13.09

Rottner (Saha)								
Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.47	2.50	0.02	0.19	0.41	1.17	2.20
AMC	2	0.46	1.47	0.31	0.31	0.49	0.67	0.67
ATC	22	0.42	2.20	0.13	0.19	0.43	0.92	3.97
CHO	13	0.54	2.23	0.10	0.24	0.59	1.21	2.10
CHP	12	0.47	2.04	0.17	0.23	0.42	0.95	2.25
COL	36	0.61	2.39	0.14	0.26	0.51	1.47	4.18
MID	19	0.42	2.27	0.16	0.19	0.30	0.96	2.49
MIS	59	0.55	2.38	0.06	0.23	0.55	1.31	3.11
MOU	39	0.58	1.98	0.15	0.29	0.57	1.14	4.03
NED	22	0.57	2.28	0.13	0.25	0.62	1.30	4.17
NIO	13	0.49	1.78	0.15	0.28	0.49	0.88	1.37
RED	15	0.63	2.15	0.22	0.29	0.48	1.35	4.28
RGC	4	0.40	1.62	0.24	0.25	0.39	0.66	0.80
RGR	103	0.54	2.17	0.08	0.25	0.51	1.16	4.60
RIO	25	0.52	2.35	0.06	0.22	0.58	1.22	1.96
TAMAMI	449	0.52	2.26	0.02	0.23	0.51	1.19	4.60

MLR (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.86	2.32	0.05	0.37	0.86	2.01	3.48
AMC	2	0.75	1.57	0.48	0.48	0.83	1.18	1.18
ATC	22	0.70	1.82	0.24	0.39	0.64	1.27	3.24
CHO	13	0.96	2.28	0.16	0.42	0.92	2.19	4.44
CHP	12	0.94	2.16	0.27	0.44	0.96	2.04	3.95
COL	36	0.95	1.81	0.25	0.52	0.97	1.72	2.48
MID	19	0.85	2.22	0.14	0.38	0.81	1.88	3.23
MIS	59	0.96	2.16	0.13	0.44	1.05	2.07	5.34
MOU	39	0.96	2.05	0.19	0.47	0.92	1.97	4.99
NED	22	1.01	2.37	0.21	0.43	0.87	2.41	12.67
NIO	13	1.05	1.82	0.28	0.57	1.12	1.91	2.89
RED	15	1.19	1.81	0.52	0.66	1.05	2.16	5.69
RGC	4	0.86	1.22	0.61	0.70	0.95	1.05	1.00
RGR	103	1.07	2.15	0.13	0.50	1.02	2.30	11.92
RIO	25	1.08	2.15	0.15	0.50	1.28	2.32	3.85
TAMAMI	449	0.96	2.13	0.05	0.45	0.98	2.05	12.67

MLR (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	1.03	1.60	0.46	0.64	1.01	1.65	2.62
BEN	1	4.45	1.00	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45
BRO	4	1.24	2.37	0.64	0.52	0.82	2.93	5.44
CHY	1	1.71	1.00	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
COS	7	0.86	1.64	0.38	0.52	0.93	1.40	1.79
DAV	29	1.09	1.86	0.36	0.59	0.96	2.02	6.25
EPA	5	0.92	1.54	0.49	0.60	1.03	1.41	1.76
EPB	7	1.42	1.55	0.79	0.91	1.27	2.21	3.59
FOL	3	0.98	1.84	0.57	0.53	0.73	1.81	2.30
FRA	5	0.93	1.52	0.69	0.61	0.76	1.41	2.13
GUY	74	0.95	1.66	0.25	0.57	0.83	1.59	4.33
JOR	4	1.43	1.89	0.72	0.76	1.33	2.71	3.68
KEN	6	1.01	1.70	0.53	0.59	1.06	1.71	2.60
KNB	4	1.66	2.00	0.75	0.83	1.63	3.32	4.44
LAU	4	1.38	2.81	0.39	0.49	1.87	3.89	4.66
MUT	5	1.61	2.35	0.59	0.68	1.28	3.78	7.61
NOR	17	0.97	1.76	0.33	0.55	0.93	1.71	3.56
OBR	6	1.36	1.99	0.53	0.68	1.21	2.72	3.70
OJK	8	1.35	2.04	0.52	0.66	1.39	2.75	3.94
PRA	8	0.71	1.79	0.34	0.40	0.65	1.27	2.70
SIN	21	1.04	1.80	0.31	0.58	1.01	1.88	3.31
STE	22	1.09	1.99	0.35	0.55	0.87	2.17	4.92
STR	5	0.75	1.47	0.44	0.51	0.69	1.10	1.31
TAY	7	1.01	1.55	0.52	0.65	0.96	1.56	2.27
VAB	8	0.92	1.34	0.62	0.69	0.91	1.23	1.64
VAH	2	1.89	1.46	1.30	1.30	2.03	2.77	2.77
WLM	3	1.11	1.11	0.97	1.00	1.12	1.23	1.25
WLS	32	0.97	1.66	0.30	0.58	1.00	1.61	3.06
WSA	72	0.87	1.87	0.07	0.46	0.81	1.62	6.01
WSB	5	1.54	1.87	0.73	0.82	1.19	2.88	3.66
WSS	4	1.03	1.76	0.67	0.58	0.79	1.81	2.71
TAMAMI	388	1.01	1.84	0.07	0.55	0.91	1.86	7.61

YSA (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.94	2.27	0.07	0.41	1.12	2.13	6.05
AMC	2	0.56	1.44	0.39	0.39	0.60	0.81	0.81
ATC	22	0.74	1.57	0.36	0.47	0.73	1.17	2.24
CHO	13	1.07	2.16	0.26	0.50	0.97	2.32	4.35
CHP	12	1.03	2.24	0.36	0.46	0.99	2.29	5.74
COL	36	0.89	1.60	0.26	0.55	0.87	1.42	1.96
MID	19	1.04	1.97	0.26	0.53	1.07	2.05	4.60
MIS	59	0.95	1.85	0.22	0.52	0.96	1.77	6.38
MOU	39	1.00	1.90	0.19	0.53	1.03	1.90	3.35
NED	22	1.01	2.15	0.24	0.47	0.97	2.18	5.48
NIO	13	0.95	1.58	0.51	0.60	0.84	1.50	2.27
RED	15	1.41	1.86	0.45	0.76	1.36	2.61	4.92
RGC	4	1.05	1.21	0.85	0.87	1.05	1.28	1.34
RGR	103	1.09	1.91	0.22	0.57	1.05	2.08	5.39
RIO	25	0.96	2.11	0.10	0.46	1.01	2.02	3.85
TAMAMI	449	0.99	1.96	0.07	0.50	0.98	1.94	6.38

YSA (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	0.94	1.47	0.44	0.64	1.01	1.38	1.48
BEN	1	2.75	1.00	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
BRO	4	1.32	1.36	1.03	0.97	1.14	1.79	2.23
CHY	1	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
COS	7	0.89	1.73	0.30	0.51	0.83	1.54	1.80
DAV	29	1.10	1.65	0.53	0.67	1.02	1.82	6.22
EPA	5	1.01	1.34	0.79	0.76	0.89	1.35	1.72
EPB	7	1.51	1.58	0.64	0.96	1.43	2.39	2.56
FOL	3	1.02	2.15	0.40	0.47	1.01	2.18	2.60
FRA	5	1.18	1.46	0.82	0.81	0.96	1.72	2.30
GUY	74	0.94	1.45	0.32	0.65	0.98	1.36	3.33
JOR	4	0.83	1.66	0.48	0.50	0.83	1.38	1.64
KEN	6	0.84	1.36	0.52	0.62	0.80	1.14	1.43
KNB	4	1.21	1.48	0.68	0.82	1.24	1.78	2.03
LAU	4	1.11	2.03	0.35	0.55	1.45	2.26	2.19
MUT	5	1.50	1.61	1.08	0.93	1.15	2.42	3.84
NOR	17	1.00	1.63	0.31	0.61	1.09	1.63	2.11
OBR	6	0.96	1.40	0.63	0.68	0.94	1.34	1.46
OJK	8	1.16	1.33	0.68	0.87	1.12	1.55	1.66
PRA	8	0.88	1.23	0.66	0.71	0.90	1.08	1.21
SIN	21	1.02	1.44	0.45	0.71	1.01	1.47	2.06
STE	22	1.00	1.61	0.26	0.62	0.99	1.62	2.45
STR	5	0.92	1.39	0.56	0.66	0.85	1.28	1.42
TAY	7	0.90	1.43	0.46	0.63	1.05	1.28	1.28
VAB	8	1.10	1.48	0.61	0.74	1.06	1.63	1.85
VAH	2	1.13	1.18	0.96	0.96	1.15	1.33	1.33
WLM	3	1.12	1.15	0.92	0.97	1.16	1.29	1.30
WLS	32	0.94	1.40	0.45	0.67	0.97	1.32	1.69
WSA	72	1.07	1.51	0.38	0.71	1.06	1.61	3.51
WSB	5	1.33	1.36	0.96	0.98	1.23	1.80	2.12
WSS	4	1.17	1.24	0.93	0.95	1.16	1.46	1.56
TAMAMI	388	1.02	1.53	0.26	0.67	1.02	1.57	6.22

ANFIS (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.93	2.26	0.07	0.41	1.06	2.10	9.93
AMC	2	0.57	1.47	0.39	0.39	0.62	0.84	0.84
ATC	22	0.74	1.58	0.36	0.47	0.71	1.17	2.30
CHO	13	1.11	2.20	0.26	0.51	0.92	2.44	4.45
CHP	12	1.05	2.18	0.37	0.48	0.95	2.30	4.94
COL	36	0.94	1.60	0.30	0.59	0.95	1.50	2.83
MID	19	0.92	2.30	0.08	0.40	0.95	2.11	4.03
MIS	59	0.94	1.92	0.20	0.49	0.90	1.80	5.69
MOU	39	0.99	1.91	0.23	0.52	1.03	1.90	6.55
NED	22	0.94	2.02	0.29	0.46	0.80	1.89	4.07
NIO	13	1.09	1.75	0.47	0.62	1.02	1.90	2.57
RED	15	1.36	1.89	0.53	0.72	1.33	2.57	5.55
RGC	4	1.19	1.29	0.81	0.93	1.24	1.54	1.64
RGR	103	1.08	1.91	0.21	0.57	1.10	2.07	5.45
RIO	25	1.02	2.10	0.12	0.49	1.10	2.16	3.72
TAMAMI	449	0.99	1.98	0.07	0.50	1.00	1.96	9.93

ANFIS (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	1.41	2.27	0.54	0.62	1.16	3.22	10.22
BEN	1	0.06	1.00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
BRO	4	1.08	1.50	0.68	0.72	0.98	1.61	2.05
CHY	1	1.11	1.00	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
COS	7	1.02	1.61	0.33	0.63	1.16	1.64	1.41
DAV	29	1.16	1.96	0.19	0.59	1.05	2.27	6.22
EPA	5	1.05	1.18	0.83	0.89	1.07	1.24	1.37
EPB	7	1.32	1.49	0.72	0.88	1.37	1.96	2.58
FOL	3	0.99	2.20	0.40	0.45	0.90	2.18	2.72
FRA	5	1.28	1.60	0.84	0.80	1.22	2.05	3.11
GUY	74	1.01	1.62	0.24	0.62	1.01	1.63	4.84
JOR	4	0.84	1.87	0.42	0.45	0.90	1.57	1.85
KEN	6	0.80	1.28	0.53	0.63	0.91	1.03	1.02
KNB	4	1.03	1.18	0.87	0.87	1.05	1.22	1.22
LAU	4	0.99	2.62	0.21	0.38	1.26	2.60	2.92
MUT	5	0.72	4.57	0.04	0.16	1.17	3.30	3.46
NOR	17	1.03	1.72	0.26	0.60	1.05	1.77	3.22
OBR	6	1.07	1.57	0.53	0.68	1.15	1.68	1.98
OJK	8	1.05	1.21	0.78	0.87	1.04	1.26	1.32
PRA	8	1.06	1.48	0.55	0.71	0.98	1.57	2.40
SIN	21	1.25	1.84	0.62	0.68	1.13	2.30	7.46
STE	22	0.86	1.95	0.09	0.44	1.00	1.67	2.50
STR	5	1.16	1.39	0.71	0.84	1.15	1.61	1.67
TAY	7	0.90	1.47	0.37	0.61	0.95	1.32	1.36
VAB	8	1.00	1.32	0.69	0.76	0.99	1.33	1.76
VAH	2	1.16	1.29	0.90	0.90	1.20	1.49	1.49
WLM	3	1.39	1.39	0.89	1.00	1.52	1.93	1.97
WLS	32	1.00	1.70	0.31	0.59	0.98	1.71	8.37
WSA	72	1.11	1.63	0.14	0.69	1.06	1.81	3.69
WSB	5	1.13	1.09	0.98	1.04	1.15	1.24	1.26
WSS	4	0.97	1.21	0.81	0.80	0.93	1.18	1.30
TAMAMI	388	1.05	1.77	0.04	0.59	1.04	1.86	10.22

RVM (Lab)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
BAL	9	1.09	1.40	0.54	0.78	1.24	1.52	1.62
BEN	1	9.16	1.00	9.16	9.16	9.16	9.16	9.16
BRO	4	1.10	1.54	0.62	0.71	1.06	1.70	2.12
CHY	1	0.93	1.00	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
COS	7	0.94	1.83	0.25	0.51	0.91	1.71	1.66
DAV	29	1.11	1.60	0.55	0.70	1.07	1.77	4.87
EPA	5	1.03	1.42	0.65	0.73	1.06	1.47	1.75
EPB	7	1.38	1.52	0.66	0.91	1.31	2.10	2.91
FOL	3	0.96	3.24	0.22	0.30	1.01	3.10	3.93
FRA	5	1.18	1.44	0.80	0.82	1.24	1.69	2.15
GUY	74	0.93	1.45	0.24	0.64	0.96	1.34	1.73
JOR	4	1.05	1.52	0.51	0.69	1.31	1.60	1.40
KEN	6	0.81	1.41	0.56	0.57	0.69	1.14	1.56
KNB	4	1.25	1.60	0.72	0.78	1.13	2.01	2.65
LAU	4	1.00	2.01	0.31	0.50	1.39	2.01	1.72
MUT	5	1.59	1.62	0.96	0.98	1.36	2.57	3.86
NOR	17	0.93	1.66	0.26	0.56	0.95	1.53	2.88
OBR	6	1.27	1.50	0.69	0.85	1.30	1.91	2.11
OJK	8	1.21	1.29	0.94	0.94	1.12	1.57	2.02
PRA	8	0.89	1.31	0.63	0.68	0.82	1.16	1.35
SIN	21	1.11	1.84	0.42	0.61	1.05	2.05	9.60
STE	22	1.14	2.01	0.18	0.57	1.11	2.29	8.03
STR	5	0.90	1.39	0.63	0.65	0.72	1.26	1.41
TAY	7	0.97	1.44	0.47	0.67	1.18	1.39	1.27
VAB	8	0.97	1.38	0.47	0.70	1.00	1.34	1.44
VAH	2	1.16	1.30	0.89	0.89	1.20	1.50	1.50
WLM	3	1.32	1.37	0.87	0.97	1.42	1.80	1.85
WLS	32	0.89	1.55	0.35	0.57	0.95	1.39	1.98
WSA	72	1.01	1.52	0.28	0.66	1.00	1.54	3.77
WSB	5	1.45	1.45	1.08	1.00	1.12	2.11	2.75
WSS	4	1.03	1.29	0.82	0.80	0.96	1.33	1.51
TAMAMI	388	1.03	1.62	0.18	0.63	1.04	1.67	9.60

RVM (Saha)

Data Seti	Sayı	Geo. Ort.	Geo.S.S.	Minimum	16%ile	Medyan	84%ile	Maksimum
ACP	65	0.92	2.28	0.09	0.41	0.98	2.10	14.75
AMC	2	0.50	1.29	0.39	0.39	0.52	0.65	0.65
ATC	22	0.75	1.64	0.37	0.46	0.65	1.23	2.23
CHO	13	1.15	2.20	0.35	0.52	0.85	2.52	5.91
CHP	12	1.02	2.24	0.33	0.46	0.97	2.28	4.25
COL	36	0.95	1.48	0.41	0.64	0.94	1.41	2.26
MID	19	1.04	1.98	0.34	0.53	1.01	2.07	3.88
MIS	59	0.98	1.78	0.22	0.55	0.97	1.75	5.07
MOU	39	0.99	2.04	0.30	0.49	0.89	2.02	12.08
NED	22	1.01	2.32	0.29	0.44	0.85	2.35	12.12
NIO	13	1.03	1.63	0.51	0.63	0.89	1.68	2.68
RED	15	1.35	1.73	0.40	0.78	1.34	2.34	3.88
RGC	4	1.29	1.33	0.86	0.97	1.35	1.72	1.81
RGR	103	1.11	1.98	0.16	0.56	1.08	2.20	5.73
RIO	25	0.97	2.12	0.12	0.46	1.02	2.06	3.20
TAMAMI	449	1.01	1.99	0.09	0.51	0.97	2.00	14.75

Ek 3. İkinci Senaryo İçin Derlenen Veriler

Tablo Ek-3.1. Saha verileri için araştırmaların listesi

Data Kodu	Araştırmacılar	Data Seti				
		Kayıtların sayısı	C _{ppm}	BF	Temp	σ_g
ACP	ACOP Canal, Mahmood, (1979)	151	142	31	149	151
AMA	Amazon Nehri, Posada (1995)	82	82	0	82	0
AMC	American Canal, Simons (1957)	11	11	11	11	11
ATC	Atchafalaya Nehri, Toffaleti (1968)	72	72	0	72	68
BER	Bergsche (Maas) Nehri, Adriaanse (1986)	26	0	26	0	0
BLK	Black Nehri, Williams ve Rosgen (1989)	7	7	0	7	0
CHI	Canal Data, Chitales (1966)	32	32	0	0	0
CHO	Chop Canals, Chaudhry, ve diğ., (1970)	33	33	0	33	33
CHW	Chippewa Nehri, Williams ve Rosgen (1989)	47	47	0	47	0
CHU	Chulitna River, Williams and Rosgen (1989)	4	4	0	4	0
COL	Colorado Nehri, U. S. Bureau of Reclamation (1958)	131	119	0	131	121
HII	Hii River, Shinohara ve Tsubaki (1959)	38	38	38	0	38
JAM	Jamuna Nehri, Klaassen ve diğ., (1988)	33	0	33	0	0
KAM	Kampar Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	21	21	0	0	0
KER	Kerayong Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	27	27	0	0	0
KIN	Kinta Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	20	20	0	0	0
KUL	Kulim Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	16	16	0	0	0
LAN	Langat Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	24	24	0	0	0
LEO	River Data, Leopold (1969)	72	72	0	71	0
LUI	Lui Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	92	92	0	0	0
MEU	Meuse Nehri, van Rijn (1982), Adriaanse (1986), Wijbenga (1991)	60	0	60	0	60
MID	Middle Loup Nehri, Hubbell ve Matejka (1959)	38	38	0	38	38
MIS	Mississippi Nehri, Toffaleti, (1968)	165	165	0	165	165
MOR	Missouri Nehri, Shen, H. W., ve diğ., (1978)	25	0	23	25	23
MOU	Mountain Deresi, Einstein (1944)	100	100	0	100	100
MSH	Lower Mississippi Nehri, Harbor (1998)	34	0	34	34	0
MSP	Mississippi Nehri, Posada (1995)	85	85	0	85	0
NED	Rio Magdalena ve Canal del Dique, NEDECO (1973)	113	77	0	113	113
NIO	Niobrara River, Colby ve Hembree, (1955)	40	40	40	40	40
NSR	North Saskatchewan Nehri ve Elbow Nehri, Samide (1971)	55	55	0	55	55
OAK	Oak Deresi, Oregon, Milhous (1973)	17	17	0	17	17
PAR	Pari Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	56	56	0	0	0
PLT	Plate Nehri, Kircher (1983)	20	20	0	20	20
POR	Portugal Nehirleri, Da Cunha (1969)	219	219	0	219	219
PRN	Parana Nehri, van Rijn (1982)	13	0	13	0	0
RAI	Raia Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	41	41	0	0	0
RED	Red Nehri, Toffaleti, (1968)	30	30	0	30	30
RGC	Rio Grande Conveyance Channel, Culbertson, ve diğ., (1972)	33	8	33	32	27
RGR	Rio Grande Nehri, Nordin ve Beverage (1965)	293	293	0	293	287
RHI	Rhine Nehri, Brillhuis (1988) ve Wijbenga (1991)	34	0	34	0	34
RIO	Rio Grande near Bernalillo, Toffaleti (1968)	38	38	0	38	38
SEM	Semenyih Nehri, Sinnakaudan ve diğ., (2006)	49	49	0	0	0
SNK	Snake and Clearwater River, Seitz (1976)	21	21	0	21	21

SUS	Susitna Nehri, Williams ve Rosgen (1989)	2	2	0	2	0
TAN	Tanana Nehri, Emmett (1978)	10	10	0	0	10
TRI	Trinity Nehri, Knott (1974)	4	4	0	4	4
TOU	Toutle Nehri, Williams ve Rosgen (1989)	9	9	0	9	0
TOT	Toutle Nehri, Childers ve diğ., (1988)	110	0	0	110	110
WIS	Wisconsin Nehri, Williams ve Rosgen (1989)	9	9	0	9	0
YAM	Yampa Nehri, Williams ve Rosgen (1989)	11	11	0	11	0
YEL	Yellow Nehri, Long ve Liang (1994)	19	19	0	19	19
YGZ	Yangtze Nehri, Long ve Liang (1994)	40	0	0	40	40
YLW	Lower Yellow Nehri, Long ve Liang (1994)	1111	1111	0	1111	1111
TOPLAM	53 Nehir Sistemi	3876	3386	376	3247	3003

Tablo Ek-3.2. Laboratuvar verileri için araştırmaların listesi

Data Kodu	Araştırmacılar	Data Seti				
		Kayıtların Sayısı	C _{ppm}	BF	Temp	σ_g
ABA	Abdel-Aal (1969)	10	10	0	10	10
BAL	Barton ve Lin (1955)	28	28	28	28	28
BEN	Government of West Bengal (1965)	18	18	0	18	18
BOY	Bogardi ve Yen (1936)	48	48	0	48	48
BRO	Vanoni ve Brooks (1957)	21	21	21	21	21
CAS	Casey (1935)	92	92	0	0	92
CHY	Chyn (1935)	32	32	32	32	32
CNG	Wang ve diğ., (1998)	57	57	0	57	57
COS	Costello (1974)	28	28	28	28	28
DAV	Daves (1971)	79	79	40	79	79
EAC	Einstein ve Chien (1955)	16	16	0	16	16
ENS	Einstein (1978), Wu ve diğ., 2004	29	29	0	29	29
EPA	E. Pakistan Water ve Power (1967)	68	68	0	68	68
EPB	E. Pakistan Water ve Power (1966, 1968, 1969)	56	56	36	56	56
FOL	Foley (1975)	12	12	7	12	12
FRA	Franco (1968)	19	19	19	19	19
GIB	Gibbs ve Niell (1972)	9	9	9	9	9
GIL	Gilbert (1914)	889	889	693	0	889
GKA	Gilbert (1914)	125	125	99	0	125
GKB	Gilbert (1914)	62	62	55	0	62
GUY	Guy ve diğ., (1966)	339	337	339	339	339
HIL	Hill ve diğ., (1969)	46	0	46	46	46
HPY	Ho (1939)	80	80	0	80	80
JOR	Jorissen (1938)	26	26	26	26	26
JUL	Julien ve Raslan, (1998)	28	0	28	28	28
KAH	Kalinske ve Hsia (1945)	9	9	9	9	9
KAL	Kalkanis (1964)	23	23	0	23	23
KEN	Kennedy (1961)	41	41	0	41	41
KNB	Kennedy ve Brooks (1965)	9	9	9	9	9
LAU	Laursen (1958)	24	24	24	24	24

Tablo Ek-3.2. (Devam)						
MAV	Mavis ve diğ., (1937)	293	293	0	293	293
MCD	MacDougal (1933)	74	74	0	0	74
MPR	Meyer-Peter ve Müller (1948)	135	135	0	0	135
MUT	Mutter (1971)	28	28	28	28	28
NEI	Neill (1967)	51	51	51	51	51
NOM	Nomicos (1956)	30	30	30	30	30
NOR	Nordin (1976)	62	62	62	62	62
OBR	O'Brien (1936)	83	83	0	20	83
OJK	Onishi ve diğ., (1976)	14	14	14	14	14
PAI	Paintal (1971)	96	96	0	0	96
PRA	Pratt (1970)	60	60	60	60	60
SAT	Sato ve diğ., (1958)	243	243	0	243	243
SIN	Singh (1960)	305	304	240	305	305
SMG	Samaga ve diğ., (1986a,b)	33	33	0	33	33
SON	Soni (1980)	23	23	0	23	23
STE	Stein (1965)	56	56	56	56	56
STR	Straub (1954) ve Straub ve diğ., (1958)	24	24	24	6	24
TAY	Taylor (1971)	39	39	39	39	39
TSI	Tsinghua University, Yin (1989), Wang ve White (1993)	64	0	64	64	64
VAB	Vanoni ve Brooks (1957)	15	15	15	15	15
VAH	Vanoni ve Hwang (1967)	16	16	16	16	16
WAL	Wang ve White (1993)	44	0	44	44	44
WGZ	Wang ve Zhang (1990)	27	27	0	27	27
WHD	White ve Day (1982)	20	20	0	20	20
WLL	Willis (1979)	32	32	0	32	32
WLM	Williams (1970)	177	177	177	177	177
WLS	Willis ve diğ., (1972)	96	96	96	96	96
WSA	US Waterways Exp. Sta. (1935A)	330	330	330	330	330
WSB	US Waterways Exp. Sta. (1936A)	102	102	0	102	102
WSL	US Waterways Exp. Sta. (1936C)	298	298	0	298	298
WSS	US Waterways Exp. Sta. (1936B)	313	313	313	313	313
WSO	Wilcock ve Southard (1988)	29	29	29	29	29
WTT	US Waterways Exp. Sta. (1935B)	23	23	0	23	23
ZNA	Znamenskaya (1963)	36	36	36	0	36
TOPLAM	64 Laboratuvar Sistemi	5594	5409	3272	4004	5594

Ek 4. Brownlie (1981b) Derlemesine İlave Edilen Güncel Laboratuar Verileri

Tablo Ek-4.1. Brownlie (1981b) derlemesine ilave edilen güncel laboratuvar verileri. Burada, konsantrasyon C , yatak şekli BF ve su sıcaklığı $Temp$ sembolleri ile ifadelendirilmiştir.

Araştırmacılar	Kayıt Sayısı	C	BF	$Temp$
Wang ve diğ., (1998)	57	57	0	57
Wu ve diğ., (2004), ve Einstein, (1978)	29	29	0	29
Julien ve Raslan (1998)	28	0	28	28
Samaga ve diğ., (1986a,b)	33	33	0	33
Wang ve White (1993)	44	0	44	44
Yin(1989), ve Wang ve White (1993)	64	0	64	64
Wang ve Zhang (1990)	27	27	0	27
White ve Day (1982)	20	20	0	20
Wilcock ve Southard (1988)	29	29	29	29
<i>Toplam</i>	<i>331</i>	<i>195</i>	<i>165</i>	<i>331</i>

Tablo Ek-4.2. Brownlie (1981b) derlemesine ilave edilen güncel saha verileri. Burada, konsantrasyon *C*, yatak şekli *BF* ve su sıcaklığı *Temp* sembolleri ile ifadelendirilmiştir.

Nehir	Araştırmacılar	Kayıt Sayısı	<i>C</i>	<i>BF</i>	<i>Temp</i>
Bergsche (Maas) Nehri	Adriaanse (1986)	26	0	26	0
Rhine Nehri	Brilhuis (1988) ve Wijbenga (1991)	34	0	34	0
Toutle Nehri	Childers ve diğ., (1988)	110	0	0	110
Tanana Nehri	Emmett (1978)	10	10	0	0
Aşağı Mississippi Nehri	Harbor (1998)	34	0	34	34
Nehri River	Kircher (1983)	20	20	0	20
Jamuna Nehri	Klaassen ve diğ., (1988)	33	0	33	0
Aşağı Yellow Nehri	Long and Liang (1994)	1111	1111	0	1111
Yangtze Nehri	Long and Liang (1994)	40	0	0	40
Yellow Nehri	Long and Liang (1994)	19	19	0	19
Amazon Nehri	Posada Garcia (1995)	82	82	0	82
Mississippi Nehri	Posada Garcia (1995)	85	85	0	85
Kampar Nehri *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	21	21	0	0
Kerayong Nehri *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	27	27	0	0
Kinta Nehri *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	20	20	0	0
Kulim Nehri *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	16	16	0	0
Langat Nehri *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	24	24	0	0
Lui Nehri *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	92	92	0	0
Pari River *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	56	56	0	0
Raia Nehri *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	41	41	0	0
Semenyih Nehri *	Sinnakaudan ve diğ., (2006)	49	49	0	0
Parana Nehri	van Rijn (1982)	13	0	13	0
Meuse Nehri	van Rijn (1982), Adriaanse (1986), ve Wijbenga (1991)	60	0	60	0
Black Nehri	Williams ve Rosgen (1989)	7	7	0	7
Chippewa Nehri	Williams ve Rosgen (1989)	47	47	0	47
Chulitna Nehri	Williams ve Rosgen (1989)	4	4	0	4
Susitna Nehri	Williams ve Rosgen (1989)	2	2	0	2
Toutle Nehri	Williams ve Rosgen (1989)	9	9	0	9
Wisconsin Nehri	Williams ve Rosgen (1989)	9	9	0	9
Yampa Nehri	Williams ve Rosgen (1989)	11	11	0	11
Toplam		2112	1762	200	1590

* Malezya nehirleri

Ek 5. İkinci Senaryo İçin RVM ve En Etkili Üç Toplam Katı Madde Hareketi Denklemlerinin Performanslarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Nehir	Sayısı	Brownlie(1981a)			van Rijn (1984a,b)			Molinas ve Wu(2001)			RVM		
		GM	GStd	DR<2	GM	GStd	DR<2	GM	GStd	DR<2	GM	GStd	DR<2
KAM	21	1.16	1.43	20	0.46	1.75	8	1.17	1.53	19	0.91	1.40	21
KER	3	0.28	1.57	0	0.16	2.14	0	2.47	1.32	1	0.74	1.31	3
KIN	20	0.27	2.87	6	0.12	3.45	4	0.40	2.81	6	0.18	3.04	6
LAN	24	1.43	2.84	9	0.44	3.80	11	0.32	3.36	11	1.64	4.99	10
LUI	82	0.50	2.87	40	0.08	8.62	11	0.27	2.15	17	1.43	3.35	35
PAR	50	0.56	3.60	20	0.17	11.64	19	0.66	2.67	29	0.72	2.44	34
RAI	41	1.82	1.58	18	0.80	2.12	33	1.22	1.67	36	1.12	1.66	39
SEM	48	0.60	2.63	26	0.19	5.74	14	0.32	1.91	11	0.65	2.66	19
AMA	77	0.29	2.44	25	0.14	5.93	11	0.17	2.82	8	0.56	4.01	26
MSP	84	0.33	2.59	32	0.19	3.67	23	0.23	2.57	19	0.30	3.27	35
ACP	141	0.72	2.42	69	0.43	2.60	62	1.16	2.39	76	0.49	2.59	61
AMC	8	0.33	2.17	3	0.18	3.64	2	0.50	2.05	4	0.13	3.52	1
ATC	63	0.60	1.79	40	0.52	2.03	29	0.97	1.86	48	1.38	2.50	37
CHI	7	0.08	1.43	0	0.08	1.36	0	0.50	1.49	3	16.85	2.45	0
CHP	33	0.67	1.94	20	0.54	2.54	14	0.81	2.29	20	0.79	4.29	11
COL	102	0.66	2.09	61	0.40	2.47	42	0.76	2.01	60	0.51	2.37	50
HII	33	0.61	1.86	23	0.76	2.91	19	1.19	1.59	29	0.45	1.56	15
LEO	55	0.86	2.41	28	0.56	2.79	24	0.92	2.17	30	0.95	3.62	27
MID	38	0.75	1.45	31	0.96	1.58	34	0.74	1.49	32	0.56	1.47	20
MIS	164	0.92	1.76	137	0.45	2.57	94	0.74	1.77	132	0.84	2.18	109
MOU	91	1.30	1.78	73	2.36	2.17	35	2.60	1.81	26	0.87	1.69	76
NED	58	0.67	2.54	32	0.44	3.34	22	0.63	2.91	26	0.82	3.00	27
NIO	40	1.00	1.29	39	0.94	1.43	37	0.74	1.31	38	0.80	1.54	34
POR	219	0.63	1.63	146	0.25	2.05	42	0.79	2.08	126	0.88	1.58	186
RED	29	0.49	1.40	13	0.22	1.34	0	0.63	1.59	20	1.30	3.53	13
RGC	8	0.72	1.50	7	0.54	2.02	3	0.51	1.40	3	0.72	1.75	7
RGR	268	0.56	2.19	140	0.48	2.54	112	0.48	2.38	101	0.45	2.69	76
RIO	38	0.92	1.41	37	1.52	1.77	21	0.70	1.38	34	0.60	1.48	25
BLK	7	0.31	4.04	3	0.12	5.91	0	0.67	4.24	5	0.07	5.98	1
CHW	33	1.23	1.80	22	0.50	2.29	16	1.45	1.93	20	0.71	2.13	17
TOU	6	0.66	1.46	3	1.04	1.82	5	0.25	1.43	0	0.55	1.88	3
YAM	11	0.31	2.01	3	0.18	2.02	1	0.14	1.85	0	0.59	3.67	2
YLW	935	0.09	2.28	9	0.32	3.25	389	0.21	2.23	112	0.82	3.53	393
YEL	11	0.03	2.55	0	0.09	6.44	2	0.12	2.35	0	0.28	4.08	4
PLT	19	0.67	1.99	15	0.63	2.64	15	0.53	2.07	14	0.60	1.88	16
WIS	9	1.78	2.00	5	0.83	3.12	3	1.75	1.63	5	1.18	2.91	3
Toplam	2911	0.68	2.04	1176	0.52	3.13	1173	0.76	2.02	1142	1.14	2.67	145

ÖZGEÇMİŞ

1979 Üsküdar/İSTANBUL doğumlu olan Emrah DOĞAN, ilk, orta ve lise eğitimini Yalova'da tamamlamıştır. 1997 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde üniversite eğitime başlamış ve bu bölümden 2001 yılında mezun olmuştur. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Anabilim dalında başladığı yüksek lisans eğitimini 2003 yılında tamamlamış ve aynı yıl doktora eğitime başlamıştır. 2005 yılında TÜBİTAK yurt dışı araştırma bursunu kazanmıştır. TÜBİTAK bursiyeri olarak 2006–2007 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri, Purdue Üniversitesinde doktora tezi ile ilgili bilimsel çalışmalarda bulunmuştur. Halen Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.