

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

**LABİRENT YAN SAVAKLARDAKİ AKIMIN YAPAY ZEKA HESAPLAMA
YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Ömer BİLHAN

(05115201)

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

**Danışman: Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU
İkinci Danışman: Prof. Dr. Özgür KİŞİ**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 5 Eylül 2011

EYLÜL-2011

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

**LABİRENT YAN SAVAKLARDAKİ AKIMIN YAPAY ZEKA HESAPLAMA
YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Ömer BİLHAN

(05115201)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Eylül 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Eylül 2011**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hakan AKPOLAT (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Nihat KAYA (F.Ü)
Doç. Dr. Ragıp İNCE (F.Ü)
Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU (E.Ü)

EYLÜL-2011

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında, değerli katkılarını ve engin hoşgörülerini esirgemeyen danışman hocalarım Sayın Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU ve Sayın Prof. Dr. Özgür KİŞİ'ye saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu tezin hazırlanmasında; deneysel çalışmalarla ilgili bilgileriyle katkıda bulunan Sayın Yrd. Doç. Dr. Nihat KAYA ve modelleme çalışmalarında değerli bilgileriyle katkılar sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayşegül UÇAR hocalarıma ve çalışmalarım sırasında emeği geçen bütün arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Özellikle, tez çalışmalarım sırasında benden manevi desteğini esirgemeyen eşim Ayşe BİLHAN ve varlığıyla bana moral veren oğlum Ömer Aras BİLHAN'a ve bugünlere ulaşmamı sağlayan annem ve babama sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ömer BİLHAN
Elazığ – 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	XI
SEMBOLLER LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR	XIV
1. GİRİŞ	1
2. YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ VE KONUyla İLGİLİ LİTERATÜR.....	4
3. MATERYAL VE METOT.....	37
3.1 Giriş.....	37
3.2 Deney Kanalı.....	37
3.2.1 Su Temin Borusu ve Debimetre.....	38
3.2.2 Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu.....	38
3.2.3 Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu.....	38
3.2.4 Yaklaşım Kanalı.....	38
3.2.5 Kıvrımlı Kanal.....	39
3.2.6 Doğrusal Çıkış Kanalı.....	39
3.2.7 Yan Savak Ayırma Duvarı	39
3.2.8 Toplama Kanalı.....	40
3.2.9 Boşaltım Havuzu	40
3.2.10 Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal.....	40
3.2.11 Hareketli Seviye Ölçüm Arabası.....	41
3.2.12 Giriş Debinin Ölçülmesi.....	45
3.3 DeneySEL Çalışmalar.....	46
4. YAPAY ZEKA HESAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	50
4.1 Giriş.....	50
4.2 Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi ve Su Kaynakları Mühendisliği'nde Kullanımı.....	51
4.3 Yapay Sinir Ağları (YSA) Tanımı ve Özellikleri.....	53
4.4 Aktivasyon Fonksiyonu.....	56
4.4.1 Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	57
4.4.2 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu.....	58
4.4.3 Hiperbolik Fonksiyonu.....	59

4.4.4	Gauss Fonksiyonu.....	60
4.5	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları.....	63
4.5.1	Hebb Kuralı.....	64
4.5.2	Hopfield Kuralı.....	64
4.5.3	Delta Kuralı.....	64
4.5.4	Kohonen Kuralı.....	65
4.5.5	Levenberg-Marquardt kuralı.....	65
4.6	İleri Beslemeli Geriye Yayınım Metodu.....	66
4.6.1	İleri Beslemeli Geriye Yayınım Metodu Denklemleri.....	68
4.7	Analizlerde Kullanılan YSA Teknikleri.....	69
4.7.1	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (ÇKYSA).....	69
4.7.2	Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RTYSA).....	71
4.7.3	Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları (GRYSA).....	72
4.7.4	Bulanık-Yapay Sinir Ağları (BYSA).....	73
5.	YAN SAVAK DEBİ KAPASİTESİNİN YAPAY ZEKA HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE MODELLENMESİ.....	76
5.1	Giriş.....	76
5.2	Doğrusal Kanalda Dikdörtgen Yan Savaklar için Oluşturulan Modeller ve Analizler.....	76
5.3	Doğrusal Kanalda Üçgen Labirent Yan Savaklar için Oluşturulan Modeller ve Analizler.....	88
5.4	Kıvrımlı Kanalda Dikdörtgen Labirent Yan Savaklar için Oluşturulan Modeller ve Analizler.....	98
5.5	Kıvrımlı Kanalda Üçgen Labirent Yan Savaklar için Oluşturulan Modeller ve Analizler.....	105
6.	SONUÇLAR.....	114
	KAYNAKLAR	118
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yapay zeka hesaplama yöntemleri kullanılarak hidrolik problemlerin çözümü ve bu amaçla hazırlanmış yazılımlar son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Nümerik çözümlemelerde olaya etki eden parametreleri tespit etmek mümkün olabilmektedir. Ancak, nümerik çözümlemeler ile bazı problemlerin tam olarak tanımlanması mümkün olmadığından, çözüme ulaşmak için bazı kabullerin ve hesaba katılmayan diğer faktörlerin etkisi, laboratuvar model çalışmaları ile elde edilebilmektedir. Paket programlar kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde kullanılan verilerin deneysel çalışmalarla oluşturulması halinde, daha gerçekçi ve uygulamaya yönelik sonuçlar alınması mümkün olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, TÜBİTAK 104M394 no'lu proje kapsamında, yan savaklar için gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, MATLAB programlama dili yardımıyla ve farklı yapay zeka hesaplama yöntemleri kullanılarak modellenmiş ve debi katsayılarının tahmini elde edilmeye çalışılmıştır. Analizlerde “Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları, Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları, Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Yapay Sinir Ağları” teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar regresyon analizleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Her farklı yapay sinir ağı modeli için en başarılı sonuç elde edilene kadar çok sayıda analizler yapılarak en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, yapay zeka hesaplama yöntemlerinin yan savakların debi kapasitesinin belirlenmesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Yan Savak, Labirent Savak, Debi Katsayısı

SUMMARY

Investigation of Flow in Labyrinth Side Weirs Using Artificial Intelligence Calculation Methods

In recent years, analysis of hydraulic problems using artificial intelligence calculation methods and softwares prepared in line with this objective have been constantly in use. In numerical analyses, it might be possible to locate the parameters having influence on occurrence. However; as it is not possible to define the numerical analyses and some associated problems properly, certain assumptions as well as the effect of the other factors which haven't been in consideration could be acquired by laboratory based studies in order to come to a conclusion. In the event of data being formed applied in analyses which have been executed using package programs by means of experimental studies, it possible to obtain more realistic and application-oriented results.

In this study, under TUBITAK's project scope of 104M394, data obtained by experimental studies, which have been performed for reforming side weirs, haven been modeled by means of programming language of MATLAB and using different artificial intelligence (AI) calculation methods, beside the assumption of discharge coefficients has been taken place in order to obtain the subject values. In analyses, some specific techniques have been used for instance; "multi-layered artificial neural networks, radial basis neural networks, generalized regression neural networks and fuzzy neural networks. So that, all the results acquired has been compared with the results of regression analyses. A large number of analyses have been performed in order to obtain optimal AI models. As a consequence; the AI calculation methods have been found to perform better than the regression models for determining of the discharge capacity of side weirs.

Key Words: Artificial Neural Networks, Side Weir, Labyrinth Weir, Discharge Coefficient.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Ute barajı labirent dolusavağı, New Mexico, Amerika Birleşik Devletleri (Bilhan, 2005).....	2
Şekil 2.1. Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri (Emiroğlu vd., 2007).....	6
Şekil 2.2. Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki (De Marchi, 1934).....	7
Şekil 2.3. Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü (Allen, 1957).....	11
Şekil 2.4. Nehir rejimli akım şartlarında C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 ile değişimi (Subramanya ve Awasthy, 1972).....	13
Şekil 2.5. Sel rejimli akım şartlarında C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 ile değişimi (Subramanya ve Awasthy, 1972).....	13
Şekil 2.6. Yanal akım sebebiyle kanal enkesitindeki akımın hareketi (El-Khashab, 1975).....	16
Şekil 2.7. Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım (El-Khashab, 1975).....	16
Şekil 2.8. Ana kanal dik bir kol bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (a) Plan (b) Kesit (R. Raju vd., 1979).....	18
Şekil 2.9. Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980).....	19
Şekil 2.10. Üniform debi dağılımı için üniform daralan debi dağılım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980).....	20
Şekil 2.11. Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yan savağın plan ve kesiti (Jain ve Fischer, 1982).....	21
Şekil 2.12. Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak görünüşü; (a) plan, (b) kesit, (c) görünüş (Ramamurthy vd., 1986).....	23
Şekil 2.13. Yan savak görünüşü (a) Plan (b) Kesit (Kumar ve Pathak, 1987).....	25

Şekil 2.14. Yan savak genel görünüşü (Swamee vd., 1994).....	29
Şekil 2.15. Savak enkesiti ve plan (Tozluk, 1994).....	30
Şekil 2.16. Doğrusal kanalda farklı L/b oranları için yan savak debi katsayısının Subramanya ve Awasthy denklemiyle karşılaştırılması (Ağaçcıoğlu, 1995).....	31
Şekil 3.1. Üçgen labirent yan savak üzerindeki akım.....	40
Şekil 3.2. Hareketli seviye ölçüm arabası.....	41
Şekil 3.3. Deney seti plan ve kesitleri (tüm ölçüler metre cinsindendir) Emiroğlu vd. (2007).....	44
Şekil 3.4. Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre.....	45
Şekil 3.5. Deney setinde giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana.....	45
Şekil 3.6. Yan savağın karşısında toplama kanalı.....	46
Şekil 3.7. Deney kanalına yerleştirilen yan savağın görünüşü (ölçeksizdir) (Emiroğlu vd., 2007).....	47
Şekil 3.8. Labirent yan savağın boyutları (Emiroğlu vd., 2007).....	48
Şekil 4.1. Biyolojik nöronun genel yapısı.....	54
Şekil 4.2. Yapay nöronun genel yapısı.....	55
Şekil 4.3. Yapay nöronun (hücrenin) detaylı yapısı.....	56
Şekil 4.4. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....	58
Şekil 4.5. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	59
Şekil 4.6. Hiperbolik fonksiyonu.....	59
Şekil 4.7. Gauss fonksiyonu.....	60
Şekil 4.8. YSA'ların genel yapısı.....	61
Şekil 4.9. Geri yayılma bağlantı yapısı.....	62
Şekil 4.10. İleri beslemeli ve geri beslemeli ağ yapıları.....	66
Şekil 4.11. İleri beslemeli geri yayılma ağların genel yapısı.....	67

Şekil 4.12.	Üç tabakalı bir yapay sinir ağı.....	70
Şekil 4.13.	İki girişli iki kurala sahip bir Sugeno bulanık modeli.....	74
Şekil 4.14.	BYSA mimarisi.....	74
Şekil 5.1.	ÇKYSA için gizli hücre sayısı ile KOKH değerlerinin değişim grafiği...	78
Şekil 5.2.	ÇKYSA modeli için eğitim hatalarının iterasyon sayısını ile değişim grafiği.....	79
Şekil 5.3.	Test aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	82
Şekil 5.4.	Test aşamasında ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramları.....	83
Şekil 5.5.	Test aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile BYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	86
Şekil 5.6.	BYSA, ÇDOR ve ÇDR'nun test aşamasındaki saçılma diyagramları.....	87
Şekil 5.7.	ÇKYSA modeli için eğitim hatalarının iterasyonla değişim grafiği.....	89
Şekil 5.8.	Eğitim, test ve değerlendirme aşamalarında, farklı ÇKYSA yapıları için gizli hücre sayısı ile KOKH değerlerinin değişim grafiği.	90
Şekil 5.9.	Analizlerde belirlenen en uygun ÇKYSA yapısı.....	91
Şekil 5.10.	Değerlendirme aşamasında ÇKYSA, Emiroglu vd. (2010b), ÇDOR ve ÇDR için saçılma diyagramı.....	93
Şekil 5.11.	Değerlendirme aşamasında RTYSA, GRYSA ve regresyon modelleri için saçılma diyagramı.....	95
Şekil 5.12.	Değerlendirme aşamasında BYSA, Emiroglu vd. (2010), ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı.....	97
Şekil 5.13.	Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇKYSA (6,11,1) modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	100
Şekil 5.14.	Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇDOR modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	100

Şekil 5.15.	Eğitim, test ve değerlendirme aşamalarında ÇKYSA için gizli hücre sayısı ile KOKH değerlerinin değişim grafiği.....	101
Şekil 5.16.	Değerlendirme aşamasında ÇKYSA (6,11,1), ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı.....	103
Şekil 5.17.	Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile GRYSA modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	104
Şekil 5.18.	Değerlendirme aşamasında GRYSA, ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı.....	105
Şekil 5.19.	ÇKYSA modeli için eğitim hatalarının iterasyon sayısı ile değişim grafiği.....	107
Şekil 5.20.	ÇKYSA (7,7,9,1) modelinin genel yapısı.....	108
Şekil 5.21.	Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇKYSA modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	110
Şekil 5.22.	Değerlendirme aşamasında ÇKYSA (7,7,9,1), ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı.....	110
Şekil 5.23.	Değerlendirme aşamasında GRYSA, ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı.....	112
Şekil 5.24.	Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile GRYSA, modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	112

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Savak boyutları ve akım karakteristikleri (Kumar ve Pathak, 1987).....	24
Tablo 2.2. Doğrusal kanallara yerleştirilen dikdörtgen yan savak debi katsayısı ile ilgili eşitlikler.....	35
Tablo 2.3. Doğrusal ve kıvrımlı kanallara yerleştirilen labirent yan savak debi katsayısı ile ilgili eşitlikler.....	36
Tablo 3.1. Test edilen dikdörtgen yan savağın boyutları	48
Tablo 3.2. Test edilen labirent yan savak boyutları.....	49
Tablo 5.1. ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinin test sonuçlarına göre elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri.....	81
Tablo 5.2. Farklı BYSA yapıları için eğitim ve test aşamasında elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri.....	85
Tablo 5.3. Test aşamasında BYSA, ÇDOR ve ÇDR için KOKH, OMH ve R değerleri.....	85
Tablo 5.4. Eğitim ve test aşamasında farklı hücre sayılarına sahip ÇKYSA modellerinin KOKH, OMH ve R değerleri.....	89
Tablo 5.5. Değerlendirme aşamasında herbir model için KOKH, OMH ve R değerleri.....	92
Tablo 5.6. Değerlendirme aşamasında RTYSA, GRYSA ve regresyon modelleri için KOKH, OMH ve R değerleri.....	94
Tablo 5.7. Eğitim ve test aşamasında farklı BYSA yapılarından elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri.....	96
Tablo 5.8. Değerlendirme aşamasında BYSA ve regresyon modellerinden elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri.....	97
Tablo 5.9. Eğitim ve test aşamalarında farklı gizli hücre sayıları için KOKH, OMH ve R değerleri.....	101

Tablo 5.10. Değerlendirme aşamasında farklı gizli hücre sayıları için KOKH, OMH ve R değerleri.....	102
Tablo 5.11. Değerlendirme aşamasında ÇKYSA ve regresyon modellerinden elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri.....	102
Tablo 5.12. Değerlendirme aşamasında, GRYSA ve regresyon modellerinden elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri.....	104
Tablo 5.13. Eğitim aşamasında farklı ÇKYSA yapıları için KOKH değerleri.....	107
Tablo 5.14. Test aşamasında farklı ÇKYSA yapıları için KOKH değerleri.....	108
Tablo 5.15. Değerlendirme aşamasında ÇKYSA (7,7,9,1), ÇDOR ve ÇDR için KOKH, OMH ve R değerleri.....	109
Tablo 5.16. Değerlendirme aşamasında, GRYSA ve regresyon modellerinden elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri.....	111

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Ana kanal ıslak kesit alanı (m^2)
b	: Ana kanal genişliği (m)
b₁	: Yan savak sonunda ana kanal genişliği (m)
b₂	: Yan savak başlangıcında ana kanal genişliği (m)
C_d	: Yan savak debi katsayısı
C_{nor}	: Akıma normal olarak yerleştirilen savağın debi katsayısı
E	: Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)
Fr	: Froude sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h	: Herhangi bir kesitteki akım derinliği (m)
h₁	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h₂	: Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h_{kr}	: Kritik akım halinde su derinliği (m)
h_f	: Ortalama akım derinliği (m)
h_m	: Ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h₀	: Başlangıç akım derinliği (m)
J	: Enerji çizgisi eğimi
J₀	: Ana kanal taban eğimi
k	: Pürüz yüksekliği
l	: Yan savak kret uzunluğu (m)
L	: Yan savak uzunluğu (m)
n	: Manning sürtünme katsayısı
p	: Yan savak kret yüksekliği (m)
Q	: Yan savak debisi (m^3/s)
Q₁	: Ana kanal debisi (m^3/s)
Q₂	: Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/s)
q	: Birim uzunluktan savaklanan debi ($m^3/s.m$)
r	: Kıvrım eğrilik yarıçapı (m)
r_c	: Kanal eksen eğrilik yarıçapı (m)
t	: Zaman (saniye)
τ	: Kayma gerilmesi (N/m^2)
x	: Yan savağın herhangi bir noktasının, yan savağın başlangıcına olan uzaklığı (m)
V	: Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/s)
V₁	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)
θ	: Labirent yan savak tepe açısı (°)
α	: Kıvrım merkez açısı (°)
φ	: İntegral alanını gösteren sembol
ψ	: Savaklanma (sapma) açısı (°)
W	: Ağırlık vektörü
E	: Hata değerleri vektörü
θ_j	: Başlangıç veya taraflılık değeridir
R	: Korelasyon katsayısı
R²	: Belirginlik Katsayısı
σ	: Yumuşatma parametresi

KISALTMALAR

BM	: Bulanık Mantık
BYSA	: Bulanık Yapay Sinir Ağı
ÇDR	: Çoklu Doğrusal Regresyon
ÇDOR	: Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon
ÇKYSA	: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı
GA	: Genetik Algoritma
GRYSA	: Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı
KOKH	: Karekök Ortalama Karesel Hata
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
RTYSA	: Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin hızlı bir şekilde ilerlediği günümüzde, insanoğlunun kendisini tanımaya yönelik çabaları da önemli aşamalar kaydetmiştir. Son yıllarda sıklıkla karşılaşılan yapay zeka kavramı da, bu çalışmaların bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Yapay zeka kavramı ile insanın en önemli özellikleri olan düşünebilme ve öğrenebilme yetenekleri, en önemli araştırma konuları durumuna gelmiştir. Son yıllarda, bilgisayar kullanımının hızla yaygınlaşması sonucunda yapay zeka çalışmaları da önemli bir ivme kazanmıştır.

Basitçe, insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanan yapay zeka kavramı, aslında programlanmış bir bilgisayara, düşünme yeteneğini sağlama girişimi olarak da tanımlanabilir. İnsan gibi düşünen ve insan gibi davranan sistemlerin geliştirilmesine yönelik olarak 1950’li yıllardan beri süregelen yapay zeka çalışmaları, bir noktada insanı taklit etmeye yönelik olduğundan mühendislik, nöroloji ve psikoloji gibi alanlara da yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsan gibi düşünebilen ve davranabilen sistemlerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalarda bugün geline nokta, henüz yapay zekanın tam olarak geliştirilememiş olmasıdır. Yapay zekanın mümkün olabilirliliği tartışmaları bir yana bırakılırsa, bu konudaki çalışmalar bu alanı destekleyen farklı alanlardaki çalışmalarla birlikte gelişmeye devam etmektedir.

Yapay zeka çalışmaları son yıllarda, hidrolik mühendisliğinde ve hidrolojik modellemelerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bir havzada yağış-akış ilişkisinin modellenmesi, akarsularda askı maddesi hesabı, akarsulardaki sediment taşınımı, akarsularda taşkın tahminleri, baraj-hazne işletme çalışmaları, bir göldeki su seviyesi değişiminin hesaplanması gibi alanlarda yapılan çalışmalarda, yapay zeka hesaplama tekniklerinden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada, hidrolik mühendisliğinde önemli bir yere sahip olan yan savakların, farklı tipleri için, debi katsayılarının tahmini, farklı yapay zeka hesaplama yöntemleri kullanılarak modellenmiş ve literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın temel konusunu oluşturan yan savaklar, herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için; taşkın, sulama,

arazi drenajı, birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde yaygın olarak kullanılan bir hidrolik yapıdır.

Doğrusal kanallar üzerine yerleştirilen yan savaklar ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda çoğunlukla dikdörtgen ve üçgen kesitli ince kenarlı savaklar kullanılmış ve bunların debi katsayıları, su yüzü profilleri belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulamalarda bu güne kadar ince kenarlı klasik yan savaklar kullanılmıştır. Bu çalışmada hem doğrusal hem de kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilen ve yeni bir yan savak tipi olan labirent tipi üçgen yan savaklar ve dikdörtgen yan savaklar analiz edilmiştir.

Labirent savak kavramı, planda düz olmayan savak kret şeklini ifade eder (Şekil 1.1). Labirent savaklar ile dolusavak kretinin etkili uzunluğu arttırılarak belirli bir göl seviyesinde savaklanabilen debinin arttırılması veya sabit bir debinin daha küçük kret su yükleri ile geçirilmesi sağlanarak, rezervuar su seviyesinin düşürülmesi amaçlanır. Bu savaklar; özellikle taşkın debisinin oluşturacağı rezervuar su seviyesi için, membadaki alanın kısıtlı olduğu veya topografyanın dolusavak genişliğini sınırlandırdığı koşullarda avantajlar sağlayan bir alternatif olarak değerlendirilebilir (Bilhan, 2005).



Şekil 1.1. Ute barajı labirent dolusavağı, New Mexico, Amerika Birleşik Devletleri (Bilhan, 2005)

TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) 104M394 no'lu proje kapsamında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nda Emiroğlu vd. tarafından 2007 yılında gerçekleştirilen deneysel

Çalışmalarda farklı labirent yan savak tepe açıları, farklı savak uzunlukları ve farklı kret yükseklikleri için, hem doğrusal kanalda hem de kıvrımlı kanalda bir dizi deneyler yürütölmüştür. Test edilen yan savakların debi katsayılarını belirlemek amacıyla deneyler, nehir rejimi, kararlı akım ve serbest savaklanma durumları için yürütölmüştür.

Bu tez çalışmasında, Emiroğlu vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, MATLAB programlama dili yardımıyla ve farklı yapay zeka hesaplama yöntemleri kullanılarak modellenmiş ve gözlenen değere en yakın tahmini debi katsayıları elde edilmeye çalışılmıştır.

2. YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ VE KONUyla İLGİLİ LİTERATÜR

Savaklar; mühendisler tarafından debi ölçümü ve taşkın kontrolü vb. amaçlar için yaygın olarak kullanılan en eski ve kullanım açısından en basit hidrolik yapılardandır. Farklı savak tiplerinin her birinin hidrolik davranışı birbirinden çok farklıdır.

Yan savaklar; basit olarak, bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin alınması için kullanılan hidrolik yapılardır. Bu savaklar kanalların yan duvarlarına akıma paralel olarak inşa edildiklerinden bu ismi almışlardır.

Yan savaklar birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için sulama, arazi drenajı ve kanalizasyon sistemlerinde tercih edilmektedir. Birleşik kanalizasyon sistemlerde ana kollektördeki temiz olan fazla yağmur suları, yan savaklar yardımıyla alıcı ortama direkt olarak verilebilmektedir. Böylece arıtma tesisinin yükü azaltılmaktadır.

Ayrıca, vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda yüzeysel akış etkisiyle meydana gelecek fazla debi de yan savaklar yardımıyla uzaklaştırılabilmektedir. Yine, sulamada dağılım ve kayıpların kontrolü yapılırken de yan savaklardan faydalanılır. Düşük randımanla yapılan sulama işlemi sonucu ortaya çıkan su kayıplarının önüne geçmek için, yan savaklar kullanılarak bu kayıpları en düşük seviyeye indirmek mümkündür.

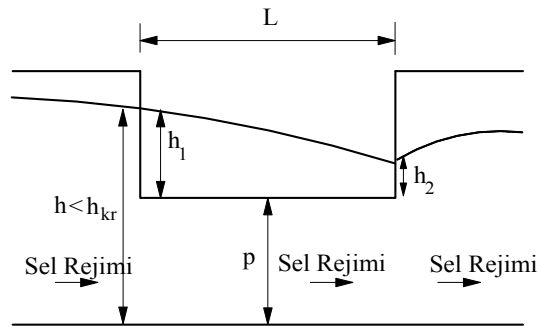
Yan savakların farklı enkesit tipleri mevcuttur. Yan savaklar dikdörtgen, trapez veya dairesel kanalların yan duvarlarına farklı enkesitlerde inşa edilebilirler. Bunları dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel yan savaklar olarak sıralamak mümkündür. Yan savaklar ana kanalın yanına inşa edilirken, ana kanal eksenine ile belirli bir açı yapacak şekilde inşa edilebileceği gibi ana kanala paralel olarak da inşa edilebilmektedir.

Yerleştirme yapılırken kullanılacak yan savak tipi, kanal enkesiti ve yerleştirme açısı savaklanacak debinin miktarını değiştirmektedir. Literatürde yan savakların debi katsayısı ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Günümüzde bu konu ile ilgili çalışmalar, gerek özel kuruluşlar, gerekse akademik olarak üniversiteler bünyesinde halen devam etmektedir.

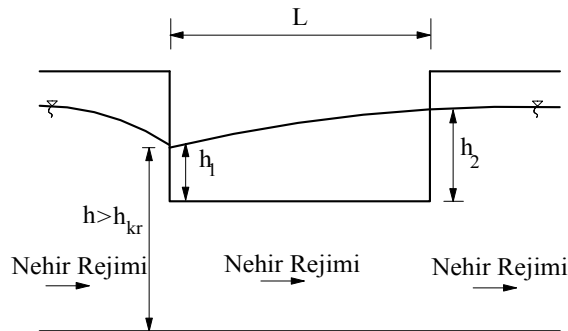
Yan savaklarda, savak üzerinden aşan su napının savak boyunca meydana gelecek serbest yüzey çizgisi, kanaldaki rejime bağlı olarak meydana gelmektedir.

Aşağıda yan savak üzerinde muhtemel meydana gelebilecek beş farklı su yüzü profili durumu verilmiştir.

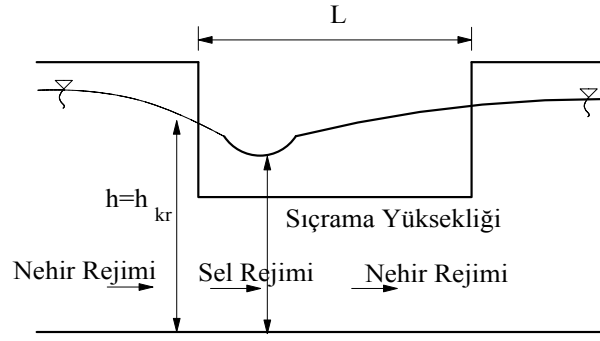
- Savak başlangıcında veya yakınında kritik akım şartları meydana gelir. Akım savak boyunca sel rejimindedir ve su derinliği savak üzerinde azalır (Şekil 2.1.a).
- Savak başlangıcında su derinliği kritik derinlikten büyüktür. Akım savak boyunca nehir rejimindedir ve su derinliği savak boyunca gittikçe artar (Şekil 2.1.b).
- Yan savaktan önce nehir rejiminde olan akım savak başında kritik seviyeye yakın değere düşmekte ve enerji kaybına uğrayarak nehir rejimine geçmektedir. Başlangıçta savak yükü azalmakta sıçramadan sonra artmaktadır (Şekil 2.1.c).
- Savaktan önce akım sel rejimindedir ve derinlik kritik derinliğin altındadır. Yan savak boyunca da akım sel rejiminde devam etmektedir (Şekil 2.1.d).
- Girişte su seviyesi kritik seviyenin altına düşmüştür. Debi azalmasından dolayı bir sıçrama meydana gelmekte akım enerjisi kayba uğrayarak daha küçük bir enerji seviyesine inmektedir (Şekil 2.1.e).



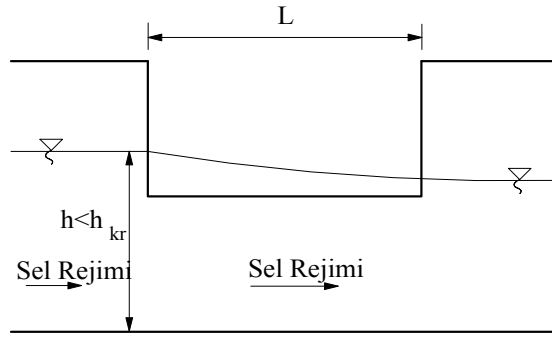
Şekil 2.1.a



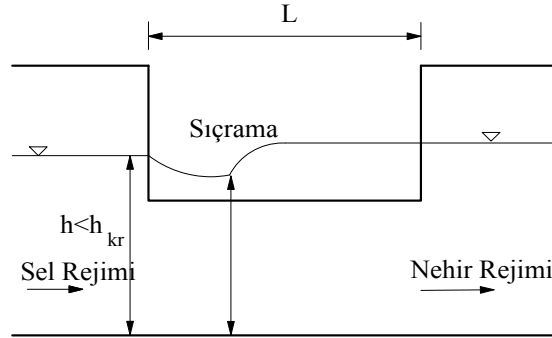
Şekil 2.1.b



Şekil 2.1.c



Şekil 2.1.d



Şekil 2.1.e

Şekil 2.1. (a-e) Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri (Emiroğlu vd., 2007)

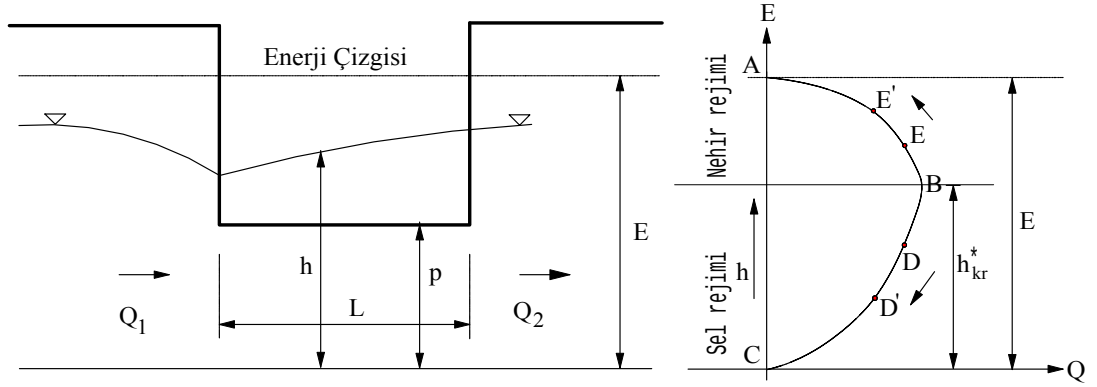
De Marchi (1934), yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını varsayarak teorik bir çalışma yapmıştır. Yazarın yaptığı kabuller aşağıdaki belirtilmiştir;

- Ana kanalda kararlı akım şartları mevcuttur.
- Yan savak kreti ana kanal tabanına paraleldir.

- Yan savak, üniform enkesitli uzun bir kanal üzerine yerleştirilmiştir.
- Yan savağın memba ve mansabındaki belirli mesafelerde kanaldaki akım üniformdur.
- Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.
- Verilen herhangi bir yan savak uzunluğunda geçen debi, normal savak formüllerinde olduğu gibi, Eşitlik 2.1 ile hesaplanır.

$$\frac{dQ'}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.1)$$

burada; Q' (m^3/s) yan savak debisini, C_d (m^3/s) debi katsayısını, g (m/s^2) yerçekim ivmesini, h (m) su yüksekliğini ve p (m) kret yüksekliğini ifade eder. Buradan, kısaca yan savak ya da kanaldaki akım derinliğinin değişmediğinin varsayıldığı anlamı çıkarılabilir. Bir kanalın sabit bir enerji seviyesinde geçirebileceği debi ile su derinliği arasındaki bağıntı Koch parabolü ile verilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki (De Marchi, 1934)

Yan savak ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışmalara ulaşılmıştır. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Engels (1920), yaptığı deneysel çalışmalarda yan savaklar üzerindeki su yüzü profillerini gözlemleyerek yan savaktan savaklanan debi için;

$$Q' = C_d \sqrt{2g} L^{0.83} (h_2 - p)^{1.67} \quad (2.2)$$

eşitliğini vermiştir. Deneyler dikdörtgen enkesitli kanallarda gerçekleştirilmiştir. Burada; Q' yan savak debisini (m^3/s) ifade etmektedir.

Araştırmacının vermiş olduğu Eşitlik 2.2, sabit genişlikli dikdörtgen kanallar için geçerlidir. Araştırmacı ayrıca yan savak uzunluğu boyunca kanal genişliğini tedricen azalan dikdörtgen enkesitli kanallar için ise Eşitlik 2.3'ü vermiştir.

$$Q' = C_d \sqrt{2g} L^{0.90} (h_2 - p)^{1.60} \quad (2.3)$$

Coleman ve Smith (1923), sel rejimli akım şartlarında yapmış oldukları yan savaklarla ilgili çalışmalarda su yüzü profilinin yan savak boyunca mambadan mansaba doğru azaldığını ve mansap kısmında tekrar artarak normal akım derinliğine ulaştığını gözlemlemiştir. Deneyler dikdörtgen enkesitli kanallarda yapılmıştır. Coleman ve Smith (1923), yan savak debisini veren bağıntıyı da;

$$Q' = 2.58bL^{0.72} (h_1 - p)^{1.645} \quad (2.4)$$

şeklinde vermişlerdir. Buna ilaveten, yan savak uzunluğunu veren eşitliğide (Eşitlik 2.5) aşağıdaki gibi sunmuşlardır.

$$L = 1.16bV_1(h_1 - p)^{0.13} \left[\sqrt{\left(\frac{I}{h_2 - p} \right)} - \sqrt{\left(\frac{I}{h_1 - p} \right)} \right] \quad (2.5)$$

burada; V_1 (m/s) yan savak mambasında ana kanal kesitindeki hız'dır. Eşitlik 2.5'te $(h_2 - p)$ teriminin 19 mm'den daha az alınmaması gerektiği belirtilmiştir. Çünkü eşitlikten görüleceği gibi, $(h_2 - p)$ terimi küçüldükçe L yan savak uzunluğu sonsuza gitmektedir. Yukarıda da ifade edildiği gibi yüzey gerilme etkilerinin minimize edilmesi için, minimum nap yükünün 19 mm alınmasını önermişlerdir.

Nimmo (1928), q_x ifadesinin $(h - p)$ savak yüküne bağlı olarak aşağıdaki eşitlik ile bulunabileceğini belirtmiştir.

$$q_x = -C_d (h - p)^{3/2} \quad (2.6)$$

burada; C_d yan savak debi katsayısını ifade eder. Eşitlik 2.6'daki eksi (-) işareti savak boyunca ana kanal debisinin azalmasını ifade eder.

Nimmo (1928), ayrıca Eşitlik 2.6 ifadesinde kanalın yatay ($J=J_0$) ve sürtünme yük kayıplarının ihmal edilebileceği kabulü ile;

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Q}{gA^2} \left(\frac{1}{Fr^2} - 1 \right) \frac{dQ'}{dx} \quad (2.7)$$

şeklinde basitleştirilebileceğini belirtmiştir.

Gentilini (1938), De Marchi'nin (1934), çalışmalarını izleyerek yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda, De Marchi'nin (1934) çalışmalarının nehir rejimli akım şartlarında uygun olabileceğini, sel rejimli akımlarda ise teori ve deneysel çalışmalar arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Frazer (1954), dikdörtgen enkesitli kanaldaki yan savaklarda yaptığı deneylerle konuyu teorik ve deneysel olarak incelemiş, çalışmalarında hem ana kanaldaki akım miktarını ve ana kanal genişliğini, hem de yan savak boyutları ve savaklanan akım miktarını değiştirmiştir.

Araştırmacı teorik incelemeleri sonucunda büyük eğimli kanallarda üç farklı su yüzü hareketinin olabileceğini ifade etmiştir. Bunlar;

- Yan savak boyunca su derinliği azalan sel rejimli ana kanal akımı,
- Yan savak boyunca su derinliği artan nehir rejimli ana kanal akımı,
- Yan savak başlangıcında ana kanaldaki sel rejimli akım, yan savak kesitinde hidrolik sıçrama meydana geldikten sonra nehir rejimli akım şeklindedir.

Bu hareketlerin De Marchi (1934), tarafından belirtilen akım durumlarıyla aynı olduğu görülmektedir. Frazer (1954), analizlerinde aşağıdaki kabulleri yaptığını belirtmiştir.

- Herhangi bir noktadaki basınç yükü o noktadaki su derinliğine eşittir.
- Ana kanalın herhangi bir kesitindeki hız üniformdur.
- Birbirine çok yakın iki kesit arasında sürtünme kayıpları ihmal edilebilir. Buradan da akım şartlarının ana kanaldaki Reynolds sayısından bağımsız olduğu kabulü yapıldığı anlaşılabılır.
- Savak üzerindeki Q' debisinin ana kanal doğrultusuna paralel hız bileşeni ana kanalın akım doğrultusundaki V_1 hızına eşittir.
- Savaklanan debi Q' debisine yalnızca atmosfer basıncının etkisi vardır.

- Kanal tabanına yakın derinliklerde akım çizgisi yatay kabul edilebilecek kadar küçük eğriliklere sahiptir.

Frazer (1954), yukarıdaki kabulleri yapmış ve momentum yaklaşımını kullanarak olayı teorik olarak çözememiş fakat yaptığı deneysel çalışma sonuçlarına dayanarak, yarı ampirik ifadeler elde etmiştir. Araştırmacı yaptığı deneysel çalışmalarda çeşitli denemelerden sonra ve yaptığı kabullerle Simpson metodunu kullanarak ortalama akım derinliğini veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmiştir.

$$h_f = \frac{h_b + 4h + h_w}{6} \quad (2.8)$$

burada; h_f ortalama akım derinliğini (m), h_b : dış kıyıdaki ana kanal su derinliğini (m), h ana kanal eksenindeki su derinliğini (m) ve h_w yan savak bölgesindeki su derinliğini (m) ifade eder.

Schmidt (1955), dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimine sahip akım şartlarında deneysel çalışmalar yaparak normal savak denklemine benzeyen aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$Q' = C_d L \sqrt{2g} \left(\frac{(h_1 - p) + (h_2 - p)}{2} \right)^{3/2} \quad (2.9)$$

burada; Q' yan savaktan savaklanan debi'dir.

Collinge (1957), $Fr=0.95$ civarında ve $Fr=1.15$ değerinden daha büyük değerlerde deneysel sonuçların De Marchi'nin (1934) teoremine çok iyi uyum sağladığını söylemiş fakat $Fr=1.0$ civarında teori ile deneysel çalışmalar arasında büyük farklılıklar olduğunu belirtmiş, teori ile deneysel sonuçlar arasındaki bu farklılığı enerji kayıplarına ve savak katsayısına bağlamıştır.

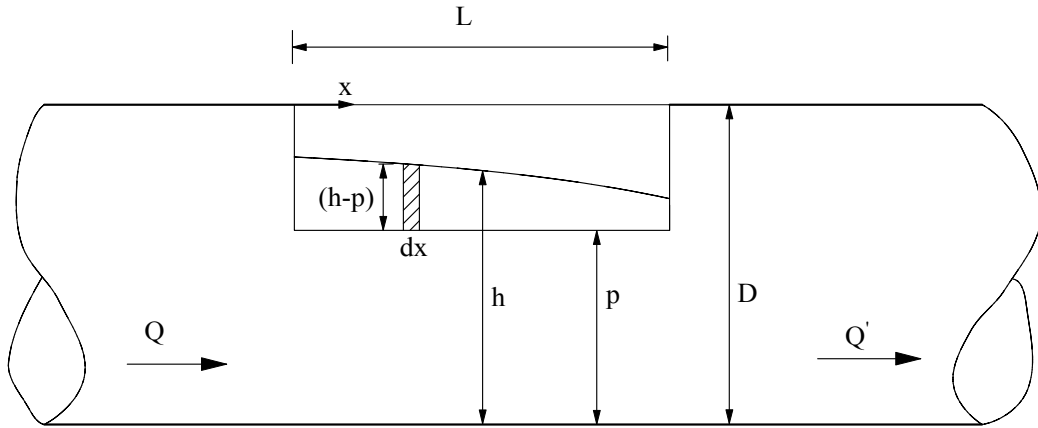
Allen (1957), dairesel enkesitli kanallarda yan savaklar üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarında iç çapı 0.15 m, uzunluğu 2.14 m olan boru kullanmıştır. Şekil 2.3'te de gösterildiği gibi çapı D_s olan dairesel kesitli bir kanalda kanal eksenini üzerindeki herhangi bir noktanın yan savağın memba ucuna olan uzaklığı x ve yan savak su yükü $(h-p)$ ile verilirse, $(h-p)$ savak yükü x uzaklığının bir fonksiyonu olarak değişim gösterir. Savak yükünün sabit olduğu kabulü ile savağın birim uzunluğundan (dx) savaklanan debi;

$$dQ' = C_d (h - p)^{n'} dx \quad (2.10)$$

olarak verilmiştir. Allen (1957), yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda $n' = 2/3$ olarak elde etmiştir. Buna göre savağın birim uzunluğundan geçen debi;

$$dQ' = C_d (h - p)^{2/3} dx \quad (2.11)$$

olarak bulunur.



Şekil 2.3. Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü (Allen, 1957)

Subramanya ve Awasthy (1972), yan savaklarla ilgili yapılmış olan araştırmaların (1972'ye kadar) çoğunun ampirik formda olduğunu ve konu ile ilgili ilk gerçekçi yaklaşımın De Marchi (1934), tarafından ortaya atıldığını, fakat teorik olarak elde edilen denklemdeki katsayı değişimi hakkında ise yeterli olmadığını ifade etmişlerdir. Bu nedenle yazarlar yaptıkları çalışmalarında, debi katsayısının değişimini belirleme üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmalarını, nehir rejimli akım şartlarında hem sıfır savak eşik yüksekliği hem de sonlu savak eşik yüksekliği için; sel rejimli akım şartlarında ise, sonlu yükseklikli savaklar için yapmışlardır.

Araştırmacılar, yan savağın birim boyundan geçen debiyi (q_w);

$$q_w = -\frac{dQ'}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.12)$$

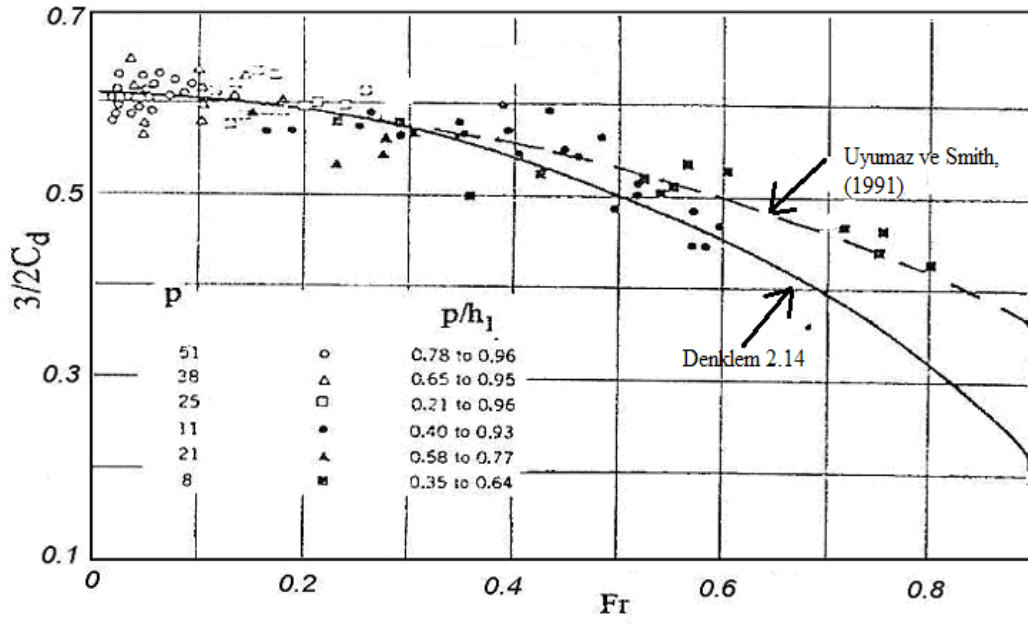
şeklinde belirlemişlerdir. Buna göre debi katsayısının, C_d , değişimini incelemişler ve boyut analizi sonucunda C_d 'ye etkili boyutsuz parametreleri;

$$C_d = f\left\{Fr = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}, \frac{L}{b}, \frac{h}{L}, \frac{p}{h}\right\} \quad (2.13)$$

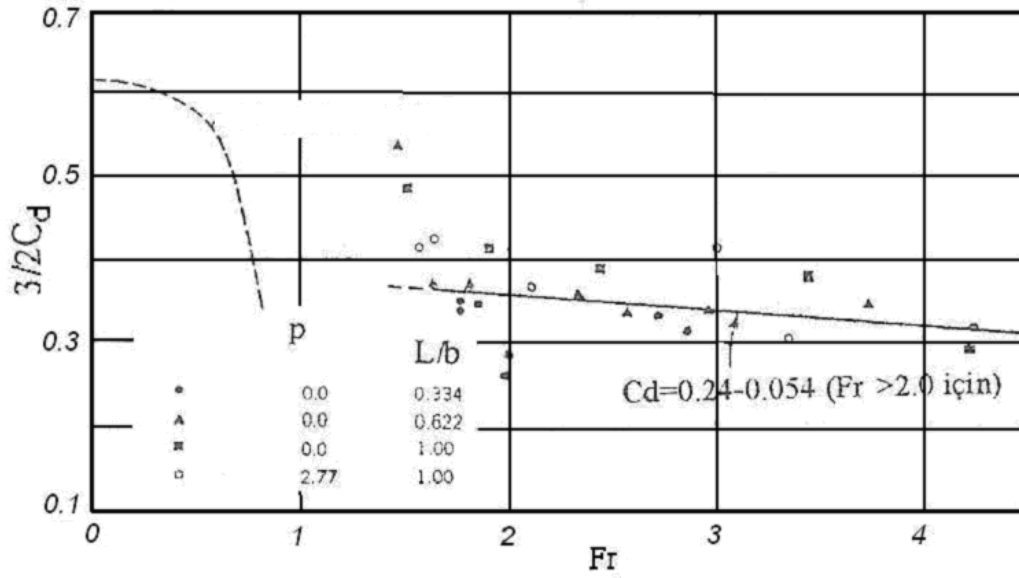
olarak ifade etmişlerdir. Araştırmacılarca kanaldaki değişik akım şartları için C_d değerinin değişimi ile ilgili yeterli bir bilgi mevcut değildir. Yazarların ifadesine göre, Ackers (1957), h 'ın savaktan uzakta ölçülmesi durumunda $C_d=0.417$ değerini, h 'ın savak kesitine yakın ölçülmesi durumunda ise $C_d=0.483$ değerinin alınmasını önermişlerdir. Yine araştırmacılara göre Collinge (1957), C_d değerinin kanal membasındaki akımın ortalama hızı ile değiştiğini ifade etmiştir. Ayrıca C_d 'ye etkili en önemli parametrenin ana kanaldaki Froude sayısı olduğunu belirtmişler, diğer parametrelerin etkisinin az olduğunu öne sürerek nehir rejimli akım şartları için yan savak debi katsayısı ifadesini;

$$C_d = 0.407 \left[1 - \sqrt{\left(\frac{3Fr^2}{Fr^2 + 2} \right)} \right] \quad (2.14)$$

şeklinde sunmuşlardır. Bu ifadenin nehir rejimine sahip kanal şartlarında sıfır eşik yükseklikli savaklar için deneysel olarak bulunan C_d değerleri ile iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Sonlu yükseklikli yan savaklar için ise $Fr < 0.6$ değerlerinde küçük sapmalar görülmektedir. Bu sapmalar araştırmacılar tarafından deneysel hatalara bağlanmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Nehir rejimli akım şartlarında C_d yan savak debi katsayısının Fr ile değişimi (Subramanya ve Awasthy, 1972)



Şekil 2.5. Sel rejimli akım şartlarında C_d yan savak debi katsayısının Fr ile değişimi (Subramanya ve Awasthy, 1972)

Sel rejimindeki akım şartlarında ise p/h_1 , h_1/L , L/b boyutsuz parametrelerinin etkilerinin olmadığı ve nehir rejiminde debi katsayısına etkiyen Fr sayısının etkisinin de çok az olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Buna ilaveten sel rejiminde Fr sayısının etkisinin az olmasının muhtemelen sürtünme tesirlerinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Yazarlar $Fr > 2.0$ için C_d katsayısının değişimini ise;

$$C_d = 0.24 - 0.054F_r \quad (2.15)$$

eşitliği ile vermişlerdir (Şekil 2.5). Araştırmacılar, gerek nehir rejimli akım şartları için verilen (2.14) bağıntısının gerekse sel rejimli akım şartları için verilen (2.15) bağıntısının yan savaklar üzerinden geçen debinin hesaplanması için kullanılabileceğini ve bu ifadelerin hem sıfır hem de sonlu savak yüksekliğine sahip yan savaklar için geçerli olduğunu vurgulamışlardır.

Smith (1974), deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yaklaşık çözüm yollarının belli bir sayıda değişkeni içermesinden dolayı uygulamaların yetersiz olduğunu söylemiştir. Sabit dikdörtgen enkesitli kanallarda, kanal tabanının yatay ve sürtünme kayıplarının ihmal edildiği durumlarda De Marchi (1934), teoreminin çözümünün geçerli olduğunu fakat zor bir kullanıma sahip olduğunu ifade etmiştir. Yüksek hıza sahip bilgisayarlarla çeşitli enkesite sahip kanallar ve oldukça fazla değişim gösterebilen yan savak eşik yüksekliği ve kanal tabanı için çözümün yapılabileceğini belirtmiştir. Smith (1974), yapılan kabullerden ötürü yan savak su yüzü profilini veren bağıntının kullanılmasıyla yapılan çözümlerin hatalı sonuçlar verdiğini belirterek, yeni formüller geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca bu formüllerin enerji kayıplarını da kapsayacak şekilde düzenlenebileceğini ve bununla ilgili bilgisayar programları yapılarak çözülmesi durumunda oldukça iyi sonuçlar verebileceğini ileri sürmüştür.

Akan (1974) ve Smith (1974), tarafından yapılan deneysel çalışmalarda, enerji yüksekliğinin sabit olarak alınmasının doğru olmadığını belirtmiş ve ayrıca akım savağa belli bir açı yaparak girdiğinden klasik yan savak ifadesinin kullanımının hatalı olduğunu belirtmiştir.

El-Khashab (1975), dikdörtgen enkesitli bir kanalda yan savaklarla ilgili yapmış olduğu deneysel çalışmalarda C_d yan savak debi katsayısını, savak üzerindeki su yüzü profilini, savak kesitinde ana kanaldaki su yüzü profilini, hız dağılımlarını ve yanal akımdan ötürü ana kanalda oluşan sekonder akımı incelemiştir. C_d yan savak debi katsayısına etkili parametreleri boyut analizi yardımıyla;

$$C_d = f(Fr, p/h_1, L/h_1, b/h_1) \quad (2.16)$$

şeklinde vermiştir. Ayrıca akımın yan savak sapma açısı ψ' ye etki eden boyutsuz parametreleri de;

$$\psi = f\{Fr, p / h_1, L / h_1, b / h_1\} \quad (2.17)$$

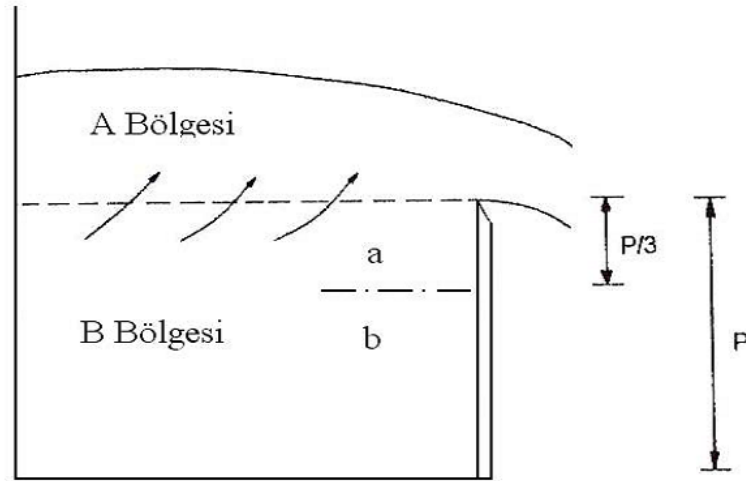
olarak belirtmiştir. Yukarıdan da görüleceği gibi C_d ve ψ aynı boyutsuz parametrelerin fonksiyonudur ve birbirleriyle doğrudan ilişkilidir.

Araştırmacı, yan savak boyunca akımın hareketini ve sekonder akımın yapısını aşağıdaki gibi özetlemiştir:

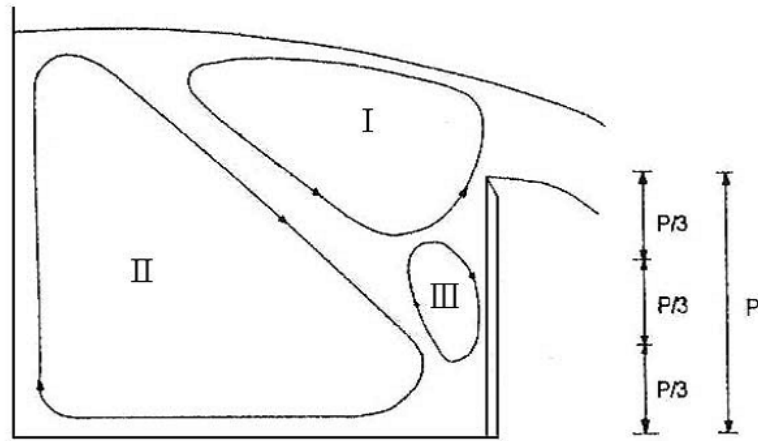
Yan savak eşiği üzerinde A Bölgesi'ndeki su kütlesi doğrudan yan savağa hareket ederek savaklanır (Şekil 2.6). Yan savak eşiği altındaki B Bölgesi'ndeki akım iki farklı davranış gösterir.

a) Savak eşiği yakınlarındaki su kütlesi (Savak eşik yüksekliğinin yaklaşık 1/3 lük kısmı) A bölgesindeki su kütlesine katılır ve savağa yönelir. Bu, sekonder akım planındaki her su zerreciğinin hızının düşey bileşeninden kaynaklanmaktadır.

b) Savak eşiği altındaki 2/3 p 'lik kısımdaki su kütlesi doğrudan kanal tabanına yönelir. Yan savağın ikinci yarısı boyunca sekonder akımın etkisi daha belirgin hale gelir. Bundan sonra sekonder akımda bozulmalar olur. İç kıyıda düşük hız alan (durgunluk bölgesi) hızla gelişir. Bu bölgede iç kıyıya yakın çok şiddetli sekonder akımın mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kanal taban yakınlarında düşük enerjili akışkan savak tarafından iç kıyıya süpürülür ve iç kıyıda yükselerek, akımın üst bölgelerinde iç kıyıda düşük enerjili bir durgunluk bölgesi oluşturur (II bölgesi). Yüksek hızlı akım çizgileri durgunluk bölgesinin daha da üzerinden geçerek savaklanır (Şekil 2.7). Bunun sonucunda, yüksek hızlı akım yeni bir bölge oluşturarak bunu yan savağa doğru iter (I bölgesi). Yan savak boyunca bu alanın değişimi hızlıdır fakat bu değişim savak sonuna doğru kararlı hale gelir. Bu yeni bölgenin (I bölgesi) büyüklüğü yan savak mansabına doğru gidildikçe küçülerek, savağa yakın bölgeler hariç tüm enkesitte küçük hızlar elde edilir. Ana kanal boyunca enkesitteki durgunluk bölgesi devam ederken, I bölgesindeki su kütlesi yan savağa yönelir. I ve II bölgeleri arasında, büyük hız azalması sebebiyle, süreksizlik meydana gelir (III bölgesi). Bu bölgede de sınıra yakın çok şiddetli sekonder akım görülür.



Şekil 2.6. Yanal akım sebebiyle kanal enkesitindeki akımın hareketi (El-Khashab, 1975)



Şekil 2.7. Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım (El-Khashab, 1975)

El-Khashab ve Smith (1976), dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savak olayının incelenmesinde kanaldaki boyuna hız bileşeninin savak üzerindeki akımdan ötürü değişmemesi nedeni ile momentum denkleminin enerji denklemine göre daha kolay sonuçlar verdiğini söylemişlerdir. Yan savak uzunluğunun çok kısa olmaması ve $Q'/Q = 0.75$ değerinde, herhangi bir savak uzunluğu için uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca savak yüksekliğinin sıfıra yaklaşması halinde çözümün geçerli olacağını, fakat $Q'/Q = 1$ değerinde ise çözümün geçersiz olacağını ifade etmişlerdir

Yen (1977), bir kanal üzerinde yan savak varsa hız vektörü, basınç ve su yüzü profilinin enine doğrultudaki değişimlerinin de bilinmesi gerektiğini söylemiştir. El-

Khasap ve Smith (1976) tarafından verilen momentum denkleminin enerji denkleminde daha iyi olduğu fikrine katılmadığını belirterek denklemlerin doğru kullanılmaları halinde her ikisinin de iyi sonuç verebileceğini ifade etmiştir.

Ranga Raju vd. (1979), dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savağın ana kanala dik bir branşa yerleştirilmesi durumunda keskin ve kalın kenarlı yan savaklarda nehir rejimli akım halinde deneysel çalışmalar yaparak yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığı kabulüyle yan savak debi katsayılarını belirlemişlerdir (Şekil 2.8).

Q , Q' , h_1 , h_2 ve p değerlerini ölçerek, De Marchi (1934), tarafından verilen formülleri kullanarak keskin kenarlı yan savağın bir branşa yerleştirilmesi durumundaki yan savak debi katsayısı için;

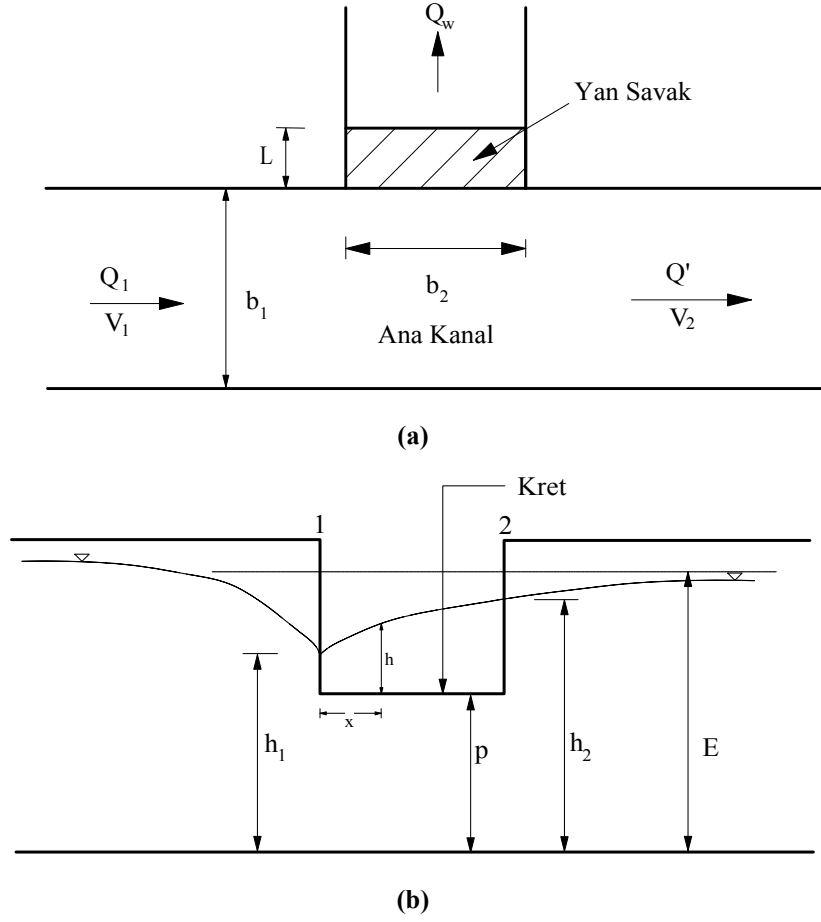
$$C_d = 0.54 - 0.40Fr \quad (2.18)$$

bağıntısını vermişlerdir.

Ranga Raju vd. (1979), C_d yan savak debi katsayısının keskin kenarlı savaklarda sadece Froude sayısına, kalın kenarlı savaklarda ise Froude sayısının yanısıra $(h_1 - p)/L_s$ değerine de bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Burada; L_s kalın kenarlı savak kalınlığı'dır.

Ranga Raju vd. (1979)'a göre bu ifadede elde edilen C_d değeri Subramanya ve Awasthy (1972), tarafından verilmiş olan (2.15) bağıntısındaki değerden daha büyük çıkmaktadır. Bu farkın yan savağın bağlandığı branş duvarlarının etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kalın kenarlı yan savağın branşa yerleştirilmesi halinde ise (2.19) bağıntısının K katsayısı ile çarpılarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

$$C_d = (0.54 - 0.40Fr)K \quad (2.19)$$



Şekil 2.8. Ana kanal dik bir kol bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (a) Plan (b) Kesit (R. Raju vd., 1979)

K katsayısının değişimini de;

$$K=0.80+0.10[(h_1-p)/L_s] \quad (2.20)$$

ifadesiyle vermişlerdir. Burada; L_s kalın kenarlı savak kalınlığı'dır.

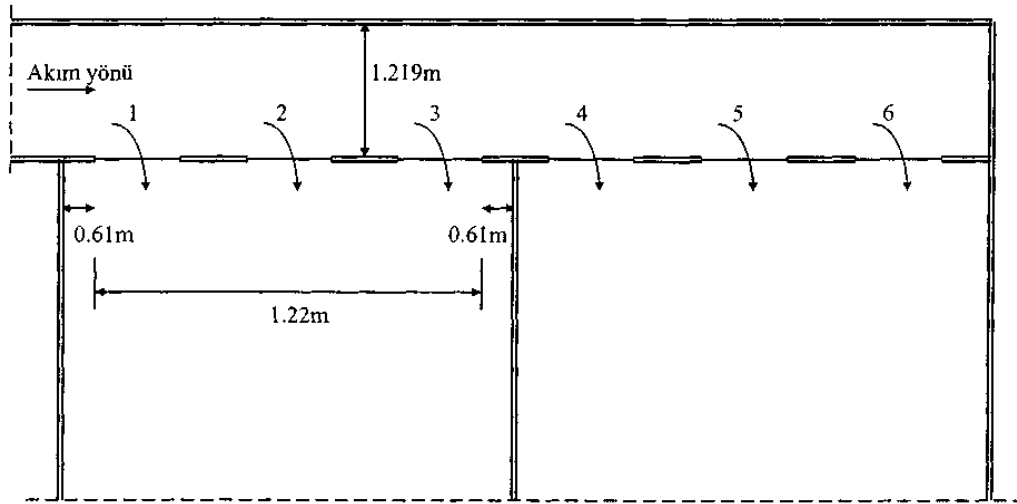
Rammurthy ve Carballada (1980), dikdörtgen enkesitli ve yatay tabanlı bir kanalda yaptıkları deneysel çalışmaları yan savak memba kısmındaki akım nehir rejimli ve $L/b < 1$ olması şartlarında gerçekleştirmişlerdir.

Ayrıca yan savak üzerinden geçen akımı ana kanalla açı yapan bir su jeti gibi düşünerek akım modeli geliştirmişler ve yan savak debisi için iki boyutlu bir akım modeli kurmuşlardır. Deneysel çalışmadan elde ettikleri verilerin kurdukları modele uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Chao ve Trussel (1980), içme ve atıksu arıtma tesislerine üniform debi sağlamak için nehir rejimli akım şartlarında dikdörtgen prizmatik bir kanala seri olarak yerleştirilen yan savaklar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada her bir savağın akım karakteristiğini ayrı ayrı incelemişlerdir (Şekil 2.9).

Her bir savaktaki debiyi tayin etmek için De Marchi (1934), tarafından verilen Eşitlik 2.1'i kullanmışlar ve C_d yan savak debi katsayısı için de Subramanya ve Awasthy (1972), tarafından verilmiş olan Eşitlik 2.15'den yararlanmışlardır.

Chao ve Trussel (1980), tarafından 6 no'lu savaktan 1 no'lu savağa göre % 30 daha fazla debi geçtiği, ayrıca 4, 5, 6 no'lu savakların bulunduğu ikinci tankın birinciye göre %17 daha fazla debi aldığını gözlemlenmiştir. Buradan da akım yönüne gidildikçe savaklanan debinin arttığı görülmüştür.



Şekil 2.9. Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980)

Chao ve Trussel (1980), istenilen üniform akımın sağlanması için dağıtım kanalı ve yan savaklarda yapılması gerekli değişiklik ve düzenlemelerin aşağıda belirtilen şekillerde yapılmasını tavsiye etmişlerdir. Üniform akım sağlanması için deney kanalında yapılan değişiklikler Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

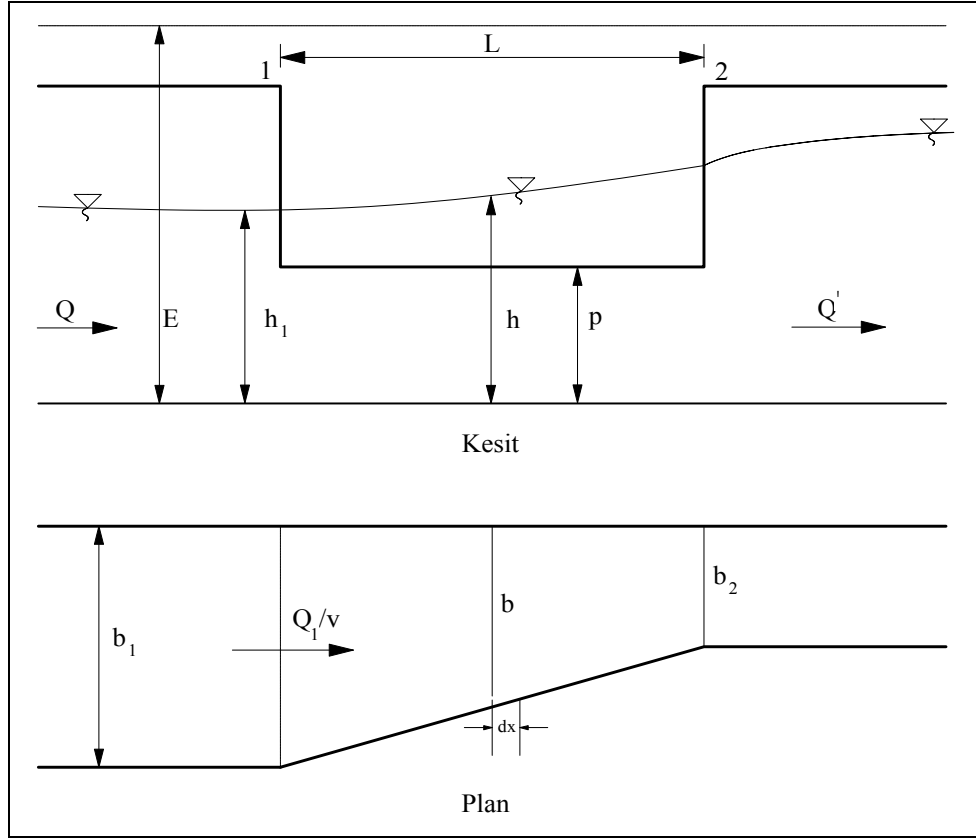
- Dağıtım kanalının geometrik şeklini değiştirmeden savak yüksekliğinin ayarlanması,
- Üniform daralan dağıtım kanalında savak yüksekliklerinde küçük ayarlamalar yapılması,

-
- The diagram illustrates a roof truss system. A horizontal beam is supported by two vertical columns. The beam has a total height of 1.83m and a depth of 0.61m. The span between the two supports is 1.22m. The beam is divided into six segments by five internal joints, numbered 1 through 6. Arrows indicate the direction of forces or moments at each joint. The roof structure is shown as a series of connected members, with a dashed line indicating the ground level.

Jain ve Fischer (1982), yan savak üzerinde üniform bir debi elde etmek için kanal genişliği savak boyunca azalan dikdörtgen enkesitli bir kanala eğik olarak yerleştirilmiş dikdörtgen enkesitli savaklarla çalışmalarını yapmışlardır (Şekil 2.11).

$$b_1 = \frac{Q}{Q_c} b_2 \quad (2.21)$$

20



Şekil 2.11. Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yan savağın plan ve kesiti (Jain ve Fischer, 1982)

Uyumaz (1982), dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklarda ana kanal eksenini üzerindeki su yüzü profilinin diferansiyel denklemini çıkararak bu denklemin nümerik çözümünü yapmış ve çözümün deneysel verilerle uygunluğunu araştırmıştır. Ayrıca dikdörtgen enkesitli kanallardaki çözümlerle karşılaştırmış ve dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savaklar için verilen bağıntıların dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklar için geçerli olup olmadığını belirtmiştir. Araştırmacı, nehir ve sel rejimli akım şartlarında yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimli akım şartlarında yan savak enkesitinden ana kanal eksenindeki su yüzü profilinin membadan mansaba doğru giderek arttığını, sel rejimli akım şartlarında ise membadan mansaba doğru gittikçe azaldığını gözlemlemiştir. Araştırmacı, deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimli akım şartlarında elde edilen yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişiminin exponansiyel bir karakter taşıdığını, L/D_s 'nin (D_s dairesel enkesitli kanalın çapıdır) büyük değerlerinde Froude sayısına fazla bağlı olmadığını ama küçük L/D_s değerlerinde bağımlılığın arttığını gözlemlemiştir. Araştırmacı nehir rejimli akım şartları için yan savak debi katsayısını veren ifadeyi;

$$C_d = B_1 + C_1 \sqrt{1 + Fr} \quad (2.22)$$

şeklinde bulmuştur. Burada;

$$B_1 = 0.21 + 0.094 \sqrt{1.74 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.23)$$

$$C_1 = 0.22 - 0.08 \sqrt{1.68 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.24)$$

şeklinde verilmiştir. Burada; L savak uzunluğunu, D_s ise ana kanal çapını göstermektedir. Sel rejimli akım şartlarında ise yan savak debi katsayısının Froude sayısına çok az bağlı olduğunu ve doğrusal formda değişim gösterdiğini belirterek;

$$C_d = M Fr + N \quad (2.25)$$

ifadesini vermiştir. M ve N katsayılarının p/D_s 'ye fazla bağımlı olmadığını, L/D_s 'ye ise bağlı olduğunu belirtmiş ve p/D_s 'yi ihmal ederek M ve N katsayıları için;

$$M = 0.046 + 0.054 \sqrt{1.67 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.26)$$

ve

$$N = 0.24 + 0.021 \sqrt{1 + 35.3 \frac{L}{D_s}} \quad (2.27)$$

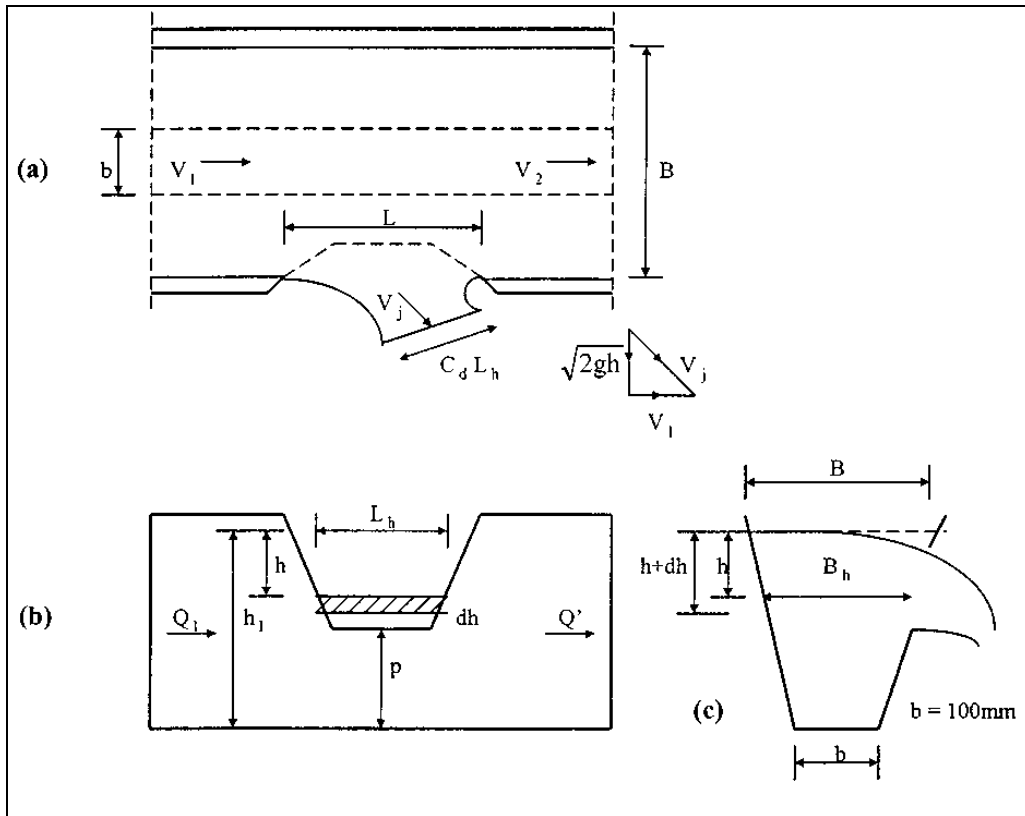
bağıntılarını vermiştir. p/D_s ifadesini ihmal etmekle birlikte, maksimum %5'lik bir hata yapılabileceğini belirtmiştir.

Ramamurthy vd. (1986), Ramamurthy ve Carballada'nın (1980) dikdörtgen enkesitli kanalda dikdörtgen yan savak için kurdukları matematiksel modeli baz alarak, trapez enkesitli kanalda trapez kesitli yan savaklar için de bir model geliştirmişlerdir.

Geliştirdikleri modelde yan savaktaki akımın ana kanaldan belli bir açı ile sapan çok sayıda jet akımının toplamı olduğunu kabul etmişlerdir (Şekil 2.12).

Yan savak katsayısı için aşağıdaki kabulleri yapmışlardır;

- Kanal tabanı ve serbest su yüzeyi yataydır.
- Yan savak membasında ana kanaldaki akım nehir rejimindedir.
- Yan savak membasındaki hız su derinliği ile değişmez.
- Su yüzeyindeki yan savak uzunluğunun ana kanaldaki su yüzey uzunluğuna oranı, serbest su yüzeyinden h kadar derinlikte yan savak uzunluğunun yine aynı derinlikteki kanal genişliğine oranı aynıdır.
- Su yüzeyinden h kadar derinlikte sonsuz küçük bir tabakadan çıkan su jeti için, kanal eksenine normal hız bileşeni $\sqrt{2gh}$ 'dır.



Şekil 2.12. Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak görünüşü; (a) plan, (b) kesit, (c) görünüş (Ramamurthy vd., 1986)

Kumar ve Pathak (1987), dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimli akım şartlarında keskin ve kalın kenarlı üçgen yan savakların debi katsayısını belirlemek için deneysel bir

çalışma yürütmüşlerdir. Ayrıca De Marchi (1934), tarafından verilen eşitliğin, yan savak uzunluğunun hesaplanmasında kullanılabileceğini ve (1) ile (2) kesitlerinde ölçülen debi ve derinlik değerlerinden C_d 'nin hesaplanabileceğini belirtmişlerdir (Şekil 2.13). Bu durumu, üçgen yan savaklar için aşağıdaki eşitlikle ifade etmişlerdir (Eşitlik 2.28).

$$L = x_2 - x_1 = \frac{15b}{4C_d} \left[\phi \left(\frac{h_2}{E} \right) - \phi \left(\frac{h_1}{E} \right) \right] \quad (2.28)$$

Yazarlar, yüzeysel gerilmenin ve viskozitenin etkisini ihmal etmek için nap yüksekliği $(h-p)$ 'ni 0.10 m'de büyük aldıklarını belirtmişler ve olaya etkili boyutsuz parametreleri keskin kenarlı üçgen yan savaklar için Eşitlik 2.29 ile, kalın kenarlı yan savaklar için ise Eşitlik 2.30 ile vermişlerdir.

$$C_d = f\{Fr, \alpha, p/h\} \quad (2.29)$$

$$C_d = f\{Fr, \alpha, p/h, h/L_s\} \quad (2.30)$$

burada; Fr froude sayısını, α üçgen savak tepe açısını, p kret yüksekliğini, h kanaldaki su derinliğini ve L_s ise kalın kenarlı savak kalınlığını göstermektedir.

Ayrıca yan savaklara ve akım karakteristiklerine ait değerler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Savak boyutları ve akım karakteristikleri (Kumar ve Pathak, 1987)

Savak Tipi	α (°)	p (m)	Q (L/s)	Q' (L/s)	Fr
Keskin Kenarlı	60°, 90°, 120°	0.0608-0.2422	19.5-118.1	4-43.1	0.09-0.694

Kumar ve Pathak (1987), Subramanya ve Awasthy'nin (1972) dikdörtgen yan savaklarda p/h 'ın etkisini ihmal ettiklerini belirterek, kendilerinin de bu çalışmada p/h 'ın etkisini ihmal ettiklerini ifade etmişlerdir. Böylece yan savak debi katsayısı C_d 'nin yalnızca Fr ve θ ya bağlı olduğunu kabul ederek C_d için aşağıdaki ifadeleri vermişlerdir.

$$C_d = 0.668 - 0.381 \text{ Fr } (\phi = 60^\circ \text{ için}) \quad (2.31)$$

$$C_d = 0.619 - 0.203 \text{ Fr } (\phi = 90^\circ \text{ için}) \quad (2.32)$$

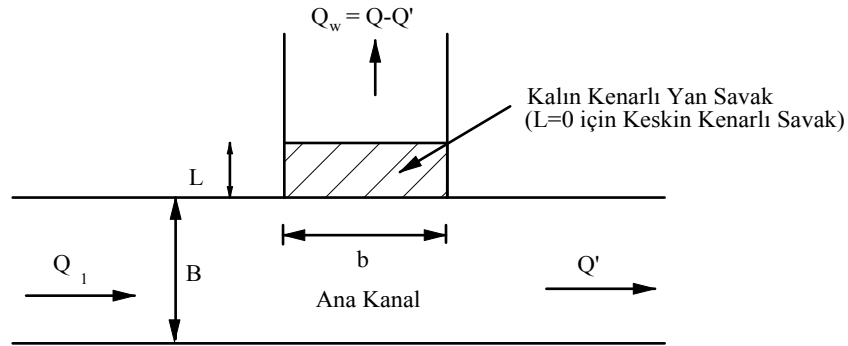
$$C_d = 0.642 - 0.042 \text{ Fr } (\phi = 120^\circ \text{ için}) \quad (2.33)$$

Yukarıdaki ifadelerden de görüleceği gibi Kumar ve Pathak (1987), deneysel çalışmalarını 60° , 90° , 120° 'lik tepe açıları için gerçekleştirmişlerdir.

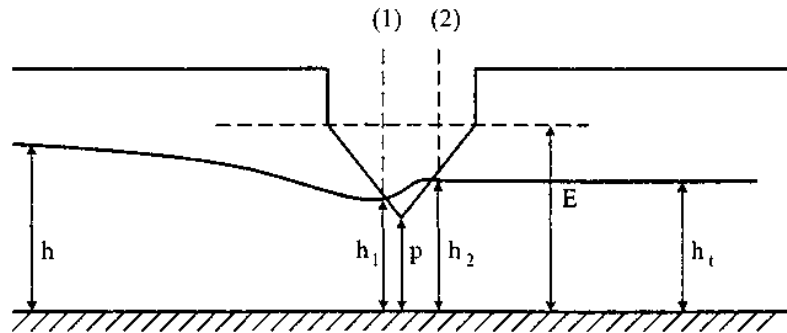
Ayrıca değişik tepe açlarına sahip üçgen yan savakların kullanılması durumunda ise C_d yan savak debi katsayısının;

$$C_d = \left[0.811 - 0.321 \tan \frac{\phi}{2} + 0.129 \tan^2 \frac{\phi}{2} \right] - \left[0.695 - 0.638 \tan \frac{\phi}{2} + 0.150 \tan^2 \frac{\phi}{2} \right] \quad (2.34)$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.



(a)



(b)

Şekil 2.13. Yan savak görünüşü (a) Plan (b) Kesit (Kumar ve Pathak, 1987)

Kalın kenarlı üçgen yan savaklarda ise ince kenarlı üçgen yan savaklar için verilen yan savak debi katsayısı C_d ifadesinin K gibi bir katsayı ile çarpılarak kullanılması gerektiğini ve K katsayısının da ;

$$K = 0.80 + 0.10 \left(\frac{h_1 - p}{L_s} \right) \quad (2.35)$$

ifadesinden hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu eşitlik yan savaklar için Ranga Raju vd. (1979), tarafından dikdörtgen yan savaklar için verilen eşitliğin aynısıdır.

Araştırmacılar ayrıca, savaklanan debinin keskin kenarlı üçgen yan savaklar için,

$$Q_w = 0.5908 C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} (h_1 - p)^{5/2} \quad (2.36)$$

kalın kenarlı üçgen yan savaklar için ise,

$$Q_w = 0.5566 K C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} (h_1 - p)^{5/2} \quad (2.37)$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Uyumaz ve Smith (1991), özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek sonlu farklar metodu ile dikdörtgen ve dairesel enkesitli kanallardaki yan savak akımını nümerik olarak araştırmışlar ve dikdörtgen ile dairesel enkesitli kanallardaki yan savak uzunluklarını deneysel ve teorik olarak belirlemeye çalışmışlardır. Dairesel enkesitli kanallarda su yüzü profilinin belirlenmesi veya yan savak boyutlandırılmasının sadece $p/D=0.66$ için dikdörtgen yan savaklar gibi hesap yapabileceğini ve bunun dışındaki değerlerde ise yaklaşımın hatalı sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir.

Cheong (1991), trapez enkesitli kanalda yaptığı deneysel çalışmada enerji ve momentumun korunumu prensiplerini ayrı ayrı kullanarak yan savak debi katsayısını araştırmıştır.

Çalışmada, kanalın yan duvar eğimi ve savak uzunlukları değiştirilerek yan savak debi katsayısını veren ifadeyi;

$$C_d = 0.30 - 0.147Fr^2 \quad (2.38)$$

olarak elde etmiştir. Bu eşitlik özgül enerjinin sabit olması durumu için verilmiştir. Araştırmacı tarafından özgül enerjinin sabit kaldığı kabulü ile elde edilen bu eşitliğin momentum yaklaşımı ile elde edilene çok yakın olduğu ifade edilmiştir.

Hager (1994), dairesel kesitli yan savaklarda sel rejimini ve bu tür savaklarda meydana gelen hidrolik sıçramayı incelemiş ve bu incelemeleri sonucunda dairesel kesitli yan savaklarda debi katsayısı ve hidrolik sıçrama eşitliğini vermiştir. Hager'in (1994) verdiği debi katsayısı eşitliği (Eşitlik 2.39) aşağıdaki gibidir.

$$C_{de} = 0.042 \left(7 + \frac{\Delta L}{D} - 1.25Fr \right) \quad (2.39)$$

burada, ΔL yanal savak uzunluğu, D ise boru çapını ifade etmektedir.

Swamee vd. (1994), De Marchi'nin (1934) eşitliğinden faydalanılarak ana kanal Froude sayısına bağlı olarak yan savak debi katsayısını veren birçok araştırma bulunduğunu, fakat bunların hiçbirisinde p/h 'a bağlı bir değişimin bulunmadığını ifade etmişlerdir. p/h 'ı dikkate alarak yan savak üzerindeki sonsuz küçük bir düşey eleman için yan savak debi katsayısını;

$$C_d = 0.447 \left[\left(\frac{44.7p}{49p + h} \right)^{6.67} + \left(\frac{h - p}{h} \right)^{6.67} \right]^{-0.15} \quad (2.40)$$

ifadesi ile vermişlerdir. Daha önce yan savak debi katsayısı ile ilgili yapılan çalışmaları değerlendirmişler ve bu çalışmaların hiçbirinin yan savak debi katsayısının doğru olarak tespitinde kullanılmayacağını ifade etmişlerdir.

$$\frac{h_2}{h_1} = Fr \quad (2.41)$$

Singh vd. (1994), özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek nehir rejimli akım şartlarında yan savak debi katsayısı belirlemeye çalışmışlar ve etkili parametre olarak ana kanal debisini, yan savak uzunluğunu ve savak eşik yüksekliğini göz önüne almışlardır

(Şekil 2.14). Yan savak debi katsayısının memba Froude sayısına ve p/h_1 oranına bağlı olarak değişimini incelemişler ve daha sonra bu iki değişkenin birbirine etkisini araştırmışlardır. Boyut analizi yardımıyla olaya etkili parametreleri;

$$C_d = f\{Fr, p/h_1, L/h_1\} \quad (2.42)$$

olarak belirlemişler ve C_d 'nin L/h_1 'den bağımsız olduğu kabulü ile;

$$C_d = f\{Fr, p/h_1\} \quad (2.43)$$

olarak vermişlerdir.

Araştırmacılar C_d yan savak debi katsayısının yan savak memba Froude sayısı (Fr) ve p/h_1 ile doğrusal bir değişim gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

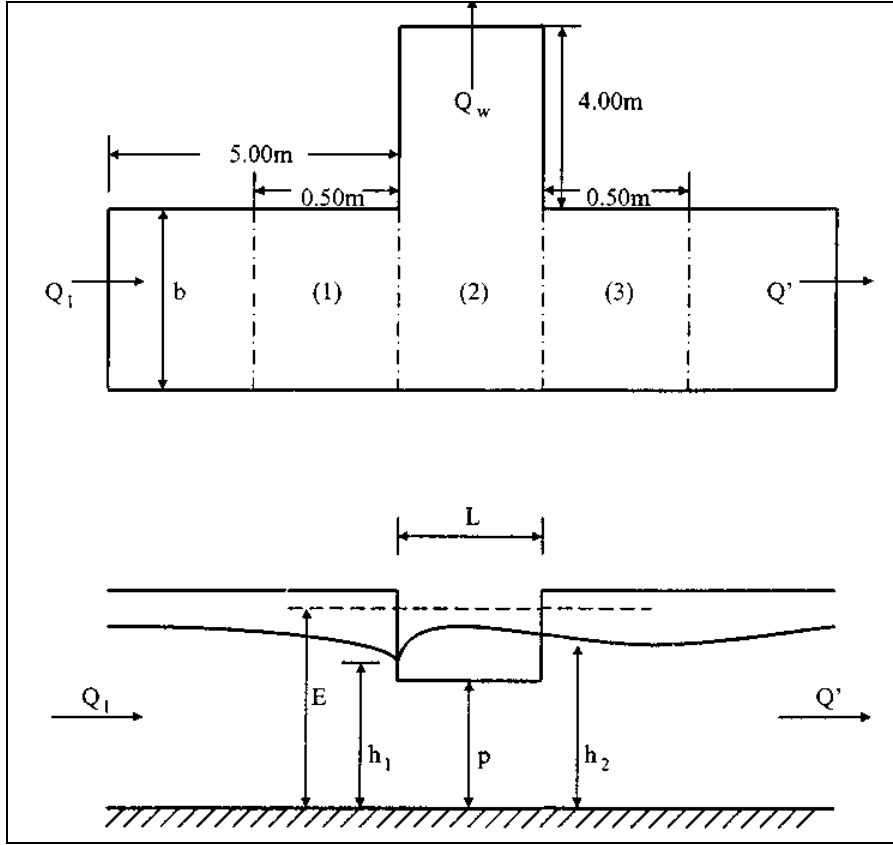
Bu doğrusal değişimleri sırasıyla;

$$C_d = 0.66 - 0.84Fr \quad (2.44)$$

$$C_d = 0.16 - 0.36p/h_1 \quad (2.45)$$

$$C_d = 0.22 - 0.12Fr + 0.327p/h_1 \quad (2.46)$$

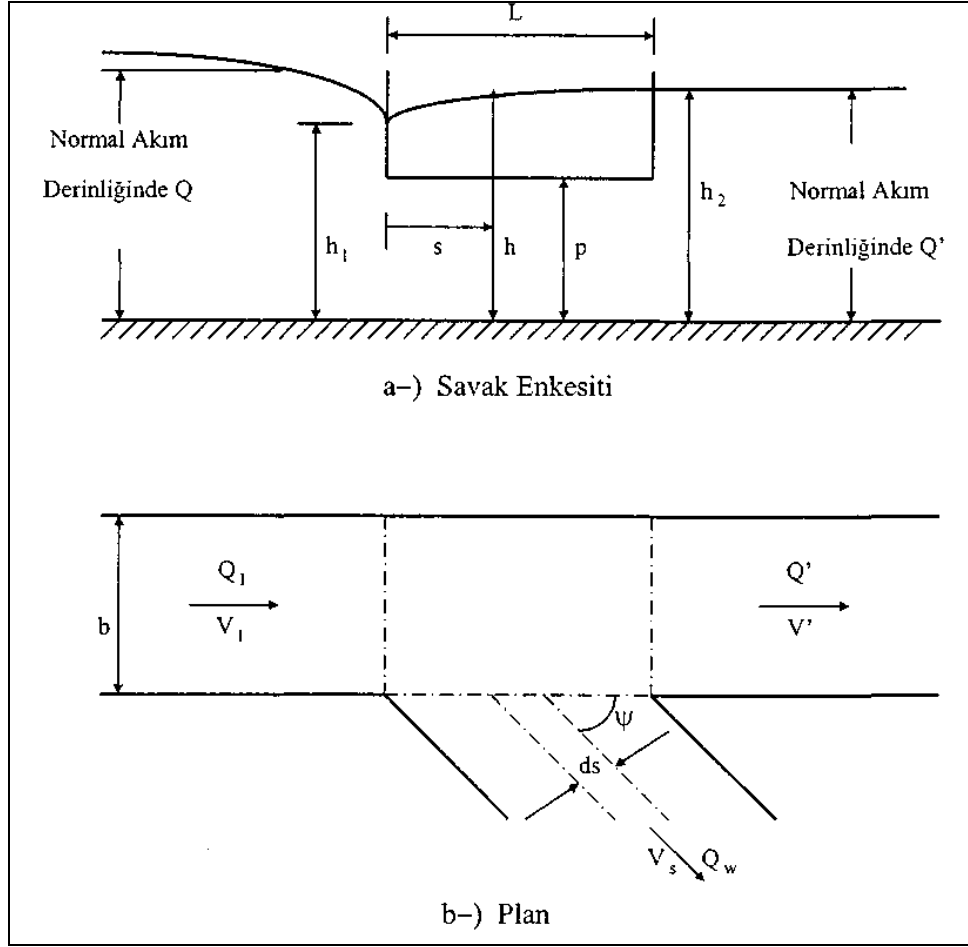
ifadeleri ile vermişlerdir.



Şekil 2.14. Yan savak genel görünüşü (Swamee vd., 1994)

Tozluk (1994), yan savak probleminin çözümünde en uygun yaklaşımlardan birinin De Marchi (1934), tarafından, enerjinin korunumu kullanılarak yapıldığını ifade etmiştir. Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilen Eşitlik 2.15'teki C_d yan savak debi katsayısının yan savaktan savaklanan akımın kanal eksenini ile yapmış olduğu ψ savaklanma açısının sabit olması hali için verildiğini, fakat gerçekte bu açının savak boyunca değişerek her biri sıvı elemanı için farklı bir değer aldığını ifade etmiştir. ψ savaklanma açısının sabit olmasından dolayı Eşitlik 2.15'ten elde edilen değerlerle deneysel sonuçların farklı dağılımlar gösterdiğini belirtmiştir (Şekil 2.15).

Tozluk (1994), çalışmasında ψ sapma açısının değiştiğini kabul ederek ve C_d katsayısını, yan savak membasındaki ana kanal Froude sayısından başka h/E , p/E , ve ψ boyutsuz parametrelerinin de fonksiyonu olduğunu göz önüne alarak, nümerik integrasyon yöntemi ile elde etmiştir.



Şekil 2.15. Savak enkesiti ve plan (Tozluk, 1994)

Tozluk (1994), elde ettiği sonuçları aşağıdaki şekilde vermiştir.

ψ savaklanma açısı, savak boyunca değişen Froude sayısının bir fonksiyonu olarak değişir. Bu fonksiyon, savak uzunluğunu veren bağıntıda yerine yazılırsa, yan savak probleminin çözümü daha gerçekçi olabilir.

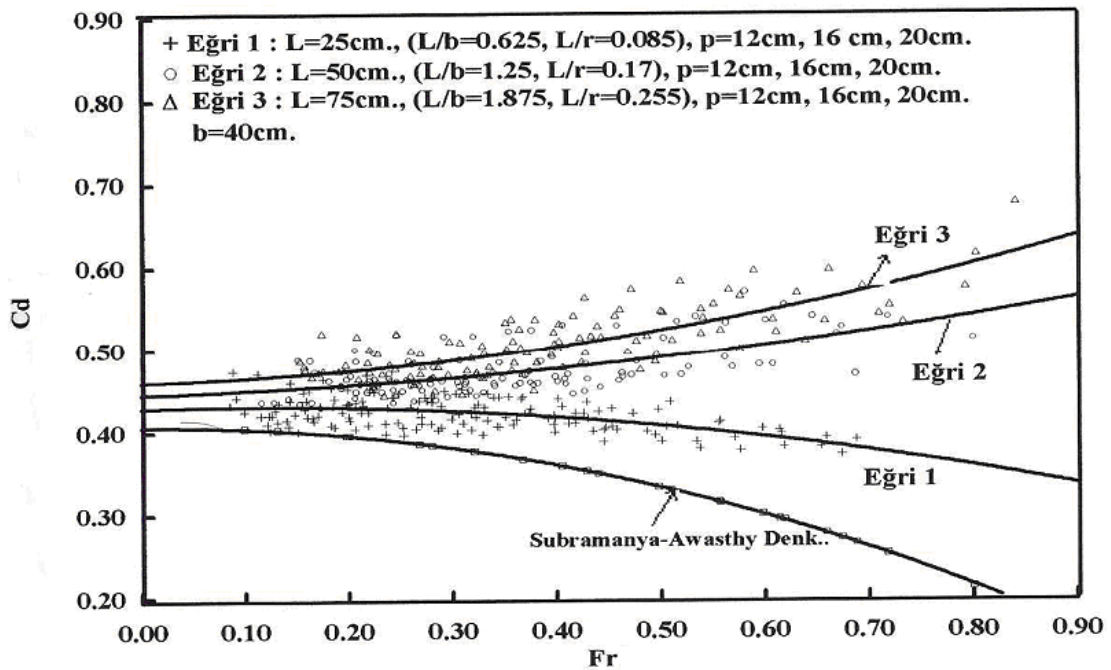
Yan savak probleminin çözümünde su yüzünün enine doğrultuda savak kretine doğru azalmasını ifade eden bir ψ parametresinin hesaba katılması gerekir. Deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda ψ 'nin, Fr 'a ve L/b oranına bağlı olduğu görülmüştür.

Deneyler, ψ sapma açısına, savak yüksekliğinin önemli bir etkisinin olmadığını, L/b 'nin büyük değerlerinde ise ψ ile Fr arasında çizilen grafiklerde deneysel verilerde oldukça farklı dağılımlar olduğunu göstermektedir. L/b 'nin küçük değerlerinde ise ψ değeri, Fr 'nın fonksiyonu olarak;

$$\psi = 1.0 - 0.2 \left(\frac{L}{b_1} \right) Fr^2 \quad (2.47)$$

eşitliğine bağlı olarak değişmektedir.

Ağaçcıoğlu (1995), dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda farklı uzunluklara sahip yan savaklarla yaptığı deneysel çalışmalarda, C_d yan savak debi katsayısının Fr ile değişimini incelemiş ve elde ettiği eğrileri Subramanya ve Awasthy (1972)'nin elde ettiği eğri ile karşılaştırmıştır (Şekil 2.16). Araştırmacı $L/b=0.625$ için elde ettiği C_d yan savak debi katsayısı eğrisinin, Subramanya ve Awasthy (1972)'nin elde ettiği eğri ile aynı eğilime sahip olduğunu belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı $L/b=1,25$ ve $L/b=1,875$ için elde ettiği C_d yan savak debi katsayılarının Subramanya ve Awasthy (1972)'nin elde ettiği eğriyle karşılaştırmış ve büyük farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir. Subramanya ve Awasthy (1972), deneylerini $L/b < 1$ için yaptıklarından dolayı, vermiş oldukları eşitliğin $L/b > 1$ için yeterli olmadığı belirtilmiştir. Araştırmacı, büyük uzunluklu yan savaklarda, yanal akımın yarattığı sekonder akımın şiddetinin arttığını ve bunun sonucunda da daha büyük yan savak debi katsayısı elde edildiğini ifade etmiştir.



Şekil 2.16. Doğrusal kanalda farklı L/b oranları için yan savak debi katsayısının Subramanya ve Awasthy (1972), denklemiyle karşılaştırılması (Ağaçcıoğlu, 1995)

Pinheiro ve Silva (1999), yan savak debi katsayısını belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmaları yaparken gerçekleştirdikleri deneysel çalışmaların sonuçlarını farklı araştırmacıların eşitlikleriyle (Subramanya ve Awasty, 1972; Raju vd., 1979; Cheong, 1991) karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçlarını kıyaslayarak aşağıdaki gibi bir debi katsayı eşitliği önermişlerdir.

$$\frac{1}{C_d} = 1.57 + 0.127 \frac{1}{Fr} + 7.45 \frac{1}{L_{ndim}} + 0.52 \frac{h_m}{p} \quad (2.48)$$

burada; Fr Froude sayısını, L_{ndim} yan savak uzunluğunun membadaki hız yüksekliğine oranını $[L/(V_1^2/2g)]$, h_m orta akım yüksekliğini ve p yan savak yüksekliğini ifade eder.

Uyumaz (1997), özgül enerji denklemini kullanarak U kesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklar üzerine incelemelerde bulunmuştur. Bu çalışması sonunda savak boyu için aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$L = \frac{D_s(\pi + 4)}{16m} \left| \psi(t) \right|_{t_1}^{t_2} \quad (2.49)$$

burada, L yan savağın uzunluğunu, D_s kanal çapını ve $\psi(t)$ integral alanlarını ifade eder.

Ayrıca U kesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklar için, $t \leq 0.5$ olduğu durumlarda Uyumaz (1997), tarafından verilen aşağıdaki debi katsayısı eşitliklerinin kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$m = \left(0.21 + 0.094 \sqrt{1.75L/D - 1} \right) + \left(0.22 - 0.08 \sqrt{1.67L/D - 1} \right) \sqrt{1 - Fr} \quad \text{Nehir Rejimi (Fr < 1)} \quad (2.50)$$

$$m = - \left(0.046 + 0.0054 \sqrt{1.67L/D - 1} \right) Fr + \left(0.24 + 0.021 \sqrt{1 + 35.3L/D} \right) \quad \text{Sel Rejimi (Fr > 1)} \quad (2.51)$$

$t \geq 0.5$ olan durumlarda da Subramanya ve Awasthy (1972), tarafından verilen aşağıdaki debi katsayısı eşitliklerinin kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$m = \frac{2}{3} 0.611 \sqrt{1 - \left(\frac{3Fr^2}{Fr^2 + 2} \right)} \quad \text{Nehir Rejimi} \quad (Fr < 1) \quad (2.52)$$

$$m = \frac{2}{3} (0.36 - 0.008Fr) \quad \text{Sel Rejimi} \quad (Fr > 2) \quad (2.53)$$

Borghei vd. (1999), keskin kenarlı yan savaklarda nehir rejimini için debi katsayısını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, debi katsayısını (C_d), $f(Fr, L, b_l, p, h, J_0)$ fonksiyonuyla ifade etmişler ve aşağıdaki eşitlikleri vermişlerdir.

$$C_d = 0.687 - 0.46Fr - 0.3 \frac{h}{p} + 0.06 \frac{L}{b_l} + 1.2J_0 \quad (2.54)$$

$$C_d = 0.467 - 0.32Fr - 0.2p / h_l + 0.04L / b \quad (2.55)$$

burada, Fr membadaki Froude sayısı, p savak yüksekliği, h ana kanal su derinliği, L savak uzunluğu, b_l kanal genişliği, J_0 kanal eğimini ifade eder.

Ura vd. (2001), eğik olarak yerleştirilmiş yan savakların debi katsayısı üzerine bir dizi çalışma yürütmüşler ve en büyük debi katsayısının savağın ana kanal eksenine 70°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmesiyle meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar eğik olarak yerleştirilmiş savaklar için debi katsayısını aşağıdaki gibi vermişlerdir (Eşitlik 2.56).

$$C_d = 0.611 \sqrt{1 - \frac{3\gamma^2 Fr^2}{2 + Fr^2}} \quad (2.56)$$

Burada, C_d yan savak debi katsayısını, γ yan savak üzerindeki hızın kanaldaki hıza oranını, Fr yan savak membasındaki Froude sayısını ifade eder.

Bu eşitlikte (Eşitlik 2.56) γ sabiti bir birim olduğu zaman Subramanya ve Awasthy (1972), tarafından bulunan eşitlik meydana gelmektedir.

Muslu (2002), yüzey profili ve debi için genel eşitlikler geliştirmek amacıyla, yan savağı temel şeritlere bölerek enerji prensipleri ve eğri uydurma metodunu kullanarak yan savak akım modelini incelemiş, debi katsayısı ve savak uzunluğu için aşağıdaki eşitlikleri vermiştir.

$$C_d = 0.611 \sqrt{3 \frac{h'}{H} - 2} = 0.611 \sqrt{3\psi z - 2} \quad (2.57)$$

Burada, $z=h/H$ kanal eksenindeki boyutsuz akım derinliğini ifade eder.

Muslu (2001), yan savak akımıyla ilgili nümerik bir analiz geliştirerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmış ve iyi sonuçlar elde etmiştir. Çalışmasında eğri uydurma yöntemini kullanmıştır.

Ghodsian (2003), dikdörtgen yan savakların akım özelliklerini sel rejimi için deneysel olarak incelemiştir. Debi katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$C_d = \left\{ \left[\left(0.611 + 0.08 \frac{y-p}{p} \right) \left(1 - 0.802 Fr^{0.212} \right)^{0.85} \right]^{-3.984} \right\}^{-0.251} + \left[1.06 \left(1 + \frac{p}{y-p} \right)^{1.5} \left(1 - 0.195 Fr^{0.657} \right)^{1.55} \right]^{-3.984} \quad (2.58)$$

Burada, C_d debi katsayısını, y ana kanaldaki akım derinliğini, Fr yaklaşık Froude sayısını ve p savak yüksekliğini ifade eder.

Khorchani ve Blanpain (2004), yan savaklar üzerindeki yüzey profilinin tespitinde video izleme tekniğini kullanmışlardır. İzlenen veriler model için nümerik verilere dönüştürülmüş ve memnun edici sonuçlar elde edilmiştir.

Yüksel (2004), yanal akımlara özgül enerjinin değişiminin etkisini araştırmıştır. Bir yan savak akımı boyunca özgül enerjideki değişimin etkisini incelemek için, nümerik bir model kullanılmıştır.

Sonuç olarak; çeşitli araştırmacıların nehir rejimli akımlarda, doğrusal kanallara yerleştirilen klasik yan savaklar için, C_d yan savak debi katsayısının eşitliklerini veren bağıntıları Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Doğrusal kanallara yerleştirilen dikdörtgen yan savak debi katsayısı ile ilgili eşitlikler

No	Dikdörtgen Yan Savaklar için Debi Katsayısı Eşitlikleri	Kaynak
1	$C_d = 0.432 \left(\frac{2 - Fr^2}{1 + 2Fr^2} \right)^{0.5}$	Nandesamoorthy vd. (1972)
2	$C_d = 0.611 \sqrt{1 - \left(\frac{3Fr^2}{Fr^2 + 2} \right)} = 0.864 \left(\frac{1 - Fr^2}{2 + Fr^2} \right)^{0.5}$	Subramanya vd. (1972)
3	$C_d = 0.623 - 0.222Fr$	Yu-Tech (1972)
4	$C_d = 0.81 - 0.6Fr$	Ranga Raju vd. (1979)
5	$C_d = 0.485 \left(\frac{2 + Fr^2}{2 + 3Fr^2} \right)^{0.5}$	Hager (1987)
6	$C_d = 0.45 - 0.221Fr^2$	Cheong (1991)
7	$C_d = 0.33 - 0.18Fr + 0.49 \left(\frac{p}{h_1} \right)$	Singh vd. (1994)
8	$C_d = 0.71 - 0.41Fr - 0.22 \left(\frac{p}{h_1} \right)$	Jalili vd. (1996)
9	$0.7 - 0.48Fr - 0.3 \left(\frac{p}{h_1} \right) + 0.06 \left(\frac{L}{b} \right)$	Borghei vd. (1999)
10	$C_d = 1.06 \left[\left(\frac{14.14p}{8.15p + h_1} \right)^{10} + \left(\frac{h_1}{h_1 + p} \right)^{15} \right]^{-0.1}$	Swamee vd. (1994)
11	$C_d = \left[0.836 + \left(-0.035 + 0.39 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{12.69} + 0.158 \left(\frac{L}{b} \right)^{0.59} \right)^{3.018} + 0.049 \left(\frac{L}{h_1} \right)^{0.42} + 0.244Fr^{2.125} \right]^{5.36}$	Emiroglu vd. (2011b)

Son yıllarda, yeni bir yan savak tipi olan labirent yan savaklar, Emiroğlu vd. (2007) tarafından detaylı bir şekilde deneysel olarak incelenmiştir. Araştırmacılar debi katsayısına etki eden boyutsuz parametreleri belirleyip, farklı labirent yan savak tipleri için doğrusal olmayan regresyon eşitlikleri geliştirmişlerdir. Araştırmacıların labirent yan savaklar için sunmuş oldukları debi katsayısını veren eşitlikler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Doğrusal ve kıvrımlı kanallara yerleştirilen labirent yan savak debi katsayısı ile ilgili eşitlikler

No	Labirent Yan Savaklar için Debi Katsayısı Eşitlikleri	Kaynak
1	$C_d = \left[\frac{18.6 - 23.535 \left(\frac{L}{b} \right)^{0.012} + 6.769 \left(\frac{L}{\ell} \right)^{0.112} - 0.502 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{4.024}}{+ 0.094 \cdot \sin \theta - 0.393 Fr^{2.155}} \right]^{-1.431}$ (Üçgen labirent yan savak, doğrusal kanal)	Emiroğlu vd. (2010b)
2	$C_d = \frac{\left[0.27 + 0.89 Fr^{6.28} + 0.95 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.21} \right]^{2.42}}{\left[0.09 + 0.16 \left(\frac{L}{\ell} \right)^{-1.66} - 6.86 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{0.75} + 14.22 (\sin \alpha)^{0.62} \right]^{0.60}}$ (Trapez labirent yan savak, doğrusal kanal)	Emiroğlu vd. (2011a)
3	$C_d = \frac{\left[-0.025 Fr^{0.10} + 0.16 \left(\frac{L}{b} \right)^{2.72} \right]^{0.05}}{\left[53.15 \left(\frac{L}{\ell} \right)^{0.61} - 9.71 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{0.12} - 22.07 \left(\frac{B}{a} \right)^{0.18} \right]^{0.17}}$ (Yarı elips labirent yan savak, doğrusal kanal)	Kaya vd. (2011)
4	$C_d = \left(-0.103 + 0.366 Fr^{0.247} \right) / \left(\begin{array}{l} -0.252 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{2.65} + 0.134 \left(\frac{L}{b} \right)^{-0.887} \\ + 0.417 \left(\frac{L}{r_c} \right)^{0.63} - 0.587 \left(\frac{L}{\ell} \right)^{5.337} \\ + 2.368 \left(\sin \frac{\theta}{4} \right)^{2.654} - 0.089 \left(\sin \frac{\alpha}{4} \right)^{2.175} \end{array} \right)$ (Üçgen labirent yan savak, kıvrımlı kanal)	Emiroğlu vd. (2007)

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Giriş

Nümerik modellerle hidrolik problemlerin çözümü ve bu amaçla hazırlanmış paket programlar son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Nümerik çözümlemelerde olaya etki eden parametreleri tespit etmek mümkün olabilmektedir. Ancak, nümerik çözümlemeler ile bazı problemlerin tam olarak tanımlanması mümkün olmadığından, çözüme ulaşmak için bazı kabullerin ve hesaba katılmayan diğer faktörlerin etkisi, laboratuvar model çalışmaları ile elde edilebilmektedir. Hazır paket programlarının kullanılmasında, programa çözülecek problem, uygun olarak aktarılmamışsa, hatalı sonuçlar vereceği açıktır. Her kullanıcı programı çoğunlukla etkin ve doğru bir şekilde kullanamayabilmektedir. Böylece teorik sonuçların deneysel verilerle tamamlanması ve karşılaştırılması halinde daha gerçekçi ve uygulamaya yönelik sonuçların alınması mümkün olacaktır.

Bu bölümde, TÜBİTAK 104M394 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

3.2 Deney Kanalı

Emiroğlu vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bir deney sistemi kurulmuştur. Kurulan sistem açık kanal, bir ana kanal ve bir adet toplama kanalından oluşmaktadır. Ana kanal 0.50 m genişliğinde ve 0.50 m yüksekliğindedir. Toplama kanalı 0.50 m genişliğinde 0.70 m yüksekliğindedir. Yan savakların yerleştirileceği kısımların karşısındaki toplama kanalı genişliği 1.30 m yarıçapında daire şeklinde inşa edilmiştir. Bunun nedeni, labirent yan savaktan su savaklanırken serbest naplı ve akıma herhangi bir müdahale olmaması içindir.

Deney setinin tüm yan duvarları cam ve fleksiğlas malzemeden inşa edilmiştir. İki kanalı birbirinden ayıran kısım ise sac malzemeden yapılmıştır. Set üzerine gerekli yerlere sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Deneyler yapılırken bu mevcut sakinleştiriciler yeterli gelmediği zaman, su yüzüne paralel, 6 inçlik demirden küçük karelere sahip ızgara şeklinde sakinleştirici imal edilmiş, gerektiğinde kullanılmıştır.

Bu şekilde seviye ölçer (limnometre) ile okumalar oldukça hassas olarak alınabilmektedir.

Deney kanalı sırasıyla aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

3.2.1. Su Temin Borusu ve Debimetre

Su temin borusunun çapı 10 inç'tir. Ana su temin borusundan, yaklaşık 210 L/s debi alınabilmektedir. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında mevcut su temin sisteminde, iki adet tank vardır. Biri bodrum katta diğeri üçüncü kattadır. Bodrum kattaki tankın hacmi 100 m³ ve üst kattaki tankın hacmi ise 50 m³ tür. Üst kattaki tank üzerinde bir dolusavak mevcuttur. Bu şekilde deney süresince su seviyesi sabit tutulmuştur. Bu tanka bodrum kattaki tanktan su basan üç adet pompa mevcuttur. Bunların her biri yaklaşık 77 L/s su basabilmektedir.

3.2.2. Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu

Kanalı besleyen dinlendirme havuzu üç bölmeden oluşmaktadır. Bunlar üzerinde sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Boyutları Şekil 3.3'te verilmiştir. Havuzun sonunda ise, debi ölçümü amacıyla 90° keskin kenarlı bir üçgen savak yerleştirilmiştir. Savağın tepe noktasının, havuz tabanından yüksekliği 0.95 m dir. Debi ölçümü debimetre ile yapıldığından üçgen savak sadece karşılaştırma için, ilk aşamalarda kullanılmıştır.

3.2.3. Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu

Üçgen savaktan kanala akan su, 1.00x0.90 m boyutunda ikinci bir dinlendirme havuzunda dinlendirilmiştir. Bu havuzun çıkışında sakinleştiriciler mevcuttur.

3.2.4. Yaklaşım Kanalı

Yaklaşım kanalı 4.50 m'lik doğrusal giriş kanalı, 0.80 m geçiş kanalı ve 9.00 m uzunluğunda ve 0.50x0.50 m enkesitli doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır.

3.2.5. Kıvrımlı Kanal

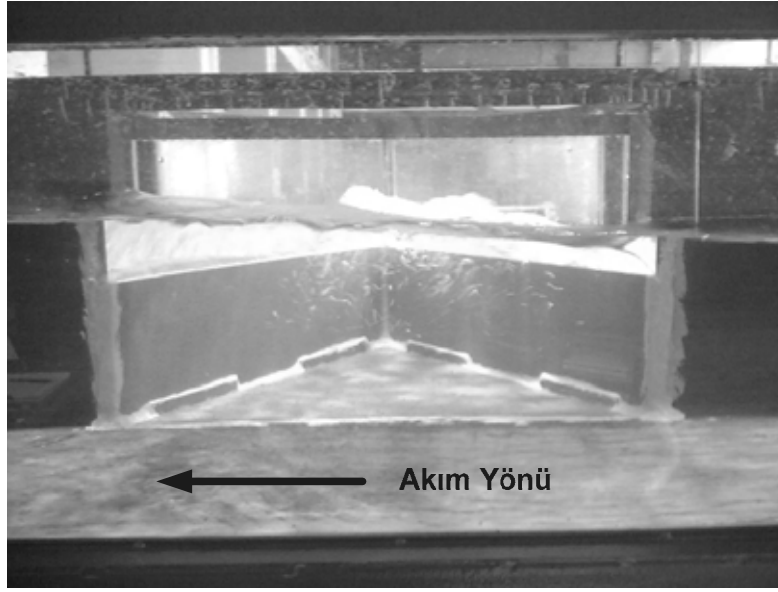
Kıvrımlı kanal, $r_c = 3$ m eksen yarıçaplı ve 180° 'lik kıvrımlı kanal kısmından oluşmaktadır. Kıvrımlı kanal üzerine 30° , 60° , 90° , 120° , 150° 'lik kıvrım merkez açılarında, yan savakların yerleştirileceği özel kapaklar inşa edilmiştir.

3.2.6. Doğrusal Çıkış Kanalı

Doğrusal çıkış kanalı 3 m uzunluğundadır. Toplama kanalı sonuna bir dikdörtgen savak yerleştirilmiştir. Bu kısımda iki adet sakınleştirici mevcuttur. Doğrusal kanalın, ana kanal sonunda iki parçalı ve düz seviye ayar kapağı yerleştirilmiştir. Bu kapakların boyutları 0.25×0.50 m'dir. Sakınleştirici olarak tuğlalardan da yararlanılmıştır.

3.2.7. Yan Savak Ayırma Duvarı

Ana kanal dış duvarı, 5 mm'lik sac malzemeden imal edilmiştir. Üst kısmı kutu profile tutturulmuştur. Bu duvar üzerinde kıvrım girişinden 365 cm membasında ve kıvrım kısmında 30° , 60° , 90° , 120° , 150° 'lik daire yaylarını görecektir şekilde yan savak yerleri hazırlanmıştır. Bu kısımlar için kapaklar imal edilmiştir. Hangi kısımda çalışılacaksa o kapak çıkarılmış ve yerine çalışılacak yan savak yerleştirilmiştir. Her yan savak bölgesinde 0.25, 0.50 ve 0.75 m uzunluğunda, 0.12, 0.16 ve 0.20 m kret yüksekliğinde, 0° , 45° , 60° , 90° , 120° ve 150° kıvrım açlarına sahip labirent savaklar olmak üzere 54 farklı yan savak test edilmiştir. Şekil 3.1'de deneysel çalışmalarda test edilen bir üçgen labirent yan savak üzerindeki akım görülmektedir.



Şekil 3.1. Üçgen labirent yan savak üzerindeki akım

3.2.8. Toplama Kanalı

Yan savaklardan savaklanan su, toplama kanalı ile uzaklaştırılmıştır. 0.50x0.70 m enkesitinde olan bu toplama kanalı, 9 m doğrusal kısım, 3.50 m eksen yarıçapına sahip 180° lik daire yay parçası ve 3 m lik doğrusal çıkış kanalından ibarettir. Toplama kanalının sonuna 0.50 m genişlikli ve 0.0705 m eşik yükseklikli bir dikdörtgen savak yerleştirilerek savaklanma debisi belirlenmiştir. Bunun içi dikdörtgen savaktan 40 cm ötede ± 0.01 mm hassasiyetli bir elektronik seviye ölçer (limnimetre) sabit olarak yerleştirilmiştir.

3.2.9. Boşaltım Havuzu

Ana kanal ve toplama kanalından dökülen su boşaltım havuzuna dökülmektedir. Bu kısımdaki su seviyesini düşük tutmak ve batık akım oluşumunu önlemek amacıyla, bu kısım Şekil 3.3'teki gibi tasarlanmıştır.

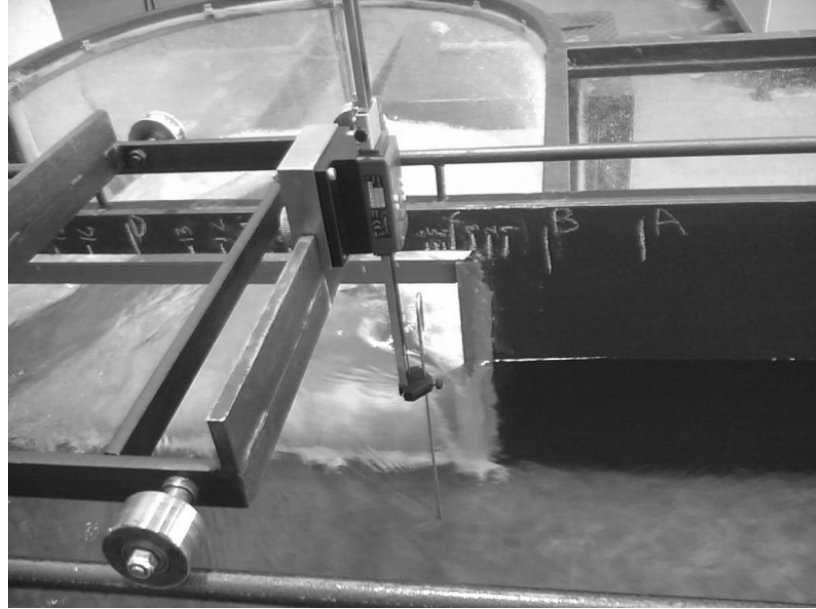
3.2.10. Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal

Boşaltım havuzundaki suyu, ana tahliye kanalına veren, taban eğimi büyük bir kanal inşa edilmiştir. Bu kısımda taban eğimi büyük olduğundan akım sel rejiminde olmakta ve

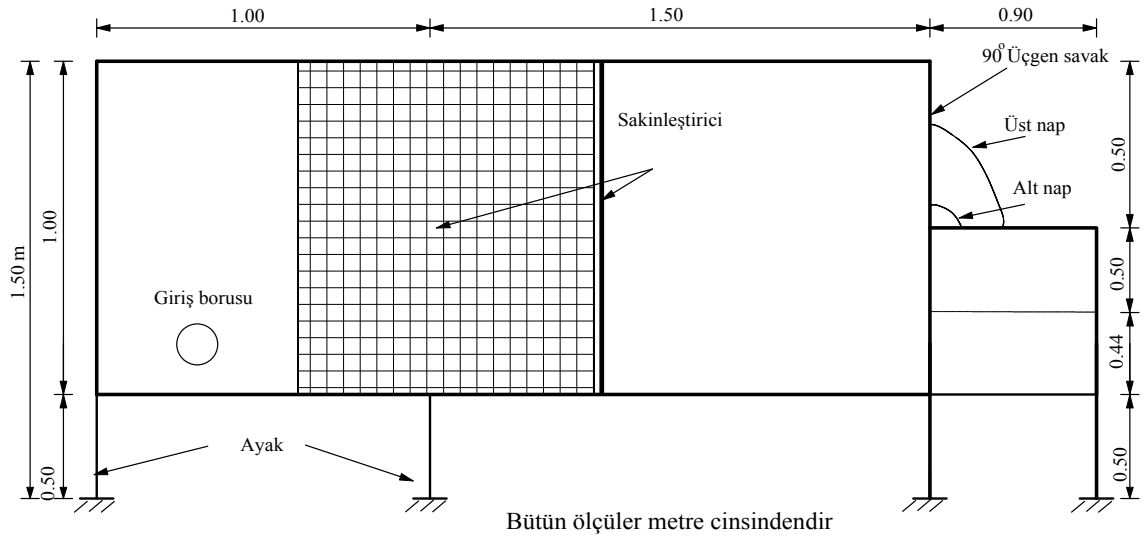
boşaltım havuzunda suyun kabarması önlemektedir. Böylece, dikdörtgen savaktan savaklanan su serbest naplı olarak dökülmektedir.

3.2.11. Hareketli Seviye Ölçüm Arabası

Ana kanal ve yan savak üzerindeki seviye ölçümleri, raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş ± 0.01 mm hassasiyetli bir elektronik seviye ölçer (limnimetre) ile yapılmıştır. Araba hem doğrusal kısımda ve hem de kıvrımlı kısımda rahatlıkla hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece, hem x ve hem de y doğrultusunda okumalar rahatlıkla alınabilmektedir (Şekil 3.2).

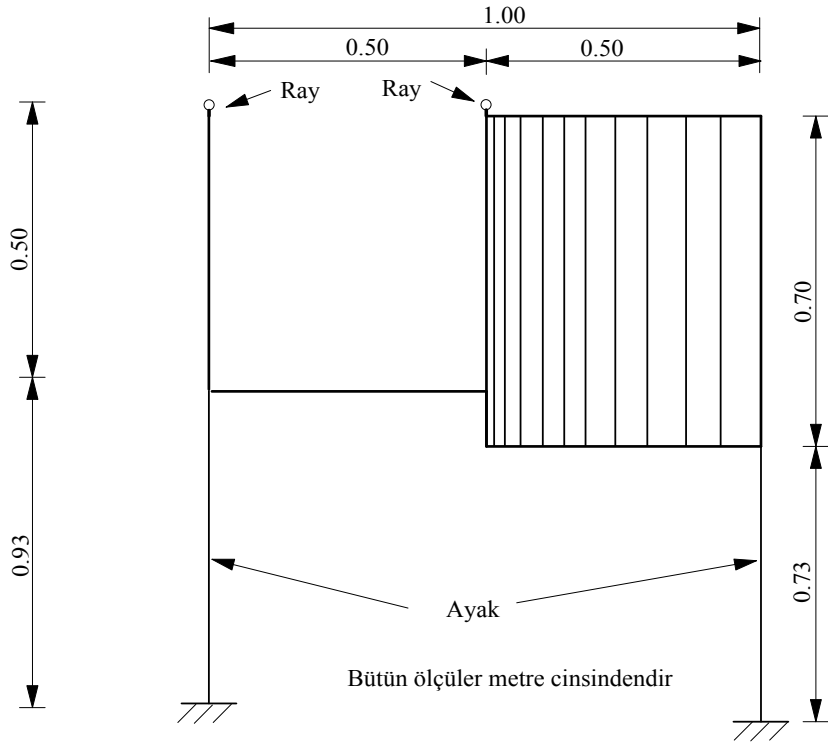


Şekil 3.2. Hareketli seviye ölçüm arabası



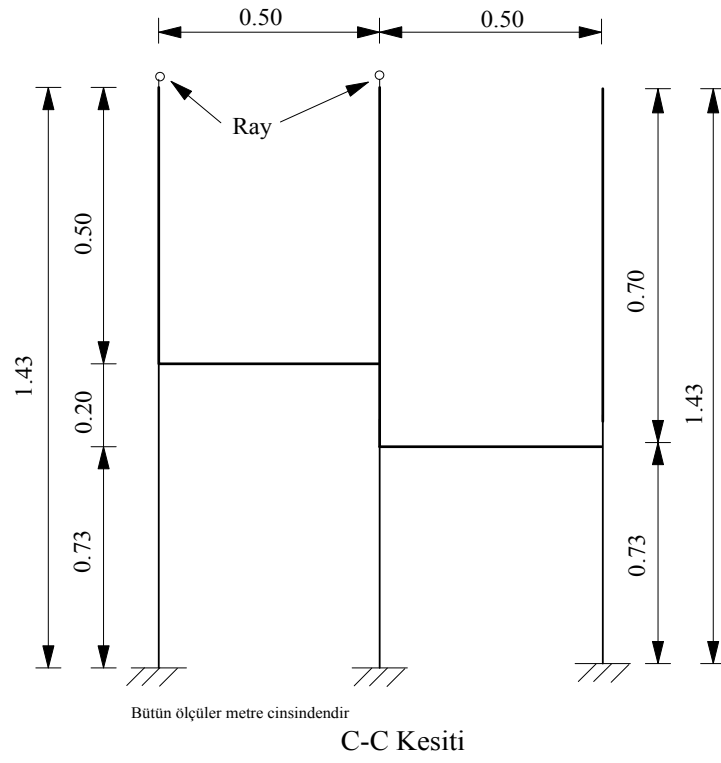
A-A Kesiti

Şekil 3.3.

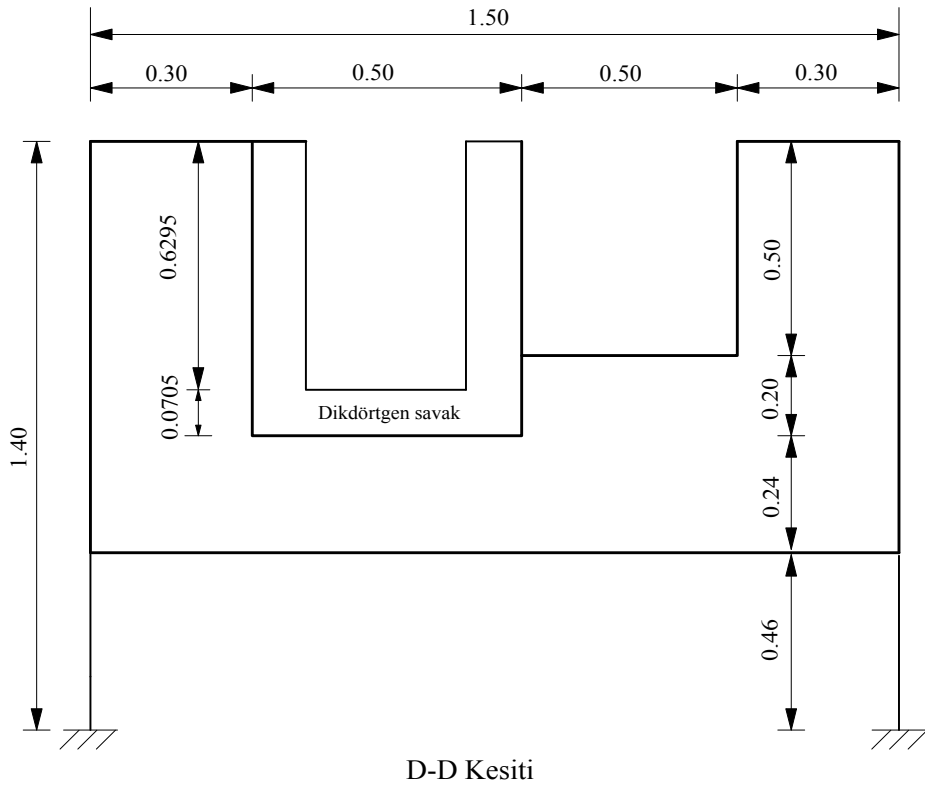


B-B Kesiti

Şekil 3.3.



Şekil 3.3.



Şekil 3.3.

Şekil 3.3. Deney seti plan ve kesitleri (tüm ölçüler metre cinsindendir) (Emiroğlu vd., 2007)

3.2.12. Giriş Debisinin Ölçülmesi

Giriş debisi Siemens marka elektromanyetik bir debimetre kullanılarak belirlenmiştir. Debiler L/s cinsinden ölçülmüştür. Ayrıca, 90° ince kenarlı bir savak ile elde edilen debilerle karşılaştırılmıştır.



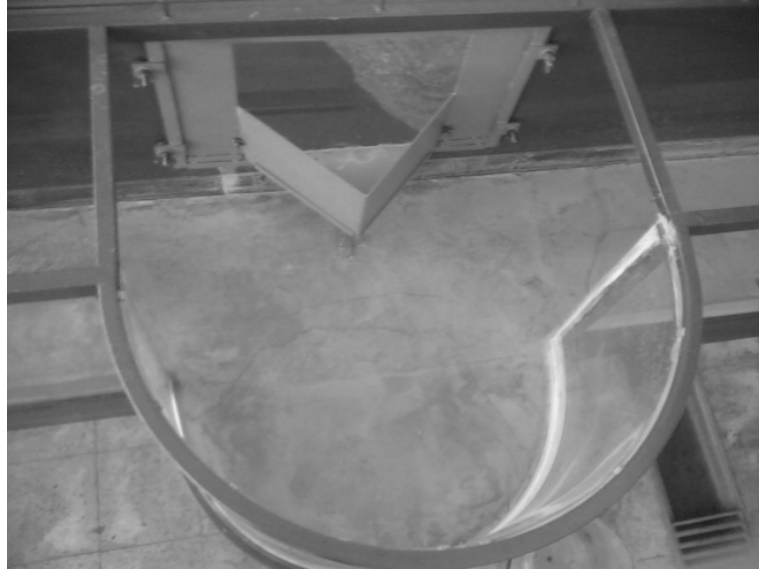
Şekil 3.4. Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre



Şekil 3.5. Deney setinde giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana

3. 3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda, hem doğrusal kanalda, hem de kıvrımlı kanalda bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney kanalı net 9 m doğrusal kısımdan ve 3 m eksen eğrilik yarıçapına sahip, toplam 100 cm genişliğinde kıvrımlı kanal ve kıvrımdan sonra net olarak 3 m'lik doğrusal kanalda gerçekleştirilmiştir. Yan savakların yerleştirildiği kısımların karşısında toplama kanalı daha geniş inşa edilmiştir (Şekil 3.6). Bunun nedeni labirent yan savaktan, serbest savaklanmayı temin etmek ve üçüncü boyutu olan labirent savakları yerleştirebilmektir.



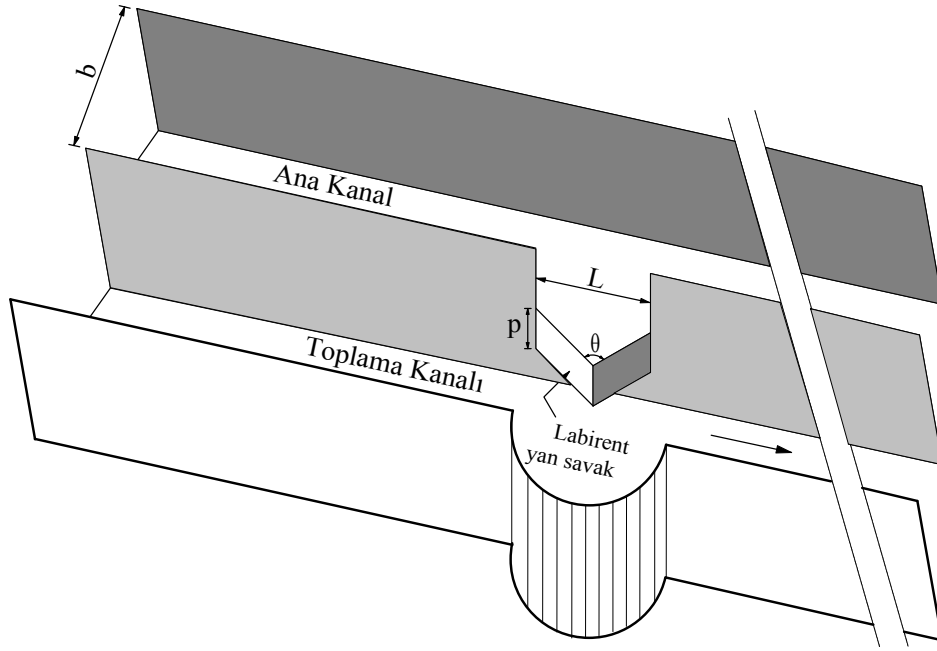
Şekil 3.6. Üçgen labirent yan savağın karşısında toplama kanalı

Doğrusal kanalda yan savağın yeri, kıvrımdan etkilenmeyecek şekilde kıvrımdan yeterince uzakta seçilmiştir. Ayırma duvarının üzerinde çeşitli kret yüksekliklerinde ve uzunluklarında dikdörtgen ve labirent yan savaklar yerleştirilmiştir.

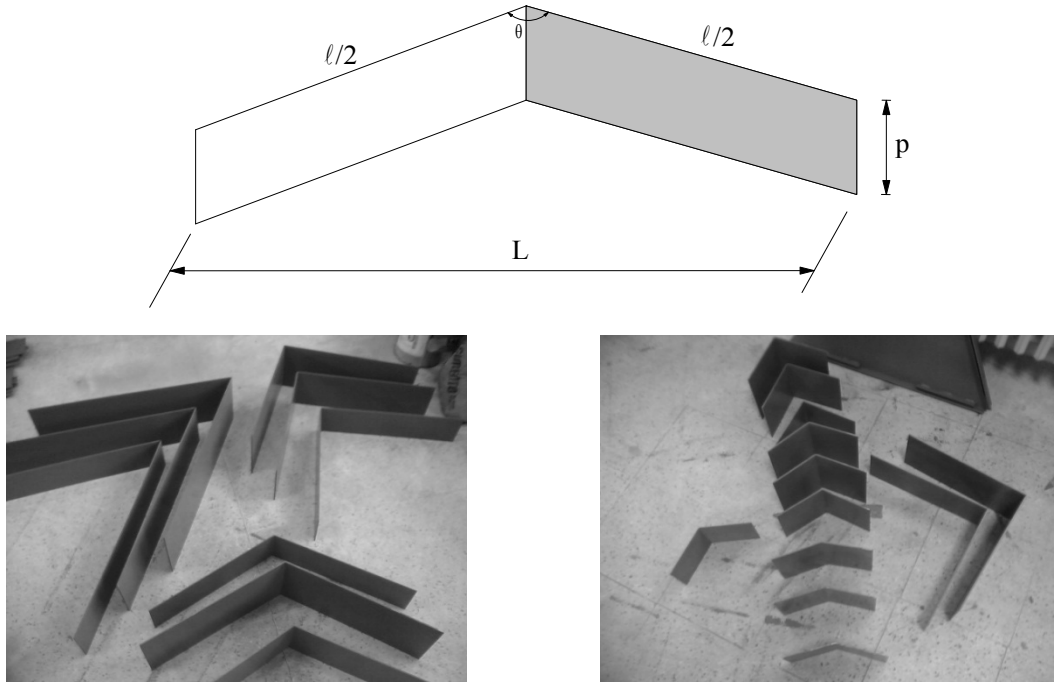
Ana kanal taban eğimi % 0.1'dir. Deneyler nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında ve serbest savaklanma hali için gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı (nap yükü) olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Literatürdeki birçok çalışmada da bu şekilde alındığı belirlenmiştir (Cosar ve Agaccioglu, 2004; Agaccioglu ve Yuksel, 1998). Deneylerde minimum nap kalınlığı 20 mm olarak alınmıştır. Coleman ve Smith (1923), minimum nap yükünün 19 mm'den az olmaması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Deneyler, önce doğrusal kanalda $L=25, 50$ ve 75 cm savak uzunluğuna sahip, $p=12, 16$ ve 20 cm kret yüksekliklerinde ve $\theta=45^\circ, \theta=60^\circ, \theta=90^\circ, \theta=120^\circ, \theta=150^\circ$ labirent savak kıvrım tepe açıları için yapılmıştır. Daha sonra kıvrımlı kanalda, $\alpha=30^\circ, \alpha=60^\circ, \alpha=90^\circ, \alpha=120^\circ$ ve $\alpha=150^\circ$ kıvrım merkez açılarında, doğrusal kanalda yapılan tüm deneyler buralarda da gerçekleştirilmiştir. Çalışılan debi aralıkları $10-150$ L/s'dir.

Doğrusal kanalda ve kıvrımlı kanalda hangi kısımda çalışılacaksa o kısımdaki kapak çıkartılıp, buraya çalışılacak yan savak yerleştirilmiştir. Şekil 3.7'de doğrusal kanala yerleştirilen bir üçgen labirent yan savak görülmektedir. Şekil 3.8'de ise üçgen labirent yan savağın farklı boyutları görülmektedir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de deneysel çalışmalarda kullanılan savakların karakteristik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.7. Deney kanalına yerleştirilen yan savağın görünüşü (ölçeksizdir) (Emiroğlu vd., 2007)



Şekil 3.8. Labirent yan savağın boyutları (Emiroğlu vd., 2007)

Tablo 3.1. Test edilen dikdörtgen yan savağın boyutları

L (cm)	25	50	75
p (cm)	12	12	12
	16	16	16
	20	20	20

Emiroğlu vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, nehir rejimi akım şartları geçerlidir. Minimum nap yükseklikleri deneysel çalışmalarda yan savak girişinde, orta kısımda ve mansap ucundaki su yüzü seviyeleri hem kıyıda hem de kanal ekseninde okunmuştur. Deneysel çalışmaların sonucunda, Froude sayısının artması ile C_d (debi katsayısı)'nin arttığı, $(h_1-p)/p$ 'nin artmasıyla da C_d 'nin azaldığı ortaya konulmuş, dikdörtgen yan savaklar ve üçgen labirent yan savaklar için debi katsayılarının elde edildiği regresyon eşitlikleri belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Test edilen labirent yan savak boyutları

Labirent savak kıvrım açısı $\theta(^{\circ})$	Yan savak uzunluğu L (cm)	Kret yüksekliği p (cm)	Labirent savağın toplam kret uzunluğu $\sum \ell$ (cm)
45	25	12	65,33
		16	
		20	
	50	12	130,66
		16	
		20	
	75	12	195,98
		16	
		20	
60	25	12	50,00
		16	
		20	
	50	12	100,00
		16	
		20	
	75	12	150,00
		16	
		20	
90	25	12	35,36
		16	
		20	
	50	12	70,71
		16	
		20	
	75	12	106,07
		16	
		20	
120	25	12	28,87
		16	
		20	
	50	12	57,34
		16	
		20	
	75	12	86,60
		16	
		20	
150	25	12	25,88
		16	
		20	
	50	12	51,76
		16	
		20	
	75	12	77,65
		16	
		20	

4. YAPAY ZEKA HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

4.1. Giriş

İnsanoğlu varoluşundan beri, doğayla iç içe yaşamış ve doğadan yaşamını kolaylaştıran birçok çözümler öğrenmiştir. Doğada meydana gelen olayları, düşünce, akıl ve hisleriyle anlamaya çalışmıştır. İnsanoğlu yaşadığı dönemlerin bilgi birikimi ve teknolojisinin elverdiği ölçüde karşılaştığı olayları irdelemeye çalışmıştır. Her insan doğuştan belirli bir zekaya sahiptir. Zeka, belirli bir konuda çalışarak, öğretilerek, eğitilerek, edinilen bilgi ve birikimlerle, deneyimlere dayalı becerilerle geliştirilebilir. İlk kez karşılaşılan ya da ani olarak gelişen bir olaya uyum sağlayabilme, anlama, öğrenme, analiz yeteneği, beş duyunun, dikkatin ve düşüncenin yoğunlaştırılması zeka ile gerçekleştirilebilmektedir. Zeka yazılım veya tümleşik yongalarla taklit edilebilmektedir. Bu durumda zeka ‘Yapay Zeka’ olarak adlandırılmaktadır.

1950’li yıllarda yapılan çalışmalar ve bilgisayarla sayısal hesaplamaların hızla gelişmesi sonucunda, günümüzde benzeri görülmemiş biçimde yeni yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu yeni yöntemlerin bazıları incelendiğinde, canlı organizmalardan esinlendiği görülmektedir. Bu canlı organizmaların işleyişlerinin matematikle ifade edilmeye çalışılması ile ortaya çıkan yöntemlerin en önemlilerinden birisi yapay sinir ağları (YSA)’dır.

İnsan beyni, nöron adı verilen birçok sinir hücresinin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. İnsan vücudunda yer alan tüm diğer hücrelerin belirli ömürleri vardır. Yerlerine yeni hücreler üretilirken nöronlar kendiliklerinden ölmezler. Bu durum belki de bilgilerin nasıl kalıcı olduğunu da açıklayabilir. İnsan vücudunda yaklaşık olarak 10^{11} nöron bulunmaktadır (Kohonen, 1988).

İnsanların beyinlerindeki farklılıkların, yapılan incelemelerde bilgilerin işleme sistemlerindeki farklılığından kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Elde edilen en çarpıcı sonuçlarından biri ise, insan beynindeki sinirlerin bilgileri paralel olarak işlediğini göstermiştir. Bu sonuçtan hareket eden bilim adamları, insan beyninde olduğu gibi bilgilerin paralel işlenerek insan davranışlarına akıldan geldiğince yakın olması için çalışmalara hız vermiştir. Bu çalışmalar, adı geçen yeteneklere sahip yöntem, cihaz ve makinelerin tasarlanması üzerine yoğunlaşmıştır.

Sonuç olarak, insan davranışlarını modelleyebilecek akıllı sistemlerin kurulması için yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritma (GA) gibi farklı yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle bu yöntemlerin yardımı ile uzman sistemler birçok alanda kullanılır hale gelmiştir (Şen, 2004).

4.2. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi ve Su Kaynakları Mühendisliği’nde Kullanımı

İlk yapay sinir ağı modeli 1943 yılında, bir tıp doktoru olan Warren McCulloch ile bir matematikçi olan Walter Pitts tarafından gerçekleştirilmiştir. McCulloch ve Pitts, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, elektrik devreleriyle basit bir sinir ağını modellemişlerdir.

1948 yılında Wiener “*Cybernetics*” isimli kitabında, sinirlerin çalışması ve davranış özelliklerine değinmiştir. 1949’da ise Hebb “*Organization of Behavior*” isimli kitabında, yapay sinir ağlarında öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele almıştır. Hebb, kitabında öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel oluşturacak Hebb kuralını ortaya koymuştur. Hebb kuralı sinir ağının bağlantı sayısı değiştirilebilirse, öğrenebileceğini öngörmekteydi.

1957 yılında Frank Rosentblatt’ın “*Perceptron*”u gerçekleştirmesinden sonra yapay sinir ağı alanındaki gelişmeler hızlanmıştır. “*Perceptron*”, beyin işlevlerini modelleyebilmek amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan tek katmanlı eğitilebilen ve tek çıkışa sahip olan yapay sinir ağıdır.

1959 yılında, Bernard Widrow ve Marcian Hoff Stanford Üniversitesi’nde ADALINE ve MADALINE diye adlandırdıkları ağ modellerini geliştirdiler. MADALINE, telefon hatlarında oluşan yankıları yok eden bir uyarlanabilir süzgeç olarak kullanılmış, gerçek dünya sorunlarına uygulanmış olan ilk sinir ağıdır ve hala kullanımda bulunmaktadır.

Bu erken başarılar, insanların sinir ağlarının potansiyelini abartması sonucunu doğurdu. Abartılı beklentilerin gerçekleştirilememesi bu beklentileri hayal kırıklığına dönüştürdü. Aynı zamanda, bazı bilim kurgu yazarları düşünen makinelerin insanları nasıl etkileyeceğini ele almalarına yol açtı. Asimov, robotlar hakkındaki kitaplarında, düşünen makinelerin, özellikle insanoğlunun ahlaki değerlerine olan etkilerini konu aldı. Diğer bazı yazarlar ise çok daha korkunç bilgisayarların geliştirileceği hakkında abartılı kitaplar

yazdılar. Bu yersiz ve abartılı iddialar, yapay sinir ağı araştırmalarının kesilmesine yol açtı. Bu ilginç gelişmeler, 1981 yılında sona erdi.

Seksenli yıllar sinirsel hesaplama çalışmaları için bir atılım dönemi olmuştur. John Hopfield 1982 yılında, ağların önemli sınıflarının matematik temellerini üretmiştir. Hopfield'in yaklaşımı beyine benzeyen basit bir model değil, kullanışlı bir alet ortaya koymaktı. Açık ve matematiksel analizleri kullanarak, böyle bir aletin nasıl çalışabileceğini ve ne yapabileceğini gösterdi.

1984'de Kohonen, sinirlerin düzenli sıralanışına eşleme özelliği için danışmansız öğrenme ağlarını geliştirmiştir.

1986'da Rumelhart ve McClelland karmaşık ve çok katmanlı ağlar için geriye yayımlı öğrenme algoritması ortaya koymuştur.

1987 yılında Elektrik Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (Institute of Electrical Electronic Engineering) tarafından sinir ağlarını konu alan, ilk uluslararası konferans, 1800'ü aşkın katılımcıyla gerçekleştirilmiştir.

Yakın geçmişte yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık (BM), su kaynakları ile ilgili birçok probleme başarıyla uygulanmış ve günümüzde de kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Bunun en büyük nedeni de, yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi yapay zeka tekniklerinin klasik yöntemlere (doğrusal regresyon, doğrusal olmayan regresyon, anahtar eğrileri vb.) göre üstünlüklerinin araştırmacılar tarafından yeni yeni keşfedilmesidir. Zhu ve Fujita (1994), YSA'yı yağış-akış ilişkisini belirlemede kullanmışlardır. Daha sonraları Hsu vd. (1995), Shamseldin (1997), Tokar ve Johnson (1999), Sudheer vd. (2003), Nayak vd. (2004), YSA temelli yağış-akış modelleri geliştirmişlerdir.

YSA'nın nehir akımlarının tahmininde kullanımı ile ilgili de yakın geçmişte birçok çalışma yapılmıştır. İlk önce Kang vd. (1993), YSA'yı akış tahmininde kullanmış, ardından da Karunanithi vd. (1994), Thirumalaiah ve Deo (1998), Zealand vd. (1999), Chang ve Chen (2001), Sivakumar vd. (2002), Kişi (2004a) ve Kişi (2008), bu konularda çalışmalar yapmışlardır. Jain ve Chalisgaonkar (2000) ile Sudheer vd. (2003) YSA'yı, nehir su seviyesi-debi ilişkisini belirlemede kullanmışlardır. Eksik nehir akımı verilerinin tamamlanması ile ilgili ise, literatürde sadece bir adet çalışma bulunmaktadır (Khalil vd., 2001). Ayrıca Bilhan vd. (2010) ve Emiroglu vd. (2011b) yan savakların debi katsayısının belirlenmesinde uygun YSA modelleri geliştirmişlerdir.

İlk olarak Jang (1993), tarafından kullanılan bulanık yapay sinir ağı (BYSA) tekniği, son yıllarda hidrolojik modellerde de sıkça kullanılır duruma gelmiştir. Bulanık tabanlı ağların su kaynakları problemlerine uygulanması ile ilgili çalışmalar YSA'na oranla çok daha azdır. Zhu ve Fujita (1994) ve Han vd. (2002), bulanık mantığa dayalı akış tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Yu ve Yang (2000), Ozelkan ve Duckstein (2001), BYSA tabanlı yağış-akış modelleri geliştirmişlerdir. Nagy vd. (2002), Tayfur vd. (2003), Kisi (2004b), bulanık mantığı, akarsulardaki katı madde miktarını belirlemede kullanmışlardır. Kişi (2006), günlük buharlaşma miktarının hesaplanmasında BYSA modeli geliştirmiştir. Chang vd. (2006), rezervuar su seviyelerinin tespitinde BYSA modeli geliştirmiştir. Kisi ve Ozturk, (2007), bitkilerin su tüketiminin belirlenmesinde de BYSA modeli kullanmışlardır. Bae vd. (2007), aylık rezervuar giriş akımlarını, BYSA ile tahmin etmiştir. Kisi vd. (2005) ve Kişi vd. (2008), Türkiye'deki nehirlerde, günlük akıdaki katı madde miktarının hesaplanmasında BYSA modeli ve farklı YSA teknikleri kullanmışlardır. Moghaddamnia vd. (2009), BYSA modelini İran'da kuru ve sıcak iklim şartlarında, buharlaşma miktarını tahmin etmek için kullanmıştır. Hidrolojik çalışmalarda neredeyse her alanda uygulamalarını gördüğümüz BYSA tekniğinin, hidrolik alanında yapılan araştırmalarda, uygulamalarını nadiren görmekteyiz. Emiroglu vd. (2010a), BYSA tekniğini yan savakların debi katsayısının tahmininde kullanmışlardır.

Yukarıda belirtilen çalışmaların çoğunda, YSA modellerinin kalibrasyonunda standart geri yayılma algoritması olan, eğim azaltma metodu (Rumelhart vd., 1986) kullanılmıştır. Bu çalışmada ise daha önce literatürde sık kullanılmamış olan YSA algoritmaları ve YSA-BM karışımı modeller kullanılacaktır.

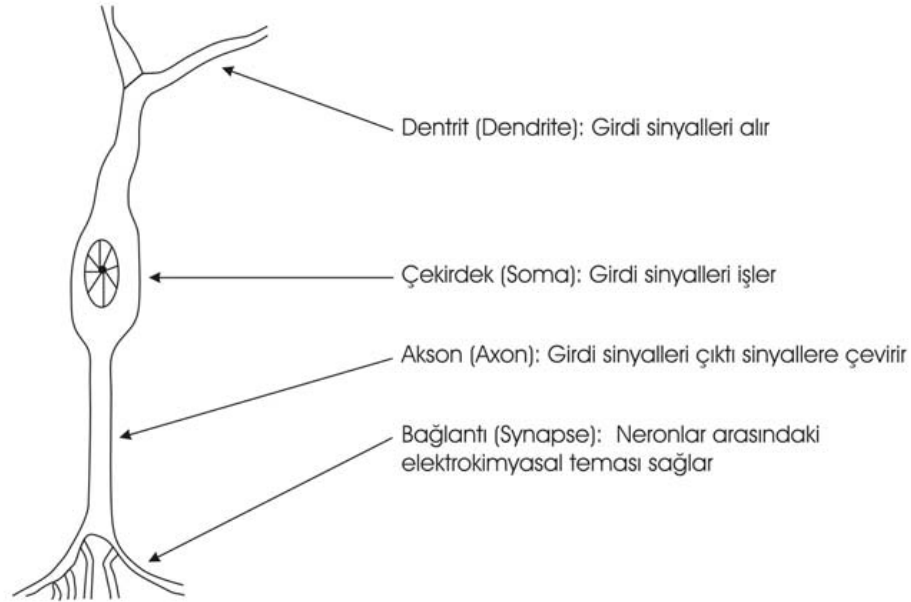
4.3. Yapay Sinir Ağları (YSA) Tanımı ve Özellikleri

Yapay sinir ağları, beyinden esinlenildiklerinden dolayı, beyinle benzer yapıya sahiptirler. Fakat, beyin yoğun bağlantılı ve komplike yapısının sadece beyine özel bir özellik olduğu belirtilmelidir. Başka hiçbir yerde veya dijital bilgisayarda bulunmayan bu yapıya yakınsamak günümüz teknolojisine bile çok uzaktır. Yapay sinir ağlarını oluşturmak için kullanılan yapay nöronlar (hücreler), beyindekilere kıyasla oldukça ilkel sayılırlar. Dolayısıyla, yapay nöronlar beyin yoğun bağlantılı ve komplike yapısından oldukça uzaktırlar ama genel yapı olarak tutarlıdırlar. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar,

komplike, çok yönlü ve güçlü bir organizma olan beyinin, sadece en temel elemanlarını kopyalamaya çalışmaktadır.

YSA'ların temel elemanları yapay nöronlardır. Bu nöronlar, aralarındaki bağlantıları oluşturarak ve tabakalar halinde gruplandırarak yapay sinir ağlarını meydana getirmektedir.

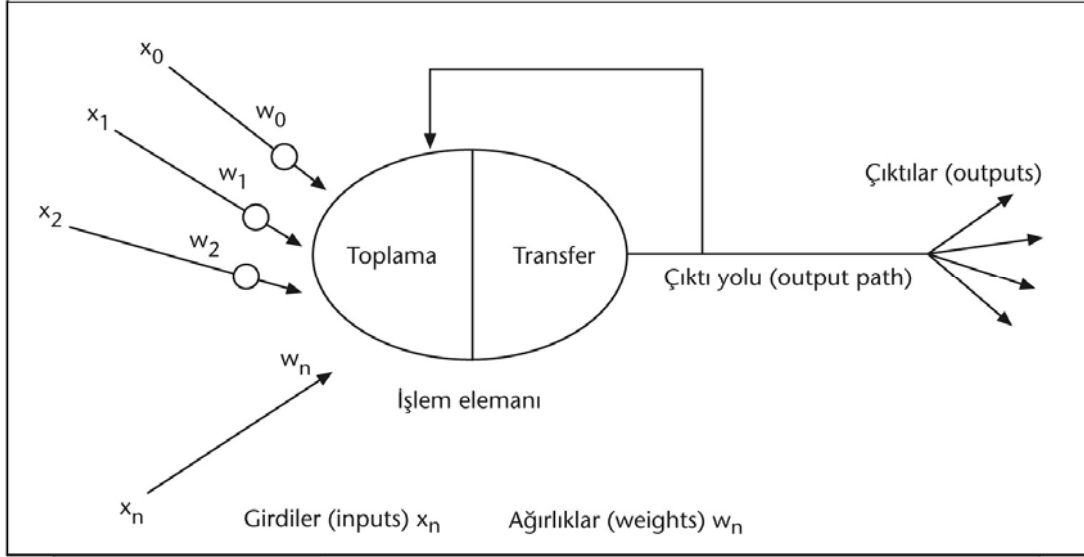
Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik (synaptic) bağlantıların ayarlanması ile olur. Yani, insanlar doğumlarından itibaren yaşayarak öğrenme süreci içerisine girerler. Bu süreç içinde beyin, sürekli gelişme göstermektedir. Yaşayıp tecrübe ettikçe, sinaptik bağlantılar ayarlanır ve hatta yeni bağlantılar oluşur. Bu sayede öğrenme gerçekleşir. Bu durum YSA için de geçerlidir. Öğrenme, eğitime yoluyla örnekler kullanarak olur; başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkı verilerinin işlenmesiyle, yani eğitime algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarını bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlamasıyla olur. Şekil 4.1'de biyolojik bir nöronun genel yapısı görülmektedir.



Şekil 4.1. Biyolojik nöronun genel yapısı

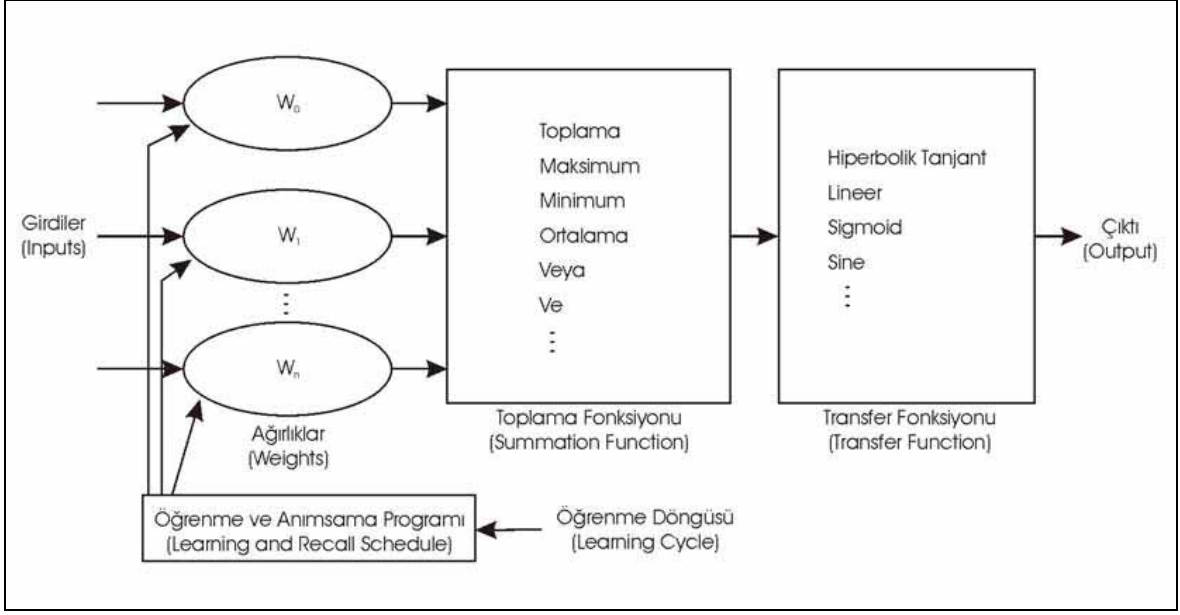
Şekil 4.2'de girdi değerleri, $x(i)$ matematiksel sembolü ile gösterilmiştir ve bu gösterimde, $i = 0, 1, 2, \dots, n$ değerlerini almaktadır. Bu girdi değerlerin her biri, bir bağlantı

ağırlığıyla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar ise $w(i)$ ile gösterilmektedir. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanır ve bir transfer fonksiyonuna gönderilerek sonuç üretilir. Bu sonuç daha sonra bir çıktıya dönüştürülür. Bu elektronik uygulama değişik toplama fonksiyonları ve farklı ağ yapılarında uygulanabilir.



Şekil 4.2. Yapay nöronun genel yapısı

Şekil 4.3'te, daha önce tanımlanan basit bir yapay nöron yapısının daha detaylı bir şeması sunulmaktadır. Şekil 4.3'te, girdi değerler, işlem elemanına üst sol bölümden girmektedir. İşlemde ilk adım, bu girdi değerlerin her birinin ilgili ağırlıklarla $w(i)$ ağırlıklandırılmalarıdır. Bir nöron genellikle, eşzamanlı olarak birçok sayıda girdi alır. Her girdinin kendi nispi ağırlığı vardır. Bu ağırlıklar, biyolojik nöronların değişen sinaptik etkililikleri ile aynı görevi üstlenirler. Her iki durumda da, bazı girdiler diğerlerine göre daha önemli hale gelirler. Bu sayede, işlem elemanının bir sinirsel tepki üretmesi işleminde daha fazla etkili olurlar. Ayrıca, ağırlıklar girdi sinyalin güçlülüğünü belirleyen adaptif katsayılardır. Yani, girdinin bağlantı gücünün bir ölçüsüdür. Bu bağlantı güçleri, çeşitli eğitime setlerine göre değiştirilebilirler.



Şekil 4.3. Yapay nöronun detaylı yapısı

Ağırlıklandırmadan sonra, bu değiştirilmiş girdiler toplama fonksiyonuna gönderilirler. Toplama fonksiyonunda, adından da anlaşılacağı gibi genelde toplama işlemi yapılmaktadır fakat birçok farklı işlem çeşidi toplama fonksiyonu için kullanılabilir. Toplama fonksiyonu, bu basit çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olabilir. Girdileri birleştirecek olan algoritma genellikle seçilen ağ mimarisine de bağlıdır. Bu fonksiyonlar farklı şekilde değerler üretebilir ve sonra bu değerler ileri doğru gönderilir. Ek olarak, uygulamacı kendi fonksiyonunu oluşturup toplama fonksiyonu olarak kullanabilir. Bazı toplama fonksiyonları, transfer fonksiyonuna iletmeden önce, sonuçları üzerinde ilave işlemler yaparlar. Bu işlem aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan işlemdir. Bir aktivasyon fonksiyonu kullanmanın amacı toplama fonksiyonu çıktısının zamana bağlı olarak değişmesini sağlamaktır.

4.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Transfer fonksiyonu olarak da geçen aktivasyon fonksiyonu, birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir.

Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. En uygun aktivasyon fonksiyonu, tasarımcının denemeleri sonucunda belli olur. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi, büyük ölçüde yapay sinir ağının verilerine ve ağın neyi öğrenmesinin istendiğine bağlıdır. Geçiş fonksiyonları içinde en çok kullanılanı sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarıdır. Örneğin, eğer ağın bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi isteniyorsa sigmoid fonksiyon, ortalamadan sapmanın öğrenilmesi isteniyorsa hiperbolik tanjant fonksiyon kullanılması önerilmektedir.

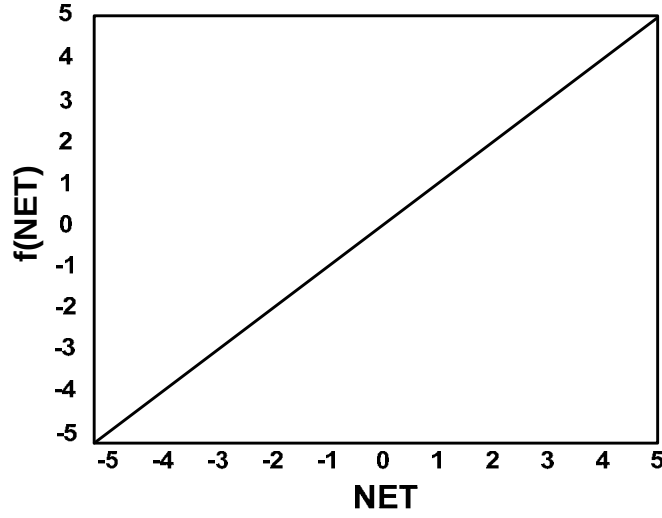
Aktivasyon fonksiyonları bir YSA'da nöronun çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlar. Bu değerler genellikle $[0,1]$ veya $[-1,1]$ arasındadır. YSA'da kullanılacak aktivasyon fonksiyonlarının türevi alınabilir olması ve süreklilik arz etmesi gereklidir. Doğrusal veya doğrusal olmayan transfer fonksiyonlarının kullanılması YSA'ların karmaşık ve çok farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır. Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır.

4.4.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Şekil 4.4'te gösterilen doğrusal fonksiyon, α bir skaler sayı olmak üzere, herhangi bir g giriş değerine karşılık,

$$f(NE) = \alpha NE \quad (4.1)$$

ile ifade edebilecek bir tasviri gerçekleştirir. Eğer $\alpha = 1$ ise, saklı tabaka hücresine gelen bilgiler hiçbir değişikliğe uğratılmadan işlemci çıkışında olduğu gibi kalırlar. Doğrusal işlemci çıktısında sınırlama yoktur. Çıktı değerleri 0 ve 1 (veya -1) değil sürekli olarak değişir. Sıfırdan küçük veya birden büyük değerler de çıktı olabilir.



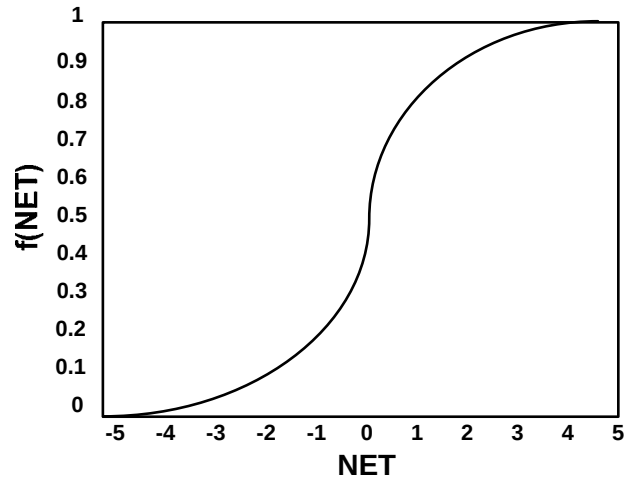
Şekil 4.4. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu

4.4.2. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle uygulamada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon, girdinin her değeri için sıfır ile bir arasında bir değer üretir. Bu işlemci fonksiyonu α değerine bağlı olarak farklı eğriler halinde orataya çıkar. İstenildiği takdirde fonksiyonun çıkışları Şekil 4.5'te olduğu gibi $[-5, +5]$ veya $[-1, +1]$ aralığına düşecek biçimde ayarlanabilir. Sigmoid işlemcisi sürekli bir fonksiyonu gösterdiğinden dolayı özellikle doğrusal olmayan tasvirlerde daha çok kullanılır. Bunun nedeni NET değişkeni bünyesinde bulunan parametrelere göre türevinin kolayca alınabilmesidir.

Fonksiyonun gösterimi şu şekildedir:

$$f(\text{NET}) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha \text{NET}}} \quad (4.2)$$



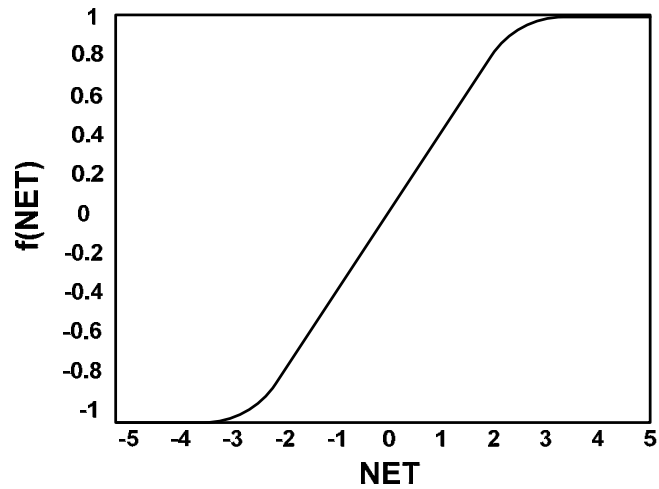
Şekil 4.5. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

4.4.3. Hiperbolik Fonksiyonu

Tanjant hiperbolik işlemci fonksiyonunun (Şekil 4.6) parametresi bulunmamaktadır. Matematik ifadesi de aşağıda verilmiştir.

$$f(NET) = \frac{e^{NET} - e^{-NET}}{e^{NET} + e^{-NET}} \quad (4.3)$$

Bu işlemci fonksiyonunun da türevi kolayca alınabilir. Ancak parametresi olmadığından sigmoid işlemci fonksiyonu kadar elastik değildir.



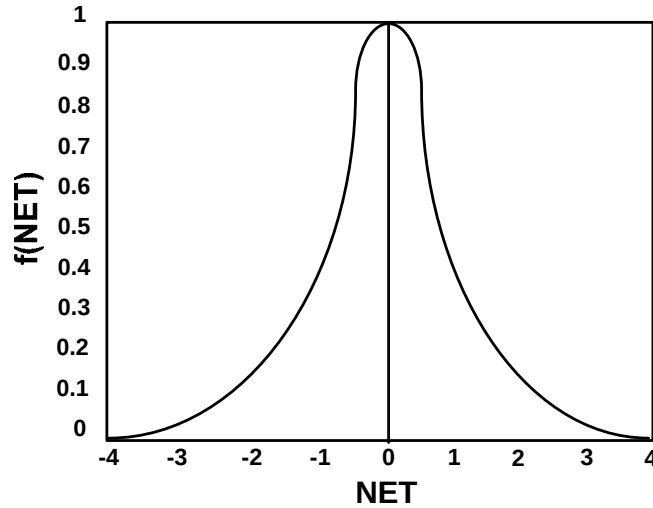
Şekil 4.6. Hiperbolik fonksiyonu

4.4.4 Gauss Fonksiyonu

Şekil 4.7’den de görülebileceği gibi Gauss fonksiyonu tepesinden geçen ve $f(\text{NET})$ eksenine paralel olan eksene göre simetrik ve sıfırdan büyük olmak üzere bir varyans değerine sahiptir. Varyans σ olmak üzere matematik ifadesi,

$$f(\text{NET}) = \exp\left(\frac{-\text{NET}^2}{\sigma^2}\right) \quad (4.4)$$

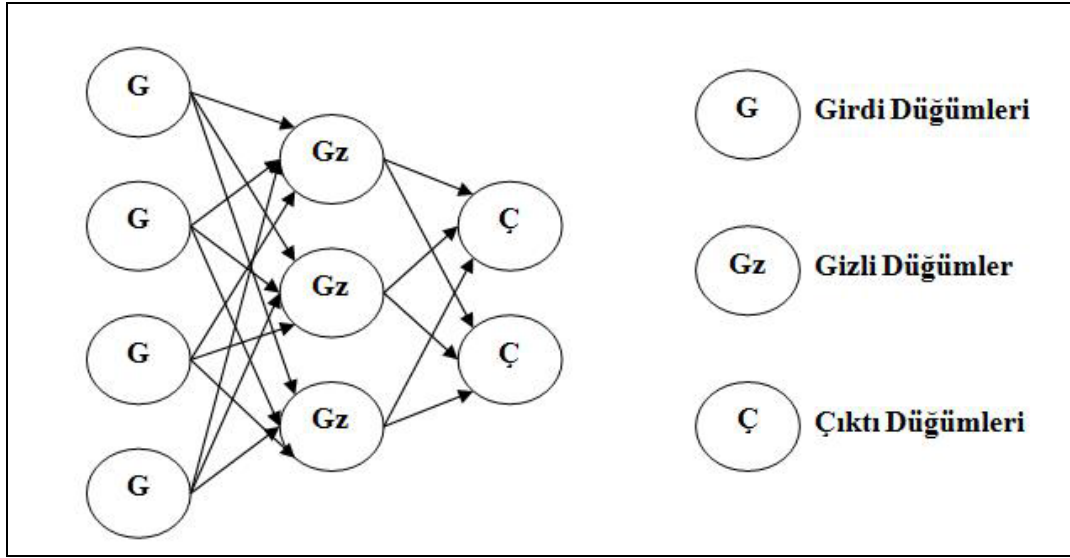
şeklindedir.



Şekil 4.7. Gauss fonksiyonu

Yukarıda da bahsedildiği gibi, tüm YSA’lar, yukarıda temel elemanları anlatılan temel yapı taşlarından yani nöronlardan (hücrelerden) oluşurlar. Bu yapı taşlarının tasarımı, sinir ağı sanatının, başka bir deyişle mimarisinin oluşturulmasının ilk bölümüdür. Bu sanatın ikinci bölümü ise bu işlem elemanlarının kümelenendirilmesi ve birbirleri arasındaki bağlantıların oluşturulmasını içerir. Beyinde kümelenendirme, bilginin dinamik, etkileşimli ve kendiliğinden organize bir şekilde işlenmesini sağlayacak şekildedir. Biyolojik sinir ağları üç boyutlu uzayda mikroskobik elemanlarla oluşturulur. Bu nöronlar hemen hemen sınırsız sayıda bağlantılar içerirler. Bu, yapay sinirler için mümkün değildir. Bugünkü teknoloji ile iki boyutlu ortamda ve belirli sayıda bağlantı içeren nöronlar oluşturulabilmektedir. Bu durum, YSA’ların yetenek ve çeşitlerini sınırlamaktadır.

YSA’larda, yapay nöronlar (hücreler) basit bir şekilde kümelenilmektedirler. Bu kümelenme tabakalar halinde yapılmaktadır ve daha sonra bu tabakalar bir diğerine ilişkilendirilmektedir. Temel olarak, tüm YSA’lar benzer bir yapıya sahiptirler. Böyle bir genel yapı Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Bu yapıda, bazı hücreler girdileri almak için bazı hücreler ise çıktıları iletmek için dış mekan ile bağlantılı halindedirler. Geri kalan tüm hücreler ise gizli tabakalardadırlar, yani sadece ağ içinde bağlantıları vardır.

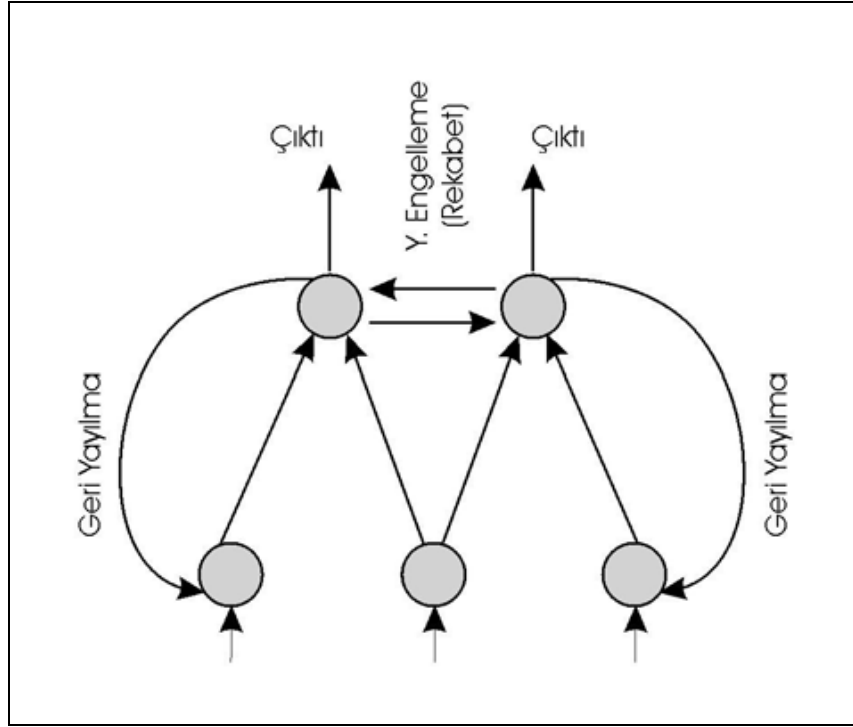


Şekil 4.8. YSA’ların genel yapısı

Tek tabaka ya da tek eleman içeren bazı başarılı ağlar oluşturulabilmesine rağmen çoğu uygulamalar, en az üç tabaka (girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakası) içeren ağlara ihtiyaç duymaktadır. Girdi tabakası, dışarıdan girdileri alan nöronları içerir. Ayrıca, önemli olan bir nokta, girdi tabakasındaki nöronların girdi değerler üzerinde bir işlem uygulamamasıdır. Sadece girdi değerleri bir sonraki tabakaya iletirler ve bu yüzden de bazı araştırmacılar tarafından ağların tabaka sayısına dahil edilmezler. Çıktı tabakası ise çıktıları dışarı ileten nöronları içeren tabakadır. Girdi ve çıktı tabakaları tek tabakadan oluşurken bu iki tabaka arasında birden fazla gizli tabaka bulunabilir. Bu gizli tabakalar çok sayıda nöron içerirler ve bu nöronlar tamamen ağ içindeki diğer nöronlarla bağlantılıdırlar. Çoğu ağ türünde, gizli tabakadaki bir nöron sadece bir önceki tabakanın tüm nöronlarından sinyal alır. Nöron işlemini yaptıktan sonra ise çıktısını bir sonraki tabakanın tüm nöronlarına gönderir. Bu yapı ağın çıktısı için, bir ileri besleme patikası oluşturur. Bir hücreden diğerine olan iletişim hattı, sinir ağları için önemli bir parçadır.

Bazı ağılarda, bir hücre aynı tabakadaki başka hücrelere engel (inhibit) oluşturabilir. Bu, yanal engelleme veya rekabet olarak adlandırılır ve en çok çıktı tabakasında kullanılır.

Diğer bir bağlantı şekli ise geri yayılma (feedback). Geri yayılma bağlantısı, bir tabakanın çıktısının önceki tabakaya gönderilmesidir ve Şekil 4.9’da yanal engelleme ve rekabet kavramlarıyla birlikte örneklenmektedir.



Şekil 4.9. Geri yayılma bağlantı yapısı

Nöronların diğer nöronlara bağlanma şeklide, ağı çalışmasını önemli derecede etkilemektedir.

Öğrenme (adaptasyon) YSA’ların yapısı içinde önemli bir yere sahiptir. Çünkü YSA’ların bazı önemli özellik ve avantajlarının kaynağını oluşturmaktadır. Bu yüzden, YSA yapısı içindeki öğrenme sürecine yönelik elemanlar büyük önem taşımaktadır. Bu elemanların ilki öğrenme fonksiyonudur. Öğrenme fonksiyonunun amacı her işlem elemanının girdilerine ait değişken bağlantı ağırlıklarını ayarlamaktır. Girdi bağlantı ağırlıklarının, istenilen sonucu elde edecek şekilde değiştirilmelerini sağlayan bu işlem öğrenme (adaptasyon) fonksiyonu olarak da adlandırılmaktadır.

İkinci eleman ise hata fonksiyonudur. Öğrenme fonksiyonunun gerekli ayarlamaları yapabilmesi için yanılma payının biliniyor olması gerekmektedir. Hata fonksiyonu, bu

amaca yönelik olarak, o anki çıktı ile istenilen çıktı arasındaki farkı ve hatayı hesaplar ve gerekiyorsa bir transformasyon uygular.

Diğer bir eleman ise öğrenme oranıdır. Öğrenme oranı, öğrenme sürecinin hızı ve işlevi açısından önemlidir. Çünkü YSA'ların öğrenme gücü ile hızı ters orantılıdır. Basit bir şekilde, bir adımda daha fazla öğrenme, daha düşük bir hız ve dolayısıyla daha fazla zaman anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle, daha fazla hız daha az öğrenme anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, bir ağıın ne kadar eğitileceği sorusu öğrenme oranına bağlıdır. Öğrenme oranının belirlenmesinde ise ağıın karmaşıklık düzeyi, büyüklüğü, mimarisi, kullandığı öğrenme kuralı ve istenilen doğruluk derecesi gibi birçok faktör rol oynar. Çoğu öğrenme fonksiyonu, öğrenme oranı için belirli standartlara sahiptir. Öğrenme oranı genellikle $[0,1]$ gibi bir aralık içinde belirlenir. Bu aralıkta, öğrenme oranının küçük değeri alması, yavaş bir öğrenme süreci getirecektir. Diğer taraftan ise, öğrenme sürecinin küçük adımlar halinde olması maksimum doğruluk derecesine yakınsamayı getirebilecektir.

Bir ağıın ilgili problemi çözmemesi durumunda kullanıcının yapabilecekleri iki gruba ayrılabilir. İlk grup ağıın yapısının gözden geçirilmesini kapsar. Daha açık olmak gerekirse, girdi ve çıktı verileri, tabaka sayısı, her tabakadaki eleman sayısı, tabakalar arasındaki bağlantılar, toplama, transfer ve eğitme fonksiyonları ve hatta başlangıç ağırlıkları gözden geçirilmelidir. Tüm bu kriterler, yapay sinir ağlarının sanatsal bölümü olan başarılı bir ağ oluşturmak için gereklidir. Diğer grup ise kullanıcının tercihine ve yaratıcılığına bağlı olan, eğitme kurallarını içermektedir. Eğitme sırasında ağırlıkların ayarlanabilmesi için gerekli çok sayıda değişik eğitme kuralı (algoritma) vardır.

4.5. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

YSA için literatürde birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Temel olarak iki çeşit öğrenme algoritması vardır: yönlendirmeli öğrenme ve yönlendirmesiz öğrenme. Her yöntemin kullandığı öğrenme kuralı değişebilmekteyse de, YSA'lar genel olarak bu iki algoritmaya göre sınıflandırılırlar.

Bu algoritmaların çoğu matematiksel tabanlı olup ağırlıkların yenilenmesi için kullanılırlar. Geliştirilen algoritmaların temelini ise aşağıda sıralanan beş algoritma oluşturmaktadır.

4.5.1 Hebb Kuralı

Bu öğrenme algoritması Donald Hebb tarafından 1949 yılında geliştirilmiştir. Bu algoritma bilinen en eski ve en ünlü algoritmadır. Ayrıca oldukça basit bir çalışması vardır. Temel olarak bir sinir hücresi başka bir hücreden bilgi alırsa ve eğer her ikisi de oldukça aktif (matematik bakımdan aynı işarete sahip) iseler, bu iki hücre arasındaki bağlantı değeri kuvvetlendirilmelidir, yani bağlantı değeri artırılmalıdır. Aksi takdirde bağlantı değerinin zayıflatılması gereklidir. Özet olarak, bu kural önceden tespit edilen sabit bir büyüklük ile bağlantı değerlerinin işaret (+ veya -) değiştirilmesi esasına dayanır.

4.5.2. Hopfield Kuralı

Bu kural Hebb kuralına benzer. Aralarındaki fark bu kuralda bağlantı değerlerinin işaretten başka büyüklüklerinin de değiştirilmesidir. Buna göre istenen giriş ve çıkış değerlerinin işaretleri aynı, yani aktif ise veya ikisi de aktif değilse bağlantı değerleri öğrenim oranı artırılır, yoksa aynı miktarda azaltılır. Buradaki kural Hebb kuralından farklı olarak birde öğrenme katsayısını işin içine katmaktadır. Öğrenme oranı genel olarak 0 ile 1 arasında ve sıklıkla 0.2 ile 0.4 arasında YSA tasarımcısı tarafından seçilen bir büyüklüktür. Hebb kuralında bu oran 1'e eşittir.

4.5.3. Delta Kuralı

Bu kural ilk olarak Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiştir. Bu kuralda, hücrenin gerçek çıkışı ile istenilen çıkış değerleri arasındaki farkı azaltan, giriş bağlantılarını güçlendiren ve sürekli olarak değiştiren bir yapıya sahiptir. Ortalama karesel hatayı, bağlantı ağırlık değerlerinin değiştirilmesi ile düşürme prensibine dayanır. Bu nedenle en küçük kareler yöntemi olarak da bilinir. Hata, aynı anda bir katmandan bir önceki katmana geri yayılarak azaltılır. Bu tür öğrenme ile eğitilen mimarilere, hata dağıtımli geri beslemeli YSA adı verilebilir. Bu kurala literatürde Windrow-Hoff veya en küçük ortalama kareler öğrenme kuralı da denir.

4.5.4. Kohonen Kuralı

Bu kural biyolojik sistemlerdeki öğrenme kuralından esinlenerek ortaya atılmıştır. Bu kural da hücreler öğrenmek için yarışır. En büyük çıkışa sahip olan hücre kazanır ve kazanan hücrenin ağırlıkları güncellenir. Bu hücre, komşularını uyarma ve yasaklama kapasitesine sahiptir. Kohonen kuralı, hedef çıkışa gereksinim duymaz. Bu nedenle de danışmasız bir öğrenme metodudur.

4.5.5. Levenberg-Marquardt kuralı

Levenberg-Marquardt algoritması kararlı bir iteratif optimizasyon algoritmasıdır. Hata fonksiyonunun Taylor serisine açılımını (ikinci derece terimlere kadar);

$$E(w + \Delta w) = E(w) + (JE)^T \Delta w + \frac{1}{2} \Delta w^T (J^T J) \Delta w \quad (4.5)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada w ağırlık vektörünü, E hata değerleri vektörünü, $E(w)$, hataların karelerinin toplamı olan fonksiyonu ya da diğer bir deyişle E 'nin normunu, J hata vektörü E 'nin Jacobian'ını, JE çarpımı E fonksiyonunun gradyanını, Δw ağırlık vektöründeki değişimi ve $J^T J$ de E vektörünün Hessian'ını göstermektedir. $J^T J$, aslında gerçek Hessian matrisi olmayıp bir yaklaşımdır. Bu yolla sadece birinci türev değerleri kullanılarak, ikinci türev bilgisi yaklaşık olarak kullanılabilmekte ve hesaplama sırasında hafızada daha az bilgiyle çalışabilmeyi sağlamaktadır.

Bu hata fonksiyonunun Δw 'ya göre gradyanı sıfıra eşitlenirse,

$$(J^T J) \Delta w = -JE \quad (4.6)$$

şeklinde bir eşitlik elde edilir. Bu eşitliğin çözümü ile yapılan ağırlık güncellemesi yöntemi Gauss-Newton algoritması olarak adlandırılır.

Levenberg-Marquardt algoritması, eşitliğin sol tarafına bir ekleme yaparak,

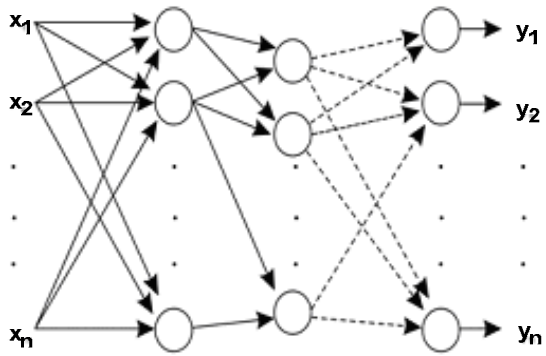
$$(J^T J + \lambda I) \Delta w = -JE \quad (4.7)$$

haline getirir. Burada λ değeri bir reel sayıyı, I ise birim matrisi göstermektedir. Yöntemde, başlangıç aşamasında λ değeri büyük alınır. λI çarpımının baskın olması ile eşitlik en dik iniş algoritması gibi çalışır. Hata değerinde hızlı düşüş görüldüğünde λ değeri azaltılarak Gauss-Newton algoritmasına yaklaşılr. Tam tersine, yavaş bir azalma gözleniyorsa λ değeri arttırılmalıdır.

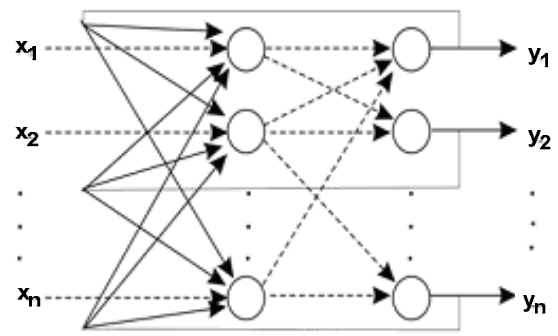
Yöntemin yapay sinir ağlarına uygulamasını da Hagan ve Menhaj (1994), gerçekleştirmiştir.

4.6. İleri Beslemeli Geriye Yayınım Metodu

YSA'da bazı ağlar ileri besleme şeklinde yapılandırılırken, bazı ağlar ise geri besleme yapısı içermektedir. İleri besleme sinir ağlarında, işlem elemanları arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmazlar ve bu ağlar girdi verilerine genellikle hızlı bir şekilde karşılık üretirler. Geri beslemeli ağlarda (Recurrent Networks) ise bağlantılar döngü içerirler ve hatta her seferinde yeni veri kullanabilmektedirler. Bu ağlar, döngü sebebiyle girdinin karşılığını yavaş bir şekilde oluştururlar. Bu yüzden, bu tür ağların eğitime süreci daha uzun olmaktadır. Ayrıca, hem ileri besleme hem de geri yayılma olarak tanımlanabilecek ağ yapıları da mevcuttur. Şekil 4.10'da, bir kıyaslamaya imkan tanıyabilmek için, çok tabakalı ileri beslemeli ağ yapısı ile birlikte çok tabakalı geri beslemeli ağ yapısı örneklenmektedir.



Çok Tabakalı İleri Beslemeli Ağ

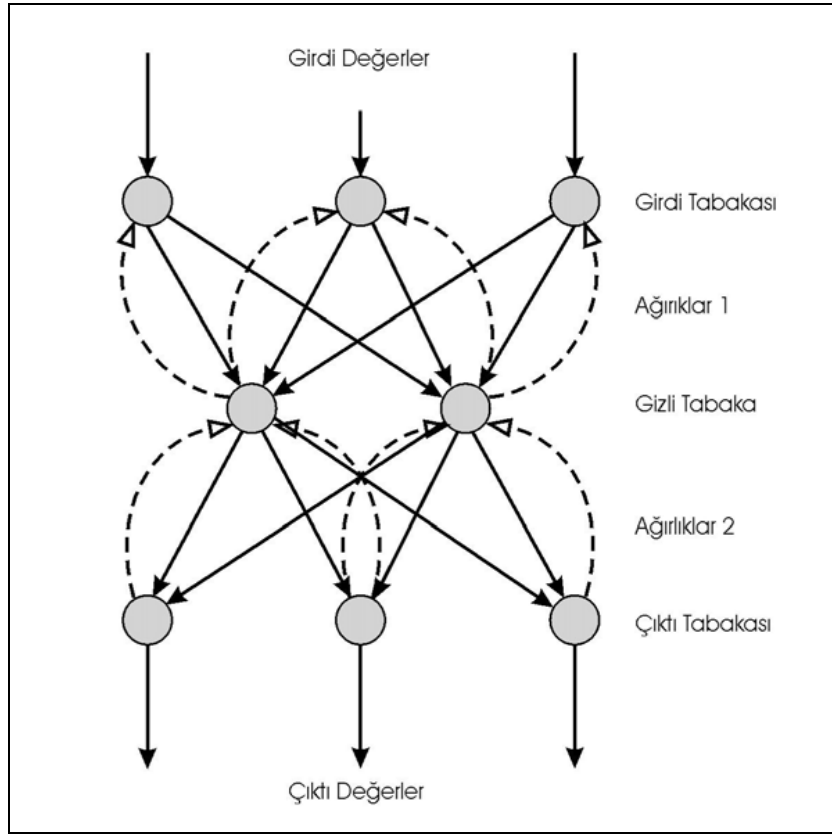


Çok Tabakalı Geri Beslemeli Ağ

Şekil 4.10. İleri beslemeli ve geri beslemeli ağ yapıları

İleri beslemeli geri yayılma mimarisi, 1970’li yıllarda geliştirilmiştir. Bu mimarinin geliştirilmesinde birbirlerinden bağımsız olarak birkaç araştırmacının katkıları olmuştur. Asıl katkı ise Rumelhart, Hinton ve Williams tarafından 1986 yılında yapılmıştır.

Ortaya çıkışından sonra, hem etkili hem de çok kullanışlı olmasından dolayı büyük bir popülerite kazanmıştır ve hala en çok kullanılan ağ türü olarak bilinmektedir. İleri beslemeli geri yayılma mimarisi, çok sayıda farklı uygulama alanında kullanılmaktadır. En büyük özelliği doğrusal olmayan yapı içeren problemlerde de etkili olabilmesidir.



Şekil 4.11. İleri beslemeli geri yayılma ağların genel yapısı

Şekil 4.11’de, bir girdi tabakası, bir gizli tabaka ve bir çıktı tabakası içeren bir geri yayılma ağ yapısı örneklenmektedir. Tabakalar halinde düzenlenmiş daireler işlem elemanlarını yani hücreleri temsil etmektedir. Girdi tabakasında üç hücre bulunmaktadır, yani ağı girdi olarak üç değişken tanıtılmaktadır. Bunun dışında gizli tabakada iki hücre, çıktı tabakasında ise üç hücre bulunmaktadır. Dolayısıyla, ağdan üç değişken olarak çıktı alınmaktadır. Girdi tabakasından, gizli tabakaya iletilen değerler “Ağırlıklar 1” ağırlık seti ile gizli tabakadan çıktı tabakasına iletilen değerler ise “Ağırlıklar 2” ağırlık seti ile

ağırlıklandırılmaktadır. Ağ yapısında, kalın oklar, anımsama sırasındaki bilgi akışını simgelemektedir. Anımsama, eğitilmiş bir ağa yeni girdi verilerin sunulması ve çıktısının alınması işlemidir. Bu yüzden, anımsama işlemi sırasında geri yayılma işlemi kullanılmaz.

Geri yayılma sadece eğitme sürecinde kullanılır, dolayısıyla eğitme sürecindeki bilgi akışı Şekil 4.11'deki tüm oklar ile gösterilmektedir.

4.6.1. İleri Beslemeli Geriye Yayınım Metodu Denklemleri

Her birinin girdi hücrelerinde, $x_i, i=1, \dots, k$ girdi değerleri, çıktı hücrelerinde de, $T_n, n=1, \dots, m$ çıktı değerleri kümesi bulunan toplam N adet girdi grubu bulunmaktadır. Girdi değerleri gizli hücrelerdeki ilk ara bağlantı ağırlıkları, $w_{ij}, j=1, \dots, h$, ile çarpılmakta ve sonuçlar i indeksi boyunca toplanmakta ve gizli birimlerin girdileri olmaktadır.

$$H_j = \sum_{i=1}^k w_{ij} x_i, j = 1, \dots, h \quad (4.8)$$

H_j , j gizli hücrenin girdisi, w_{ij} ise i hücresinden j hücresine doğru olan bağlantı ağıdır. Her gizli hücre bir sigmoid fonksiyonu yardımı ile bir gizli hücre çıktısı, HO_j oluşturmaktadır. HO_j şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$HO_j = f(H_j) = \frac{1}{1 + \exp(-(H_j + \theta_j))} \quad (4.9)$$

Burada H_j , j hücrenin girdisi, $f(H_j)$, hücre çıktısı, ve θ_j başlangıç veya taraflılık değeridir. Başlangıç değeri, θ_j , ağırlıklarla aynı şekilde öğrenilecektir. HO_j çıktısı bir sonraki birimin girdisi olmakta ve bu işlem çıktı birimine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. m adet çıktı hücrelerine ulaşan girdi şu şekilde bulunmaktadır (Eşitlik 4.10).

$$IO_n = \sum_{j=1}^h w_{jn} HO_j, n = 1, \dots, m \quad (4.10)$$

Bu girdi değerleri daha önce tanımlanan sigmoid fonksiyonu tarafından işlenerek sinir ağı çıktı değerleri, O_n elde edilmektedir. Daha sonraki ağırlık düzenlemesi ya da öğrenme

süreci geriye doğru ilerleme algoritması ile sağlanmaktadır. Çıktı birimindeki, O_n , hedef değeri T_n ile aynı olmayacaktır.

Her girdi grubu için hata karelerinin toplamı, e_p , p 'inci girdi grubu için şu şekilde bulunmaktadır:

$$e_p = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^m (T_n - O_n)^2 \quad (4.11)$$

Ortalama sistem hatası ya da ortalama kare hatası (OKH), E , bütün girdi grupları için şu şekilde hesaplanır:

$$E = \frac{1}{2N} \sum_{p=1}^N \sum_{n=1}^m (T_{pn} - O_{pn})^2 \quad (4.12)$$

Burada T_{pn} , p 'inci grup için T_n hedef değeri, O_{pn} ise p 'inci grup için O_n çıktı değeridir. Geriye doğru ilerleme algoritmasının amacı ortalama kare hatasının iterasyonla en aza indirilmesidir. Bu, önce çıktı birimindeki her hücre için δ_n gradyanının hesaplanması ile gerçekleştirilir.

$$\delta_n = O_n(1 - O_n)(T_n - O_n) \quad (4.13)$$

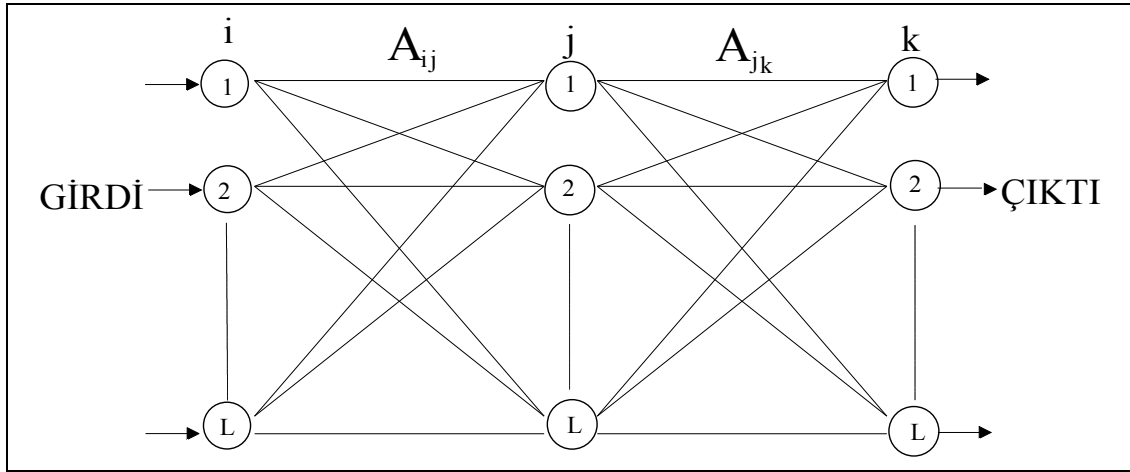
4.7. Analizlerde Kullanılan YSA Teknikleri

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde kullanılan farklı YSA teknikleri aşağıda verilmiştir.

4.7.1. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (ÇKYSA)

Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA), değişik ağırlıklarla birbirine bağlı, birçok işlem elemanlarından oluşmuş yoğun paralel sistemlerdir. ÇKYSA metotları içerisinde en tercih edileni, hataların geriye yayılma ilkesine göre çalışandır. Şekil 4.11, üç tabakalı bir yapay sinir ağını göstermektedir. Burada i girdi tabakası, j gizli tabaka ve k çıktı tabakası,

A_{ij} ve A_{jk} ise hücre tabakaları arasındaki bağlantı ağırlıklarıdır. Başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri, eğitme sürecinde tahmin edilen çıktılarla gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak devamlı değiştirilir ve hataları minimum yapan bağlantı ağırlık değerleri ayarlanıncaya kadar hatalar geriye doğru (Şekil 4.12’de sağdan sola) yayılır. Burada ağırlıkları ayarlamak için kullanılan metot, genelleştirilmiş delta kuralına dayalı momentum geriye yayılma algoritmasıdır (Rumelhart vd., 1986).



Şekil 4.12. Üç tabakalı bir yapay sinir ağı

j ve k tabakalarındaki her bir hücre, önceki tabakadan NET ağırlıklı toplam çıktılarına girdi olarak alır. NET değeri Eşitlik 4.14 ile hesaplanır.

$$NET_{pj} = \sum_{i=1}^L A_{ij} C_{pi} + \theta_j \quad (4.14)$$

Burada L , girdi vektörünün boyutu, θ_j taraflılık sabiti (bias), A_{ij} , i ve j tabakaları arasındaki ağırlıklar kümesi, C_{pi} , p örneği için i tabakasının çıktı kümesidir. j ve k tabakalarındaki her bir hücre, NET değerini doğrusal olmayan bir tasvir fonksiyonundan geçirerek $f(NET)$ çıktısını üretir. Yaygın şekilde kullanılan bu tasvir fonksiyonu,

$$f(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (4.15)$$

şeklinde ifade edilir.

Eğitme aşamasında, p örneği için toplam hata H_p , tahmin edilen ve gerçek çıktılar arasında kareler farkına bağlı olarak Eşitlik 4.16 ile hesaplanır.

$$H_p = \sum_{k=1}^N (G_{pk} - C_{pk})^2 \quad (4.16)$$

burada N iterasyon sayısı olmak üzere, G_{pk} ve C_{pk} sırası ile p örneği için gerçek ve tahmin edilen çıktı değerleridir. Eğitim işleminin asıl amacı toplam hata (H)'yı minimum yapan bir ağırlıklar kümesi üretmektir.

$$H = \sum_{p=1}^p H_p \quad (4.17)$$

Herbir bağlantı ağırlığı, A_{ij} , Eşitlik 4.18 ile yenilenir.

$$A_{ij}^{yeni} = A_{ij}^{eski} - \eta \frac{\partial H_p}{\partial A_{ij}} \quad (4.18)$$

Burada η öğrenme oranı olarak adlandırılan orantılılık katsayısını, $\partial H_p / \partial A_{ij}$ ise hata yüzeyinin eğimini göstermektedir.

4.7.2. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RTYSA)

Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA)'nda temel fikir, bir grup radyal taban fonksiyonunu, istenen f fonksiyonuna yaklaşacak şekilde ağırlıklandırarak toplamaktan ibarettir. RTYSA üç katmanlı bir yapıdır. Giriş katmanı giriş vektör uzayı ile çıkış katmanı da örüntü sınıfları ile ilişkilidir. Böylelikle tüm yapı, gizli katmanın yapısı ve gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların belirlenmesine indirgenir. Gizli katmandaki nöronların aktivasyon fonksiyonları bir C_j merkezi ve σ_j bant genişliği ile belirlenir. Aktivasyon fonksiyonu,

$$\varphi_j(X) = \exp\left(-\frac{\|X - C_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right) \quad (4.19)$$

eşitliği ile tanımlanan bir Gauss eğrisidir. Çıkış katmanındaki j . nöronun çıkışı için genel eşitlik ise şu şekildedir:

$$s_j(X) = \sum_{i=1}^K w_{ij} \varphi_i(X) + b_j \quad (4.20)$$

burada, w_{ij} gizli nöron, i ve çıkış nöronu j arasındaki ağırlık katsayısıdır (Paredes ve Vidal, 2000).

4.7.3. Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları (GRYSA)

Genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları (GRYSA), radyal tabanlı işlev ağlarının özel bir durumudur. Ağ yapısı bir radyal tabanlı katman ile özel bir doğrusal katmandan oluşmaktadır. Radyal tabanlı YSA'larda temel fikir, bir grup radyal tabanlı işlevi istenen işleve yaklaşacak şekilde ağırlıklandırarak toplamaktır. Genelleştirilmiş regresyon ağlarında ise radyal tabanlı işlev ağlarının merkez ve bant genişliklerinin eğitme verisinin deterministik işlevleri olarak belirlenir ve bu tip ağlarda eğitim için yinelemeli (iteratif) yöntemler kullanılmaz.

Birinci katman, normal bir radyal tabanlı YSA gibi işler. Her nöronun ağırlıklı girişi, giriş vektörü ile bu girişin ağırlık vektörü arasındaki uzaklıktır. Her bir nöronun net girişi, o nöronun ağırlıklı girişi ile biasının çarpımıyla belirlenir. Her nöronun çıkışı, o nöronun net girişinin radyal tabanlı katmandan geçirilmesiyle hesaplanır.

Genelleştirilmiş regresyon ağlarında bir x_j girişi, ağdaki Gauss çekirdeklerinden birinin merkezi olarak atanır. Herhangi bir giriş vektörü x için i . radyal tabanlı biriminin çıkışı:

$$\beta_i = \exp\left[-\frac{(x - x_i)^T (x - x_i)}{2\sigma^2}\right] \quad (4.21)$$

şeklinde hesaplanır. Burada σ kullanıcı tarafından belirlenen yumuşatma parametresidir.

Herhangi bir x girişı için ağıın çıkışı y ;

$$y = \sum_{i=1}^K \alpha_i y_i \quad (4.22)$$

şeklindedir. Eşitlik 4.22’de kullanılan α katsayıları aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır:

$$\alpha_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^K \beta_i} \quad (4.23)$$

Eğer giriş vektörü x , herhangi bir x_i eğitim vektörüne yakın ise x_i ’ye ilişkin α_i en büyük olacak ve istenen çıkış y , x_i ’ye ilişkin y_i çıkışına yaklaşacaktır (Wong ve Hamouda, 2000).

4.7.4. Bulanık-Yapay Sinir Ağları (BYSA)

Jang, (1993), bulanık çıkarım sistemini kullanarak, yeni bir yapı ve öğrenme prosedürü geliştirmiştir. Bir tür bulanık yapay sinir ağı (BYSA) olan bu sistemde, üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin hesaplanmasında 2 metot kullanılmaktadır. Bunlar;

- Bütün parametreler eğim azaltma metodu ile hesaplanır.
- Giriş üyelik fonksiyonları eğim azaltma metodu ile çıkış üyelik fonksiyonlarının parametreleri ise en küçük kareler metoduyla hesaplanır.

Burada Sugeno bulanık çıkarım sistemi kullanılmaktadır. (Jang vd., 1997).

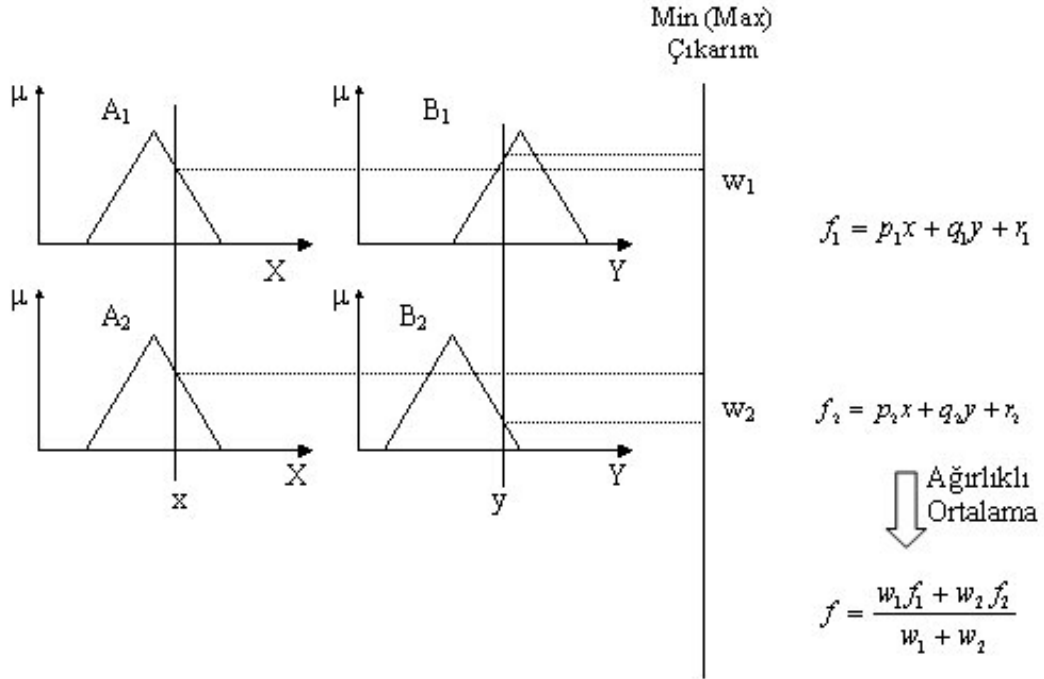
Basit bir örnek olarak, iki giriş x ve y ve bir çıkışa sahip bir bulanık çıkarım sistemi kabul edelim. Bu sistemin kuralları Eşitlik 4.24 ve Eşitlik 4.25 ile verilsin.

$$\text{Kural 1: Eğer } x, A_1 \text{ ve } y, B_1 \text{ ise } f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1 \quad (4.24)$$

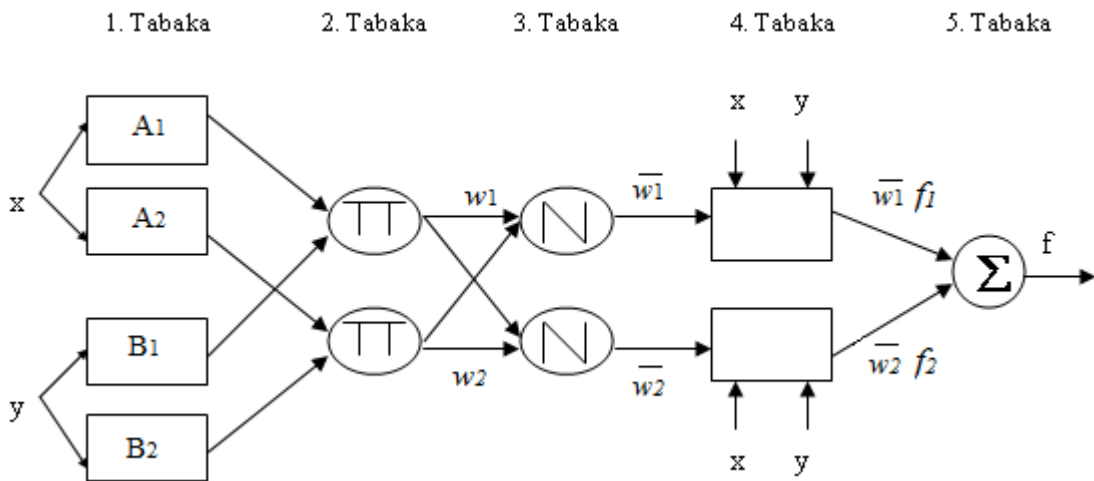
$$\text{Kural 2: Eğer } x, A_2 \text{ ve } y, B_2 \text{ ise } f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2 \quad (4.25)$$

Burada A_1, A_2 ve B_1, B_2 ; x ve y nin üyelik fonksiyonları, p_1, q_1, r_1 ve p_2, q_2, r_2 ise çıkış fonksiyonun parametreleridir. Şekil 4.13’te Sugeno bulanık mantık sistemi

gösterilmektedir. Burada çıktı f kural çıkışların ağırlıklı ortalamasıdır İlgili BYSA mimarisi Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. İki girişli iki kurala sahip bir Sugeno bulanık modeli



Şekil 4.14. BYSA mimarisi.

1. tabakanın i . hücresinin çıkışı $O_{l,i}$ olsun. 1. tabakanın uyarlanabilen hücreleri ise $O_{l,i} = \varphi A_i(x)$ $i = 1, 2$, veya $O_{l,i} = \varphi B_{i-2}(y)$, $i = 3, 4$, fonksiyonları olsun. Burada x ve y i .

hücrenin girişi ve A_i ve B_{i-2} sözel etiketlerdir. ('düşük' veya 'yüksek' gibi) A ve B için üyelik fonksiyonları genellikle genelleştirilmiş çan fonksiyonu ile tanımlanır:

$$\varphi A_i(x) = \frac{1}{1 + [(x - c_i)/a_i]^{2b_i}} \quad (4.26)$$

Eşitlik 4.26'da a_i , b_i , ve c_i parametreleri göstermektedir. Üçgen üyelik fonksiyonu da yaygın olarak kullanılmaktadır. (Jang, 1993). Bu katmandaki parametreler öncül parametre olarak adlandırılır ve bu tabakanın çıkışları öncül kısmın üyelik değerleridir. Π etiketi ile gösterilen 2. tabakadaki her bir hücre kendisine gelen girişleri birbiri ile çarpar. Örneğin;

$$O_{2,i} = w_i = \varphi A_i(x) \varphi B_i(y), \quad i = 1, 2. \quad (4.27)$$

buradaki $O_{2,i}$ değerleri kuralların etkisini göstermektedir. N ile gösterilen 3. tabakadaki hücreler ise tüm kuralların etkisine i . kuralın etkisini ağırlık olarak hesaplar.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2. \quad (4.28)$$

4. tabakadaki her bir hücre

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (4.29)$$

fonksiyonunu içerir. Burada $\bar{w}_i$, 3. tabakanın çıkışı ve p_i , q_i ve r_i parametrelerdir. Bu tabakadaki parametreler ise soncul parametreler olarak tanımlanır. Σ etiketli 5. tabakadaki tek hücre ise kendisine gelen girişleri toplar (Eşitlik 4.30).

$$O_{5,i} = \sum_{i=1} \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (4.30)$$

BYSA hakkında daha detaylı bilgi Jang (1993), 'te bulunmaktadır.

5. YAN SAVAK DEBİ KAPASİTESİNİN YAPAY ZEKA HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İLE MODELLENMESİ

5.1. Giriş

Emiroğlu vd. (2007), labirent yan savaklar üzerindeki akımı oldukça detaylı olarak incelemiştir. Araştırmacılar, yan savak debi katsayısının belirlenmesinde, gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen verileri kullanmışlardır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen, mevcut verilerin yapay zeka hesaplama yöntemleri ile analiz edilmesi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması, gerek uygulamada gerekse model çalışmalarında tasarımcılar için oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, mevcut deneysel veriler, genel olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Bunlardan birincisi, ana kanalın doğrusal kısmında gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, ikincisi ise ana kanalın kıvrımlı kısmında gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen verilerdir. Yine ana kanalın hem doğrusal kısmında, hem de kıvrımlı kısmında, dikdörtgen ve üçgen kret şekline sahip iki farklı savak tipinden elde edilen veriler, modelleme yapılırken ayrı ayrı gruplandırılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de modelleme çalışmalarında kullanılan deneysel verilerin karakteristikleri verilmiştir.

5.2. Doğrusal Kanalda Dikdörtgen Yan Savaklar için Oluşturulan Modeller ve Analizler

Burada, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen keskin kenarlı dikdörtgen yan savaklar için mevcut olan toplam 843 deney dizisi, debi katsayısının tahmini için, farklı YSA modellerinde kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda test edilen her bir savak için, akış debileri 10 L/s ile 150 L/s aralığında seçilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde, bu aralığın çok geniş tutulduğu görülmektedir. Bu da elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve doğru yorumlanması açısından oldukça önemlidir.

Çalışmanın bu bölümünde amaç, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen dikdörtgen yan savakların debi katsayısının tahmini için uygun yapay sinir ağı modelleri geliştirmektir.

Modellerin performanslarının, diğer bir deyişle doğruluklarının değerlendirilmesinde, kriter olarak, karekök ortalama karesel hata (KOKH), ortalama mutlak hata (OMH) ve korelasyon katsayısı (R) seçilmiştir. KOKH ve OMH Eşitlik 5.1 ve Eşitlik 5.2'deki gibi tanımlanır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{d,gözlenen} - C_{d,tahmin})^2} \quad (5.1)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |C_{d,gözlenen} - C_{d,tahmin}| \quad (5.2)$$

Burada, N , veri sayısı, C_d debi katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

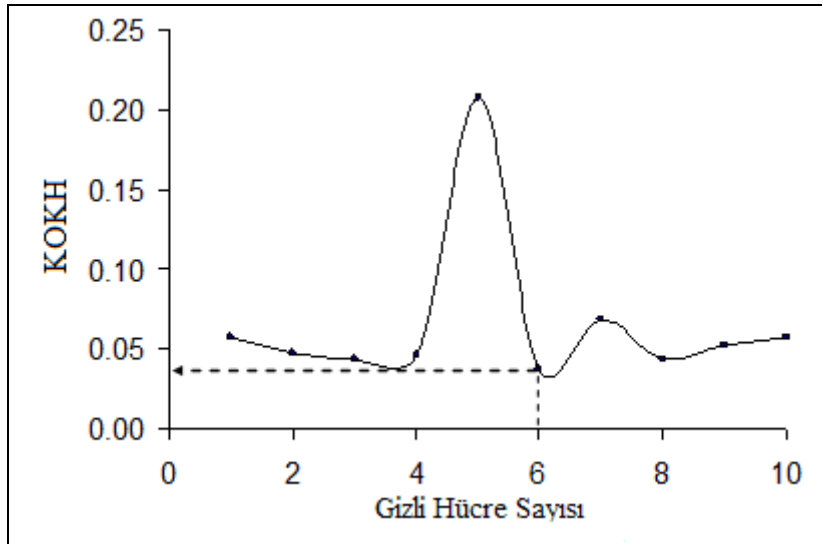
İlk olarak çok katmanlı yapay sinir ağı (ÇKYSA) ve radyal tabanlı yapay sinir ağı (RTYSA) modellerinin uygunluğu test edilmiştir. Oluşturulan modellerde, giriş verileri için kullanılan boyutsuz parametreler, Fr (Froude sayısı), L/b (savak uzunluğu/kanal genişliği), L/h_1 (savak uzunluğu/akım derinliği), p/h_1 (savak yüksekliği/akım derinliği)'dir.

ÇKYSA modelinin ağırlıklarının ayarlanması için, Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalarda, bu tekniğin klasik eğim azaltma tekniklerine göre uygulamalarda daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Hagan ve Menhaj, 1994 ve Kisi, 2007).

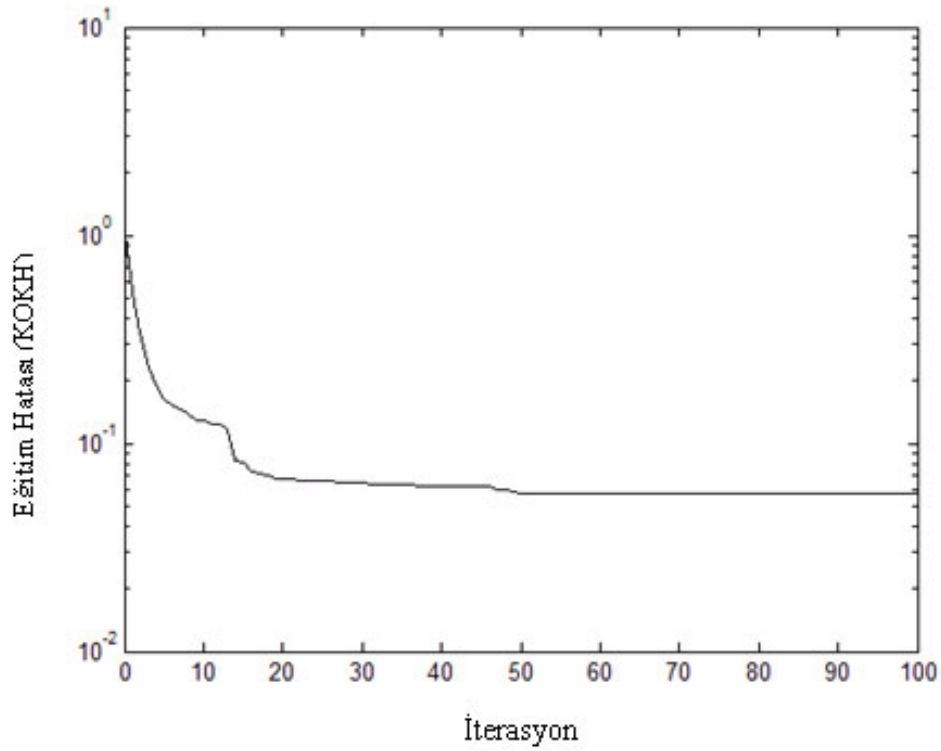
ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR (çoklu doğrusal olmayan regresyon) ve ÇDR (çoklu doğrusal regresyon) analizleri, MATLAB programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modellemelerde kullanılan toplam 843 deney dizisi, MATLAB ortamına, aktarılarak, “*randperm*” komutu ile karıştırılmış ve ardından programa kaydedilerek, eğitim ve test aşamasında kullanılmak üzere iki parçaya bölünmüştür. Karıştırılmış 843 deney dizisinin 600'ü eğitim, 243'ü test aşamasında kullanılmıştır. Verilerin normalizasyonunda Lawrence vd., (1997) tarafından önerilen “*ortalaması 0 ve varyansı 1 olacak şekilde normalize*” (normalized to zero mean and unit variance) edilmiştir. Farklı ÇKYSA ve RTYSA mimarileri denenmiş ve uygun model yapıları belirlenmiştir. Bir gizli tabakaya sahip ÇKYSA modeli kullanılarak, gizli tabaka hücre sayısı, program içerisinde deneme ve yanılma metodu ile belirlenmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde ÇKYSA modelinin doğruluğunun, gizli hücre sayılarına bağlı olduğu

görülmektedir. Şekil 5.1'den de görülebileceği gibi minimum KOKH değeri, 6 gizli hücreden oluşturulmuş bir yapıda elde edilir. Gizli hücreler için sigmoid aktivasyon fonksiyonu, çıkış hücresi için ise doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. ÇKYSA modelinin eğitim aşaması, toplam 100 iterasyondan sonra, hata miktarının çok düşmesinden dolayı durdurulmuştur. Eğitim aşamasında, hatalarının iterasyon sayısı ile değişim grafiği Şekil 5.2'de görülebilir.

RTYSA modeli için, ortogonal en küçük kareler algoritması (Chen vd., 1991) kullanılmıştır. RTYSA modeli için, farklı gizli katman sayıları ve yayılma sabitleri (spread constant) incelenmiştir. Bu kriterlere göre elde edilen en uygun gizli tabaka sayısı 37, yayılma sabiti ise 4.4 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.1. ÇKYSA için gizli hücre sayısı ile KOKH değerlerinin değişim grafiği



Şekil 5.2. ÇKYSA modeli için eğitim hatalarının iterasyon sayısını ile değişim grafiği

Modellerde, ÇDOR ve ÇDR eşitliklerinin oluşturulmasında toplam 843 deney dizisinin 600'ü kullanılmış, kalan 243 veriyle testleri gerçekleştirilmiştir. ÇDOR (Eşitlik 5.3) ve ÇDR (Eşitlik 5.4) için elde edilen eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$C_d = \left[0.662 + \left(\frac{0.307 + 0.119 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{7.135} + 0.241 \left(\frac{L}{b} \right)^{0.413} + 0.004 \left(\frac{L}{h_1} \right)^{0.827}}{+ 0.218 \text{Fr}^{2.338}} \right)^{6.164} \right]^{2.472} \quad (5.3)$$

$$C_d = \left[0.1726 + 0.1159 \left(\frac{p}{h_1} \right) + 11.91 \left(\frac{L}{b} \right) + 0.0076 \left(\frac{L}{h_1} \right) + 0.1352 \text{Fr} \right] \quad (5.4)$$

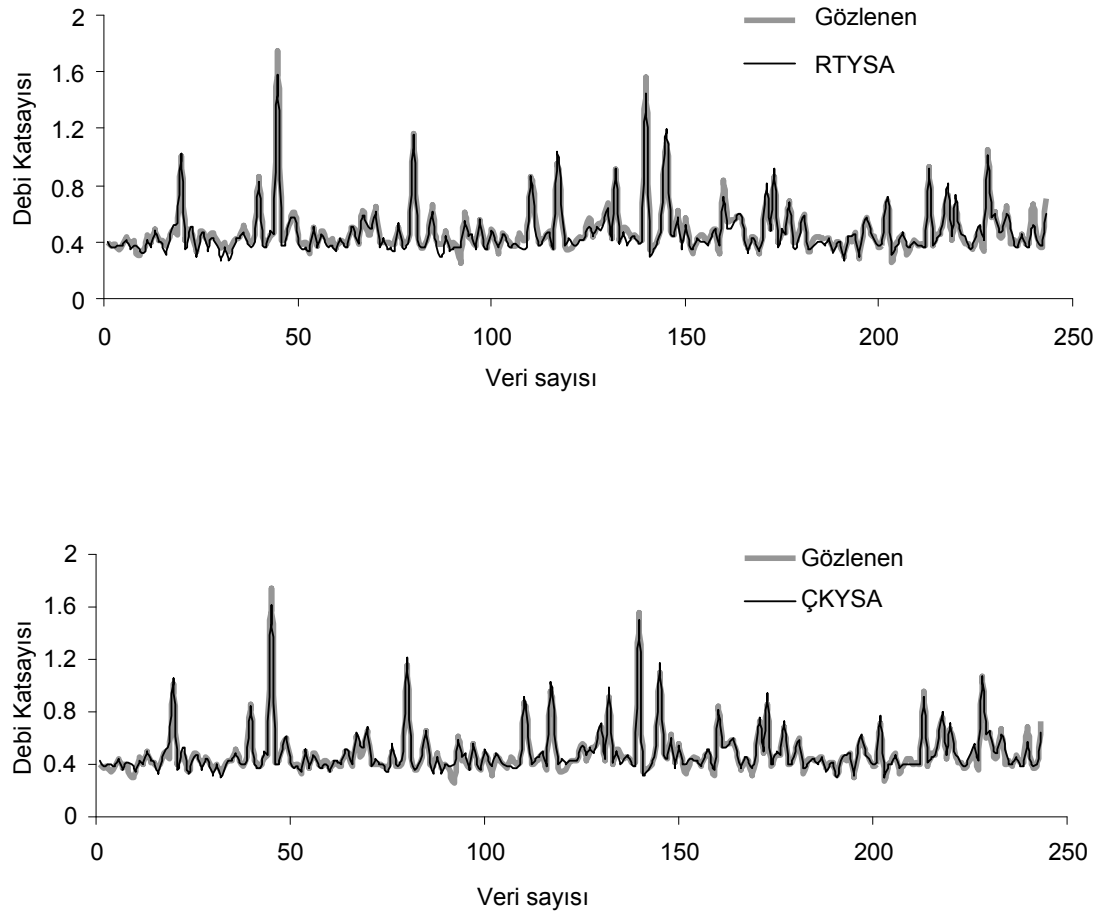
Eşitlik 5.3 ve Eşitlik 5.4'te, savak genişliği L , kanal genişliği b , savak kret yüksekliği p , akım derinliği h_1 metre birimindedir. Froude sayısı (Fr) ise boyutsuz bir parametredir. C_d debi katsayısını belirtmektedir ve boyutsuz bir katsayıdır.

MATLAB programlama dili yardımıyla M-file olarak oluşturulan ÇKYSA ve RTYSA modellerinden elde edilen test sonuçları, ÇDOR (Eşitlik 5.3), ve ÇDR (Eşitlik 5.4)'den elde edilen test sonuçları ile karşılaştırılarak Tablo 5.1'de verilmiştir. Tablo 5.1'den de açık bir şekilde görülmektedir ki, test aşamasında ÇKYSA ve RTYSA modellerinden elde edilen sonuçlar nispeten birbirine yakındır. Yine Tablo 5.1 incelendiğinde, ÇKYSA ve RTYSA modellerinden, ÇDOR ve ÇDR'ye göre daha iyi sonuçların alındığı görülmektedir. Tablo 5.1'deki karşılaştırma kriterlerine göre, En iyi sonuç, ÇKYSA modelinden alınmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen, yani gözlenen verilere göre hesaplanmış debi katsayısı değerleri ve modellerde tahmin edilen debi katsayısı değerleri, Şekil 5.3'te görülmektedir. ÇKYSA ve RTYSA modellerinden elde edilen sonuçların, ÇDOR ve ÇDR'dan elde edilen sonuçlara göre gözlenen verilere daha yakın olduğu ve ÇKYSA ile RTYSA'dan elde edilen sonuçların birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 5.3 incelendiğinde özellikle ÇDR'dan elde edilen sonuçların, debi katsayılarının tahmini için yetersiz olduğu, grafikteki pik değerlerden açıkça görülmektedir.

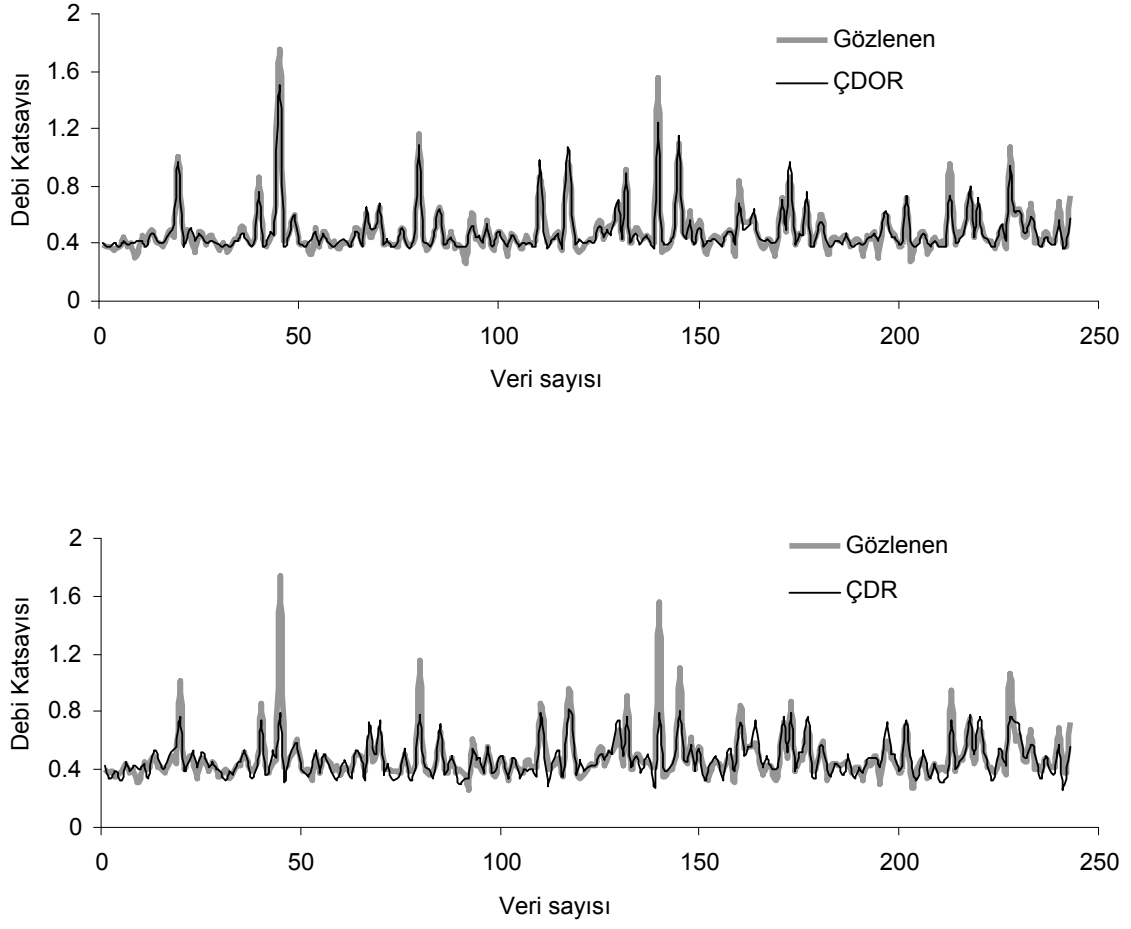
Şekil 5.4'te test aşamasında, her bir model için tahmin değerleri, saçılma diyagramı olarak verilmiştir. Saçılma diyagramlarındaki eşitliklerden de görüldüğü gibi (eşitlik $y = a_0x + a_1$ olsun) ÇKYSA modelinin a_0 ve a_1 katsayıları, RTYSA ve regresyon modellerine göre sırasıyla 1 ve 0'a daha yakındır. ÇDR tahminleri ideal çizgiden (45° çizgisi) oldukça uzaktır. Bu eşitliklerden de açıkça görülebilmektedir. Bu da incelenen olayın doğrusal olmadığını ortaya koymaktadır.

Tablo 5.1. ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinin test sonuçlarına göre elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri

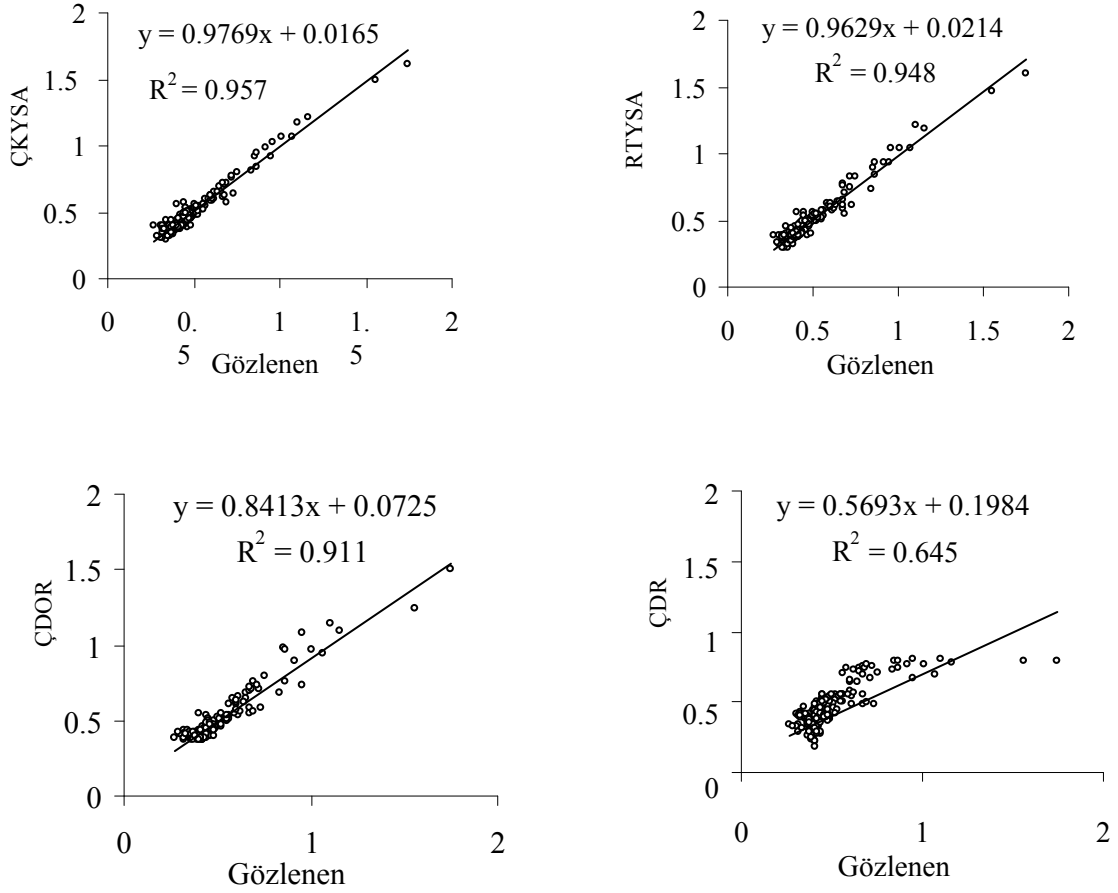
Model	KOKH	OMH	R
ÇKYSA	0.037	0.027	0.979
RTYSA	0.040	0.028	0.974
ÇDOR	0.054	0.032	0.954
ÇDR	0.106	0.058	0.803



Şekil 5.3.



Şekil 5.3. Test aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.4. Test aşamasında ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramları

Test aşamasındaki 243 veri için, ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR'dan elde edilen tahmini sonuçlara göre; sırasıyla 209'u, 206'sı, 188'i ve 132'si %10 göreceli hatadan daha küçük bulunmuştur. Yine ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinin test aşamasında sırasıyla 139, 139, 124 ve 77 tane %5'ten daha küçük hataya sahip olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak iki farklı yapay sinir ağı modeli, ÇKYSA ve RTYSA doğrusal kanal üzerine yerleştirilen dikdörtgen yan savakların debi katsayılarının tahmini için kullanılabilirliği test edilmiştir. Bu yapay sinir ağı modellerinden elde edilen sonuçlar ÇDOR ve ÇDR ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara göre, oluşturulan yapay sinir ağı modellerinin regresyon modellerine göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir. Oluşturulan yapay sinir ağı modelleri incelendiğinde, ÇKYSA modelinin, RTYSA modeline göre nispeten daha doğru sonuç verdiği söylenebilir. ÇKYSA modeli ÇDOR'a göre %31 ve %16 daha az KOKH ve OMH'ya sahiptir. Bu değerlendirmelerin sonucunda

ÇKYSA ve RTYSA modellerinin, doğrusal kanal üzerinde yerleştirilen dikdörtgen yan savakların debi katsayısının tahmininde, başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Son olarak, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen dikdörtgen yan savakların debi katsayılarının tahmini için mevcut olan toplam 843 deney dizisi, uygun bir bulanık yapay sinir ağı modeli ile analiz edilmiştir. Diğer çalışmada olduğu gibi model; MATLAB programlama dili kullanılarak M-file olarak oluşturulmuştur. Toplam 843 deney dizisi, eğitim ve test aşamasında kullanılmak üzere 600 ve 243 olmak üzere 2 parçaya bölünmüştür. Modelde, farklı BYSA mimarileri çalışılarak, uygun yapı belirlenmeye çalışılmış, bunun sonucunda da, 8 farklı bulanık yapay sinir ağı mimarisi geliştirilmiştir.

Debi katsayısının tahmini için, modellerde 2 ya da 3 üyelik fonksiyonuna sahip BYSA modellerinin yeterli olduğuna karar verilmiştir. BYSA'nın farklı yapıları için triangle, trapezoidal, gaussian ve gumbell üyelik fonksiyonları denenmiştir. Tablo 5.2'de eğitim ve test aşamasında farklı bulanık yapay sinir ağı modellerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablo 5.2 incelendiğinde 2 üyelik fonksiyonuna sahip BYSA (2, trimf) yapısı; Fr , L/b , L/h_1 ve p/h_1 giriş verileri için, test aşamasında, en düşük KOKH (0.0431) ve OMH (0.0290) değerlerini, bununla birlikte en yüksek R (0.9699) değerini sağlayarak, gözlenen değerlere en yakın debi katsayısı (C_d) değerlerini vermiştir.

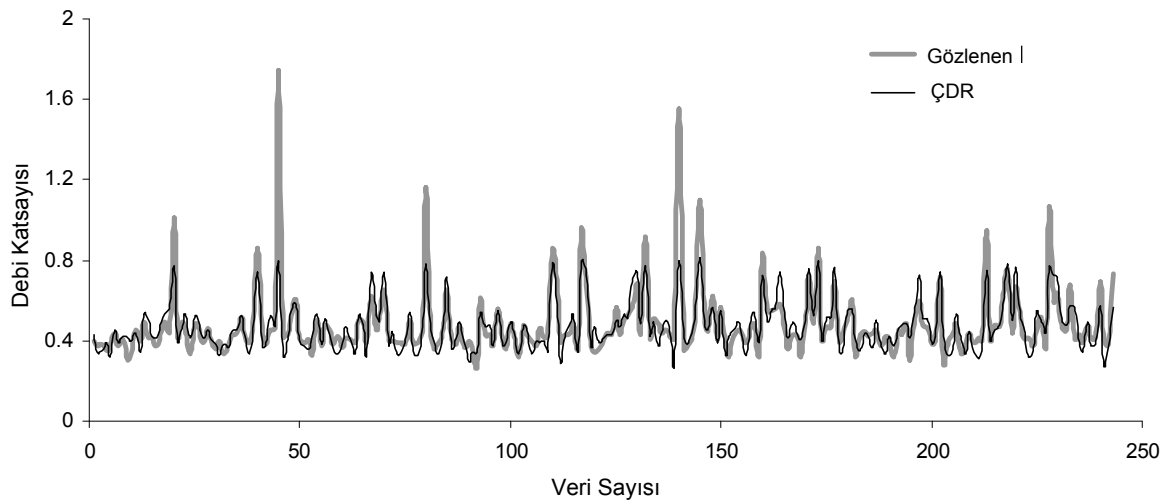
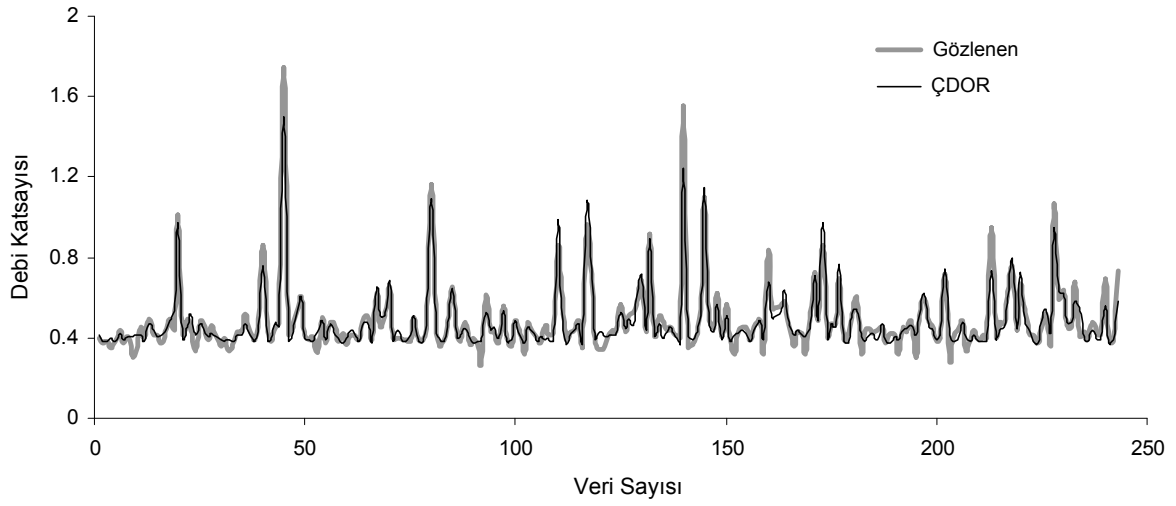
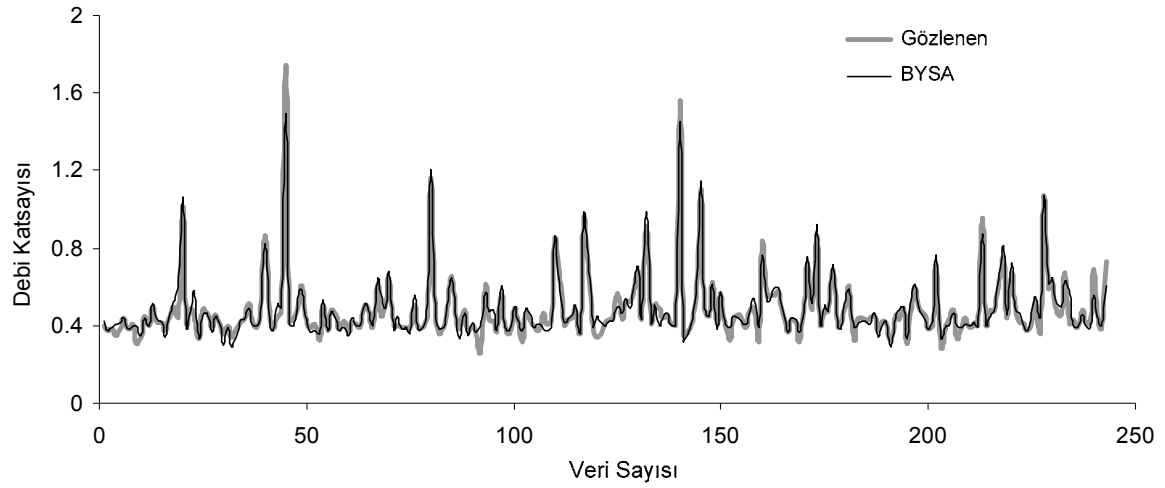
Tablo 5.2. Farklı BYSA yapıları için eğitim ve test aşamasında elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri

Modeller	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	KOKH	OMH	R	KOKH	OMH	R
BYSA (2,trimf)	0.0322	0.0222	0.9694	0.0431	0.0290	0.9699
BYSA (2,trapmf)	0.0325	0.0218	0.9706	0.0736	0.0409	0.9478
BYSA (2,gaussmf)	0.0303	0.0204	0.9745	0.0673	0.0399	0.9448
BYSA (2,gbellmf)	0.0305	0.0205	0.9741	0.0780	0.0442	0.9211
BYSA (3,trimf)	0.0280	0.0181	0.9784	0.0899	0.0444	0.8591
BYSA (3,trapmf)	0.0279	0.0178	0.9785	0.2348	0.0641	0.7012
BYSA (3,gaussmf)	0.0241	0.0152	0.9840	0.5562	0.2753	0.6691
BYSA (3,gbellmf)	0.0243	0.0152	0.9837	0.5652	0.3119	0.5833

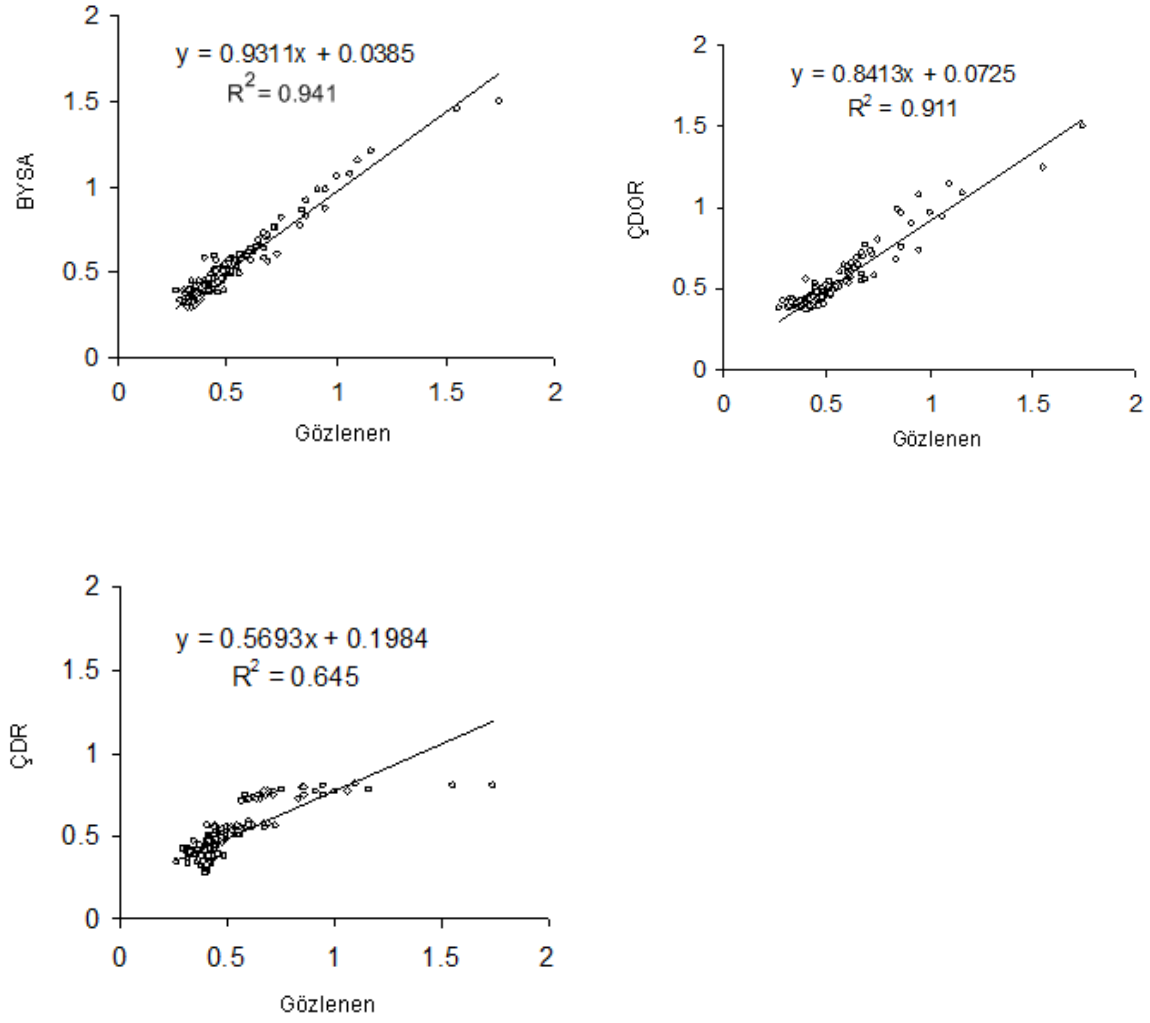
BYSA (2, trimf) yapısından elde edilen test sonuçları, ÇDOR (Eşitlik 5.3) ve ÇDR (Eşitlik 5.4) ile karşılaştırılmıştır (Tablo 5.3). Tablo 5.3'ten de görülebileceği gibi BYSA (2,trimf) modelinden, ÇDOR ve ÇDR'a göre, gözlenen verilere daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Deneylerde gözlenen ve modellerden tahmin edilen debi katsayısı değerleri, Şekil 5.5'te verilmiştir. Şekil 5.5'ten de görülebileceği gibi BYSA (2,trimf) modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerleri, gözlenen değerlere daha yakındır. Her bir modelin test aşamasındaki tahmini debi katsayısı değerleri Şekil 5.6'da saçılma diyagramlarında verilmiştir. Saçılma diyagramlarından da görülebileceği gibi, BYSA (2, trimf) modeline ait a_o ve a_l katsayıları, regresyon modellerine göre sırasıyla 1 ve 0'a daha yakındır.

Tablo 5.3. Test aşamasında BYSA, ÇDOR ve ÇDR için KOKH, OMH ve R değerleri

Model	KOKH	OMH	R
BYSA (2,trimf)	0.0431	0.0290	0.9699
ÇDOR	0.0541	0.0315	0.9540
ÇDR	0.1060	0.0580	0.8030



Şekil 5.5. Test aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile BYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.6. BYSA, ÇDOR ve ÇDR'nun test aşamasındaki saçılma diyagramları

Test aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen 243 deney dizisi için, BYSA, ÇDOR ve ÇDR tahminlerinin sırasıyla 203'ü, 188'i ve 132'si %10 göreceli hatadan daha küçük bulunmuştur. Yine BYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinin test aşamasındaki tahminlerinin sırasıyla 133, 124 ve 77 tanesi %5'ten daha küçük hataya sahip olduğu görülmüştür. BYSA modeli, ÇDOR'a göre sırasıyla, %20 ve %8 daha az KOKH ve OMH'ya sahiptir.

BYSA modelinden elde ettiğimiz sonuçlara göre, bu tekniğin, doğrusal kanal üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen yan savakların debi katsayısının tahmini için, başarıyla kullanılabileceği görülmüştür.

5.3. Doğrusal Kanalda Üçgen Labirent Yan Savaklar için Oluşturulan Modeller ve Analizler

Bu bölümde, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen, keskin kenarlı üçgen labirent yan savaklar için mevcut olan toplam 2500 deney dizisi, debi katsayısı tahmini için kullanılmıştır.

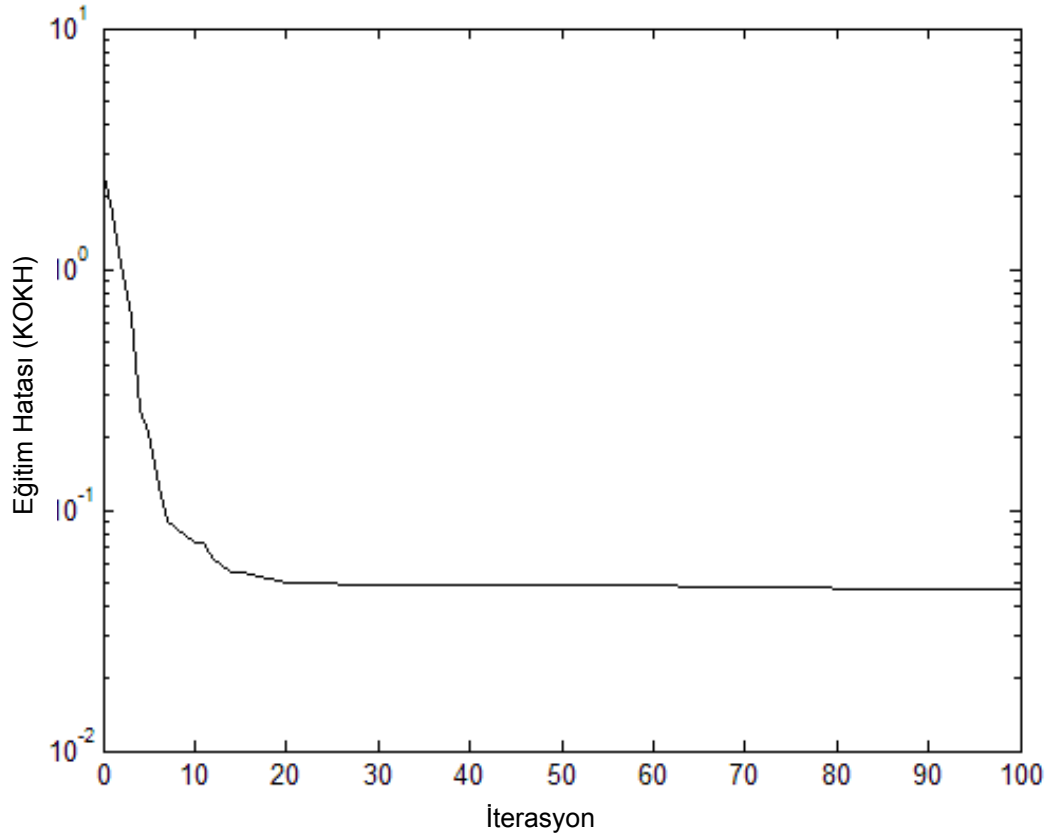
Çalışmanın bu bölümünde amaç, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen üçgen labirent yan savakların debi katsayısının tahmini için uygun yapay sinir ağı modelleri geliştirmektir.

Modellerin performanslarının, diğer bir deyişle doğruluklarının değerlendirilmesinde, tüm çalışmalarımızda olduğu gibi, kriter olarak, KOKH, OMH ve R seçilmiştir.

MATLAB programlama dili kullanarak oluşturduğumuz ÇKYSA kodlarında, farklı YSA mimarileri denenerek, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen üçgen labirent yan savaklar için, debi katsayısının tahmini, elde edilmeye çalışılmıştır. Giriş verileri için kullanılan boyutsuz parametreler, Fr (Froude sayısı), boyutsuz savak uzunluğu L/b , boyutsuz etkili savak uzunluğu L/ℓ , boyutsuz savak yüksekliği p/h_1 , üçgen savak tepe kıvrım açısı θ olarak alınmıştır. ÇKYSA modelinin ağırlıklarının ayarlanması için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır.

ÇKYSA'da gizli hücre sayılarını uygun bir şekilde belirlemek güç bir işlemdir. Burada, bir gizli katmana sahip ÇKYSA modeli için, gerekli gizli hücre sayısı deneme yanılma yönetimiyle belirlenmiştir. Gizli katman için sigmoid, çıkış katmanı için ise doğrusal aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Ağın eğitimi 100 iterasyondan sonra durdurulmuş ve çıkış değerlerindeki hatalar minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Eğitim aşamasındaki hataların iterasyon sayısı ile değişim grafiği Şekil 5.7'den görülebilir.

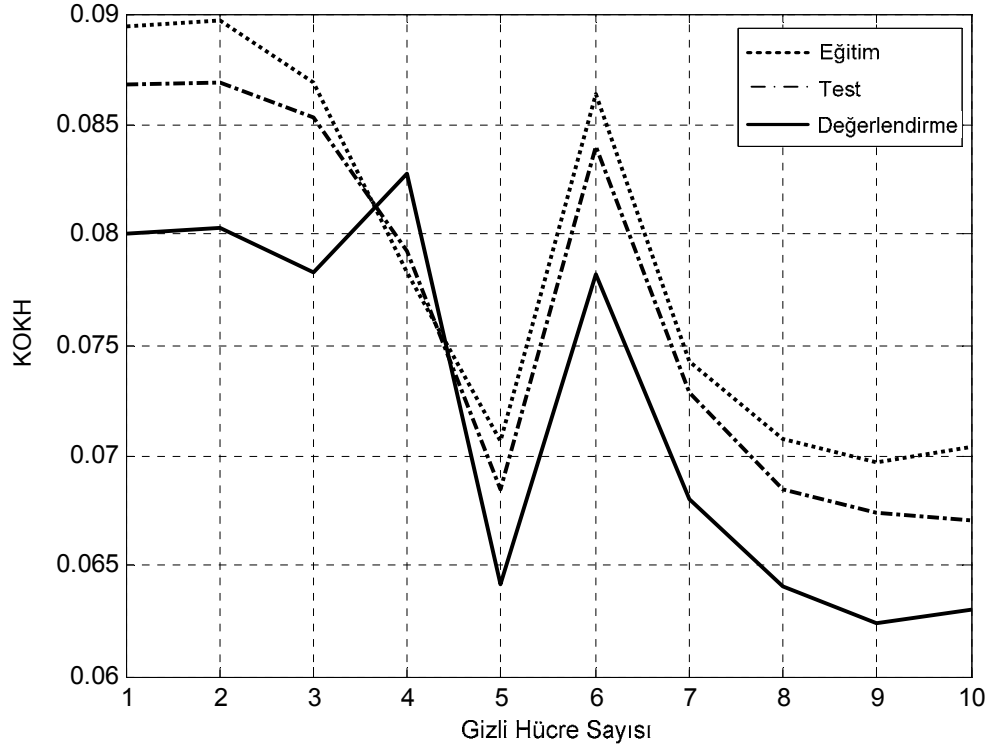
Mevcut 2500 deney dizisi, önceki uygulamalarda da olduğu gibi rastgele karıştırılmış ve kaydedilerek MATLAB ortamına aktarılmıştır. Mevcut 2500 deney dizisi, modelde eğitim, test ve değerlendirme (validation) aşamalarında kullanılmak üzere 3 parçaya bölünmüştür. İlk 1500 veri eğitim aşaması için, sonraki 500 veri test aşaması için ve son 500 veri ise ikinci bir test aşaması olan, değerlendirme aşaması için kullanılmıştır. Veriler Lawrence vd. (1997), tarafından önerilen, ortalaması 0 ve varyansı 1 olacak şekilde normalize edilmiştir. KOKH, OMH ve R kriterleri modelin doğruluğunu test etmek için kullanılmıştır. Bu kriterlere göre eğitim ve test aşamasında farklı hücre sayıları için ÇKYSA modelinden elde ettiğimiz sonuçlar, Tablo 5.4'te verilmiştir. Eğitim, test ve değerlendirme aşamalarında en düşük KOKH değerini veren hücre sayısı, Şekil 5.8'den görülebilir.



Şekil 5.7. ÇKYSA modeli için eğitim hatalarının iterasyonla değişim grafiği

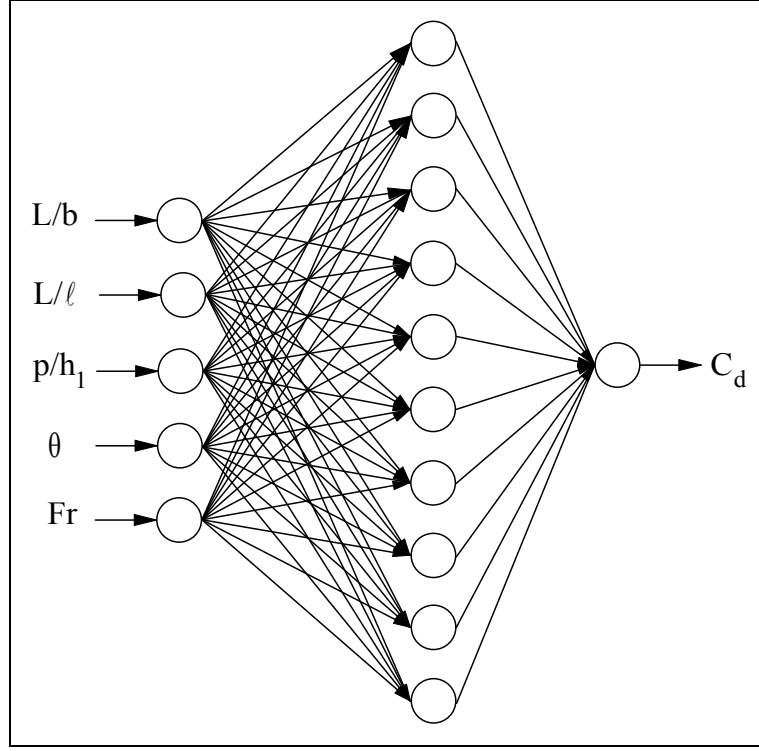
Tablo 5.4. Eğitim ve test aşamasında farklı hücre sayılarına sahip ÇKYSA modellerinin KOKH, OMH ve R değerleri.

Gizli Hücre Sayısı	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	KOKH	OMH	R	KOKH	OMH	R
1	0.0895	0.0578	0.958	0.0801	0.0575	0.966
2	0.0791	0.0488	0.967	0.0711	0.0500	0.973
3	0.0805	0.0482	0.967	0.0705	0.0496	0.975
4	0.0721	0.0425	0.973	0.0645	0.0448	0.978
5	0.0728	0.0444	0.973	0.0667	0.0465	0.977
6	0.0744	0.0439	0.971	0.0669	0.0461	0.976
7	0.0687	0.0403	0.976	0.0638	0.0435	0.978
8	0.0679	0.0394	0.976	0.0636	0.0436	0.979
9	0.0684	0.0388	0.976	0.0633	0.0438	0.979
10	0.0692	0.0403	0.975	0.0622	0.0431	0.980



Şekil 5.8. Eğitim, test ve değerlendirme aşamalarında, farklı ÇKYSA yapıları için gizli hücre sayısı ile KOKH değerlerinin değişim grafiği

Tablo 5.4 ve Şekil 5.8’den de görülebileceği gibi, 5 girişe, 10 gizli hücre sayısına ve 1 çıkış değerine sahip ÇKYSA modeli, en düşük KOKH (0.0622), OMH (0.0431) ve en yüksek R (0.980) değerleriyle, test aşamasındaki en iyi sonucu vermiştir. Bu yapı, Şekil 5.9’da görülebilir.



Şekil 5.9. Analizlerde belirlenen en uygun ÇKYSA (5,10,1) yapısı

Emiroğlu vd. (2010b) tarafından, toplam 2500 deney dizisinin tümü için, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen üçgen labirent yan savakların debi katsayısını hesaplamak için, oluşturulan ÇDOR eşitliği, Eşitlik 5.5'te verilmiştir.

Bu çalışmada da 2000 deney dizisi için (Eğitim+Test), ÇDOR ve ÇDR analizleri yapılmış ve kalan 500 deney dizisi ile de değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen ÇDOR ve ÇDR eşitlikleri, Eşitlik 5.6 ve Eşitlik 5.7'de verilmiştir.

$$C_d = \left[18.6 - 23.535 \left(\frac{L}{b} \right)^{0.012} + 6.769 \left(\frac{L}{\ell} \right)^{0.112} - 0.502 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{4.024} + 0.094 \cdot \sin \theta - 0.393 Fr^{2.155} \right]^{-1.431} \quad (5.5)$$

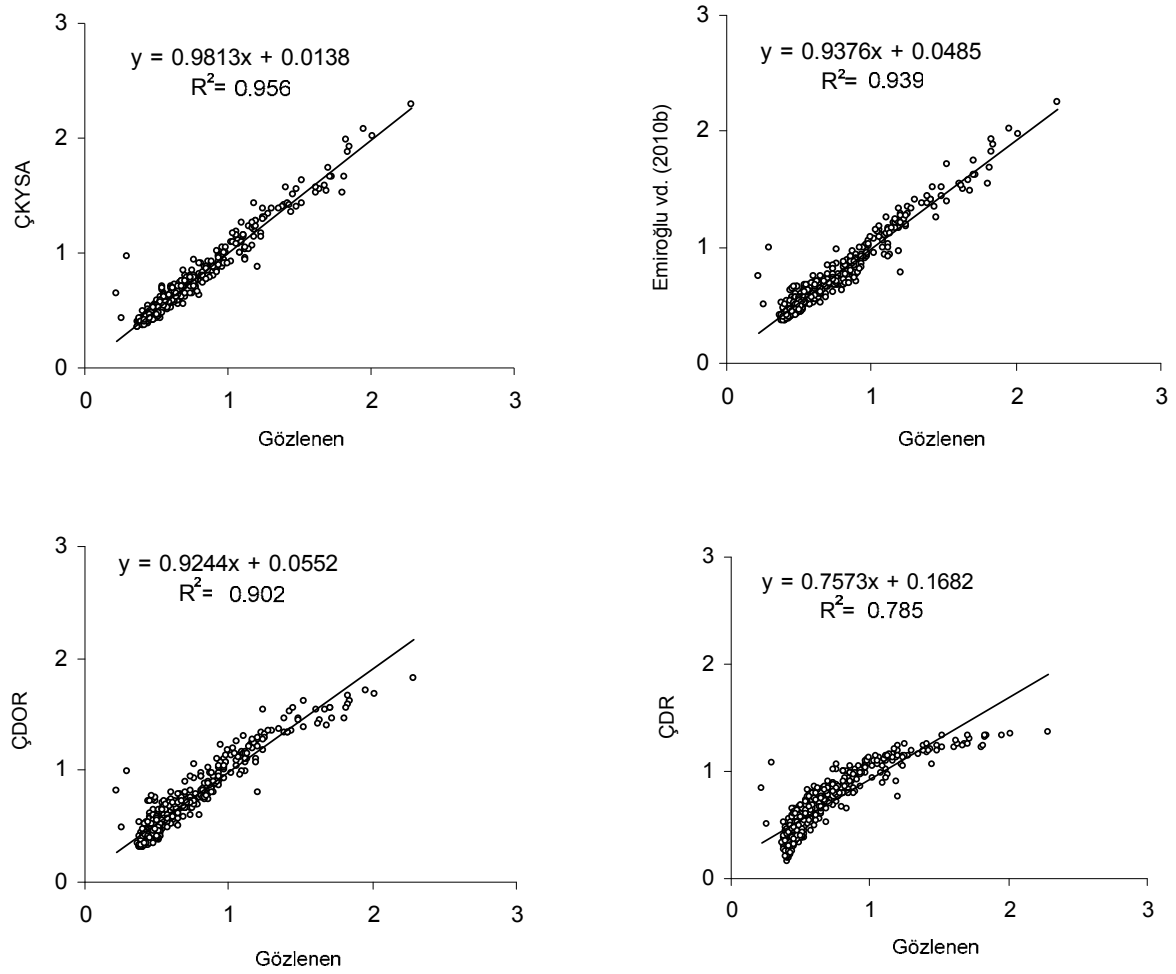
$$C_d = \left[0.507 + 0.179 \left(\frac{L}{b} \right)^{0.600} + 0.072 \left(\frac{L}{\ell} \right)^{-1.519} + 0.233 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{9.230} - 0.003 \sin \theta + 0.245 Fr^{3.845} \right]^{3.242} \quad (5.6)$$

$$C_d = \left[1.0855 + 0.2473 \left(\frac{L}{b} \right) - 1.0703 \left(\frac{L}{\ell} \right) + 0.4455 \left(\frac{p}{h_1} \right) - 0.4226 \sin \theta + 0.2986 Fr \right] \quad (5.7)$$

Değerlendirme aşaması için 500 deney dizisi; ÇKYSA (5,10,1) modeli, Emiroğlu vd. (2010)'nin sunmuş olduğu regresyon eşitliği (2500 deney dizisi için, Eşitlik 5.5) ve bu çalışmada 2000 deney dizisi için elde edilen ÇDOR (Eşitlik 5.6) ve ÇDR (Eşitlik 5.7) eşitlikleri için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, KOKH, OMH ve R karşılaştırma kriterlerine göre değerlendirilerek, tüm sonuçlar Tablo 5.5'te verilmiştir. Tablo 5.5'ten de görülebileceği gibi ÇKYSA (5,10,1) modeli, tüm regresyon modellerine göre daha doğru sonuçlar vermektedir. Emiroğlu vd., (2010b)'nin doğrusal olmayan regresyon ile elde ettiği sonuçların, bu çalışmada elde edilen ÇDOR ve ÇDR sonuçlarından daha iyi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, Emiroğlu vd. (2010b)'nin gerçekleştirmiş oldukları analizde 2500 verinin tümünü kullanmış olmalarından kaynaklanmaktadır. En kötü sonuçlar, ÇDR ile elde edilmiştir. Değerlendirme verileri (500 deney dizisi için) için, ÇKYSA ve regresyon analizlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması Şekil 5.10'daki saçılma diyagramı ile verilmiştir. Şekil 5.10'daki saçılma diyagramlarındaki eşitliklerden görüldüğü gibi (eşitlik $y = a_0x + a_1$ olsun) ÇKYSA modelinin a_0 ve a_1 katsayıları regresyon modellerine göre sırasıyla 1 ve 0'a daha yakındır. ÇDR tahminleri ideal çizgiden (45° çizgisi) oldukça uzaktır. Bu durum, saçılma diyagramındaki eşitlikten de görülebilmektedir. Bu da incelenen olayın doğrusal olmadığını göstermektedir.

Tablo 5.5. Değerlendirme aşamasında herbir model için KOKH, OMH ve R değerleri

Model	KOKH	OMH	R
ÇKYSA (5,10,1)	0.0674	0.0434	0.978
Emiroglu vd. (2010b)	0.0802	0.0516	0.969
ÇDOR	0.1019	0.0664	0.950
ÇDR	0.1507	0.1043	0.886



Şekil 5.10. Değerlendirme aşamasında ÇKYSA, Emiroğlu vd. (2010b), ÇDOR ve ÇDR için saçılma diyagramı

ÇKYSA modelinden elde ettiğimiz sonuçlara göre, bu tekniğin, doğrusal kanal üzerine yerleştirilmiş üçgen labirent yan savakların debi katsayısının tahmini için, başarıyla kullanılabileceği görülmüştür.

Bu çalışmada, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen üçgen labirent yan savaklar için, mevcut olan toplam 2500 deney dizisi kullanılarak RTYSA ve GRYSA (genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağı) modelleri de oluşturulmuş ve regresyon analizleriyle karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

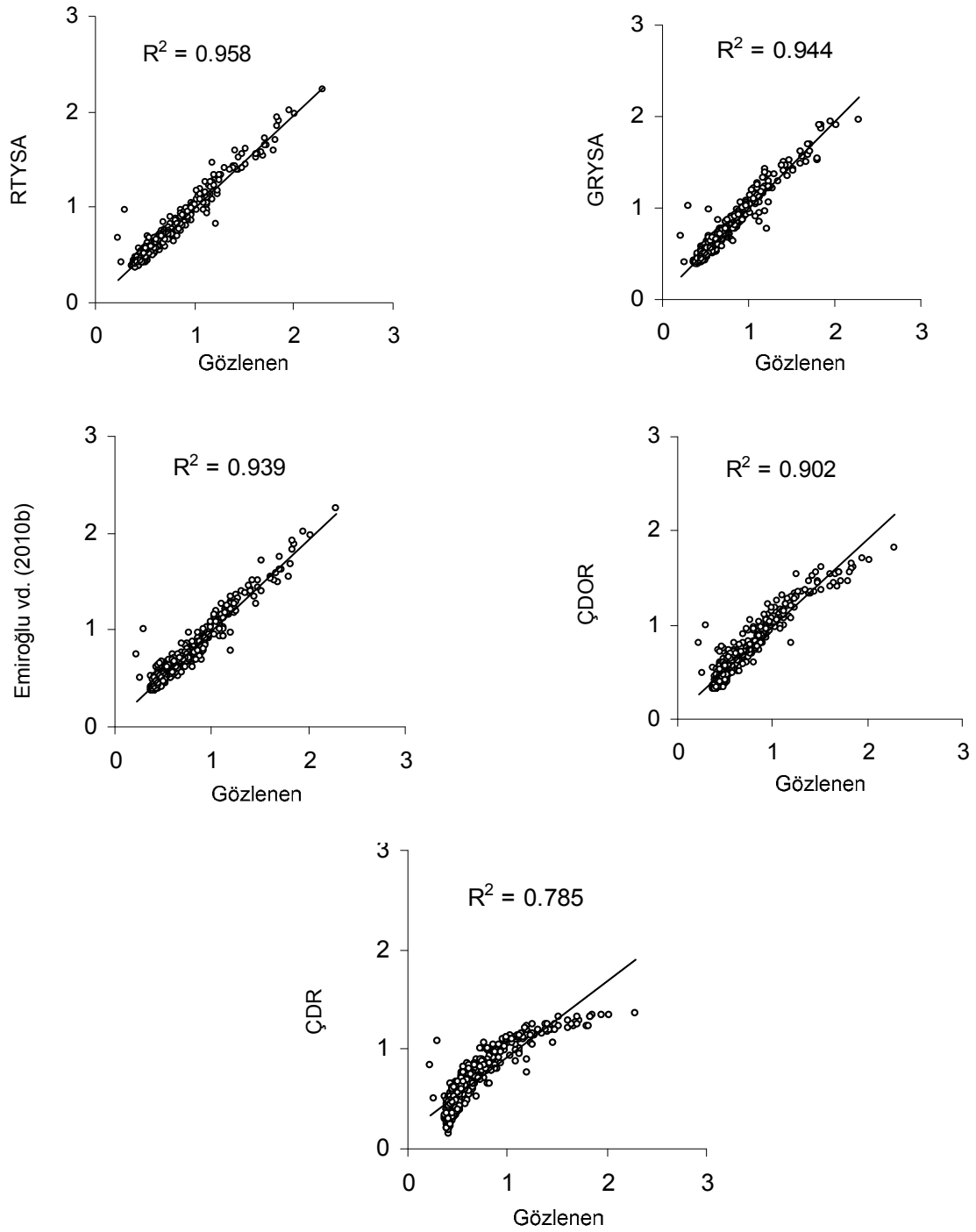
Geliştirilen RTYSA ve GRYSA modelleri, ÇKYSA modelinde olduğu gibi, 5 giriş parametresi (L/b , L/w , p/h_1 , θ , Fr)'ne ve birde çıkış parametresi (C_d)'ne sahip olacak şekilde oluşturulmuştur.

RTYSA ve GRYSA modellerinden elde edilen sonuçlar, regresyon modelleri ile karşılaştırılarak Tablo 5.6'da verilmiştir. Tablo 5.6'dan da açık bir şekilde de görülmektedir ki

RTYSA ve GRYSA modellerinden, regresyon modellerine göre deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerlerine daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. RTYSA modeli, GRYSA modeli ve regresyon modelleri ile karşılaştırıldığında, en küçük KOKH (0.067), OMH (0.043) ve en yüksek R (0.979) değerleriyle, gözlenen değerlere en yakın sonuçları vermiştir. Herbir modelden değerlendirme aşamasında elde edilen tahmini debi katsayısı değerleri, Şekil 5.11'deki saçılma diyagramında verilmiştir. Şekil 5.11'den de görülebileceği gibi en yüksek belirginlik katsayısı ($R^2 = 0.958$), RTYSA modelinden elde edilmiştir.

Tablo 5.6. Değerlendirme aşamasında RTYSA, GRYSA ve regresyon modelleri için KOKH, OMH ve R değerleri

Model	KOKH	OMH	R
RTYSA	0.067	0.043	0.979
GRYSA	0.077	0.045	0.971
Emiroglu vd. (2010b)	0.080	0.052	0.969
ÇDOR	0.102	0.066	0.950
ÇDR	0.151	0.104	0.886



Şekil 5.11. Değerlendirme aşamasında RTYSA, GRYSA ve regresyon modelleri için saçılma diyagramı

RTYSA modeli, ÇDOR modeli ile karşılaştırıldığında, KOKH dikkate alınırsa %35, OMH dikkate alındığında %36 daha düşük değerler elde edilmiştir. Sonuç olarak, RTYSA ve GRYSA tekniklerinde, üçgen labirent yan savakların debi katsayısının tahmininde başarıyla kullanılabileceği görülmüştür.

Son olarak, doğrusal kanal üzerine yerleştirilen üçgen labirent yan savakların debi katsayılarının tahmini için mevcut olan toplam 2500 deney dizisi, BYSA modeli ile analiz edilmiştir. Model; MATLAB programlama dili kullanılarak M-file olarak oluşturulmuştur. Geliştirilen model, 5 giriş parametresi (L/b , L/w , p/h_1 , θ , Fr)'ne ve birde boyutsuz çıkış parametresi (C_d)'ne sahip olacak şekilde geliştirilmiştir. Modelde farklı BYSA mimarileri çalışılarak uygun yapı belirlenmeye çalışılmış, bunun sonucunda 7 farklı BYSA mimarisi geliştirilmiştir.

Debi katsayısının tahmini için, modellerde 2 veya 3 üyelik fonksiyonuna sahip bulanık yapay sinir ağı modellerinin yeterli olduğuna karar verilmiştir. BYSA'nın farklı yapıları için triangle, trapezoidal, gaussian ve gumbell üyelik fonksiyonları denenmiştir. Tablo 5.7'de eğitim ve test aşamasında farklı bulanık yapay sinir ağı modellerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablo 5.7 incelendiğinde 3 üyelik fonksiyonuna sahip BYSA (3, trimf) yapısının; L/b , L/ℓ , p/h_1 , θ ve Fr giriş değerleri için test aşamasında, en düşük KOKH (0.0637), OMH (0.0426) ve en yüksek R (0.9782) değerleriyle en başarılı sonucu verdiği belirlenmiştir.

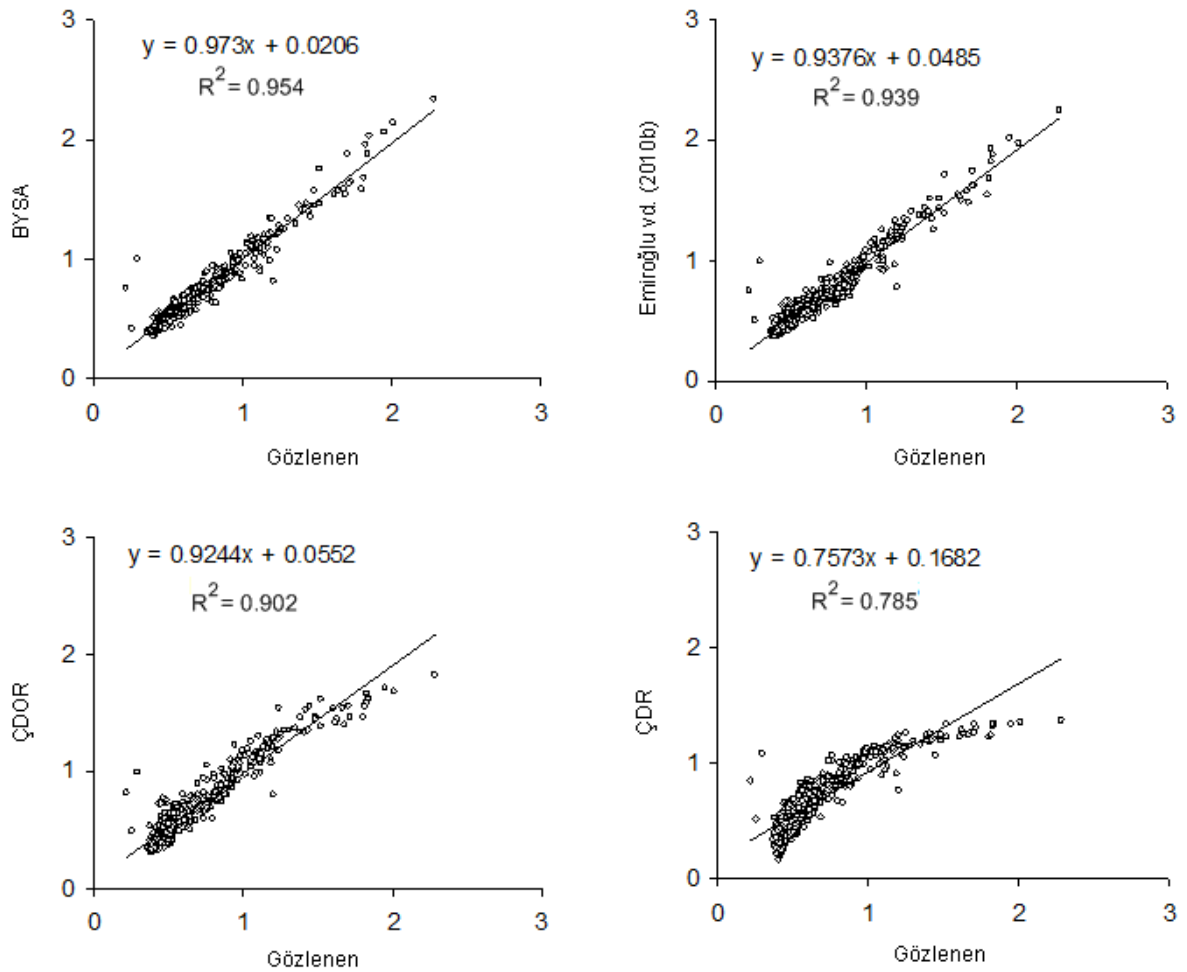
Tablo 5.7. Eğitim ve test aşamasında farklı BYSA yapılarından elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri

Modeller	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	KOKH	OMH	R	KOKH	OMH	R
BYSA (2,trimf)	0.0670	0.0377	0.9768	0.1096	0.0749	0.9367
BYSA (2,trapmf)	0.0722	0.0417	0.9730	0.0830	0.0554	0.9651
BYSA (2,gaussmf)	0.0658	0.0367	0.9775	0.0745	0.0536	0.9700
BYSA (2,gbellmf)	0.0667	0.0375	0.9769	0.0699	0.0463	0.9738
BYSA (3,trimf)	0.0690	0.0392	0.9753	0.0637	0.0426	0.9782
BYSA (3,trapmf)	0.0814	0.0477	0.9654	0.0742	0.0504	0.9703
BYSA (3,gaussmf)	0.0684	0.0390	0.9757	0.0644	0.0428	0.9777
BYSA (3,gbellmf)	0.0716	0.0409	0.9733	0.0664	0.0440	0.9762

Değerlendirme aşamasında, BYSA (3,trimf) modelinden elde edilen sonuçlar regresyon modellerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak Tablo 5.8'de verilmiştir. Tablo 5.8 incelendiğinde deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerlerine en yakın değerlerin BYSA (3,trimf) modelinden elde edildiği görülmektedir.

Tablo 5.8. Değerlendirme aşamasında BYSA ve regresyon modellerinden elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri

Model	KOKH	OMH	R
BYSA (3,trimf)	0.069	0.041	0.977
Emiroglu vd. (2010b)	0.080	0.052	0.969
ÇDOR	0.102	0.066	0.950
ÇDR	0.151	0.104	0.886



Şekil 5.12. Değerlendirme aşamasında BYSA, Emiroglu vd. (2010b), ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı

Değerlendirme aşamasında BYSA (3,trimf) modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerleriyle, regresyon modellerinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerleri Şekil 5.12’de saçılma diyagramı olarak verilmiştir. Şekil 5.12’den de görülebileceği gibi

gözlenen değerlere en yakın sonuçlar BYSA (3,trimf) modelinden elde edilmiştir. Şekil 5.12'deki saçılma diyagramlarındaki eşitliklerden görüldüğü gibi (eşitlik $y = a_0x + a_1$ olsun) BYSA (3,trimf) modelinin a_0 ve a_1 katsayıları regresyon modellerine göre sırasıyla 1 ve 0'a daha yakındır.

Sonuç olarak, BYSA tekniğinin de doğrusal kanalda üçgen labirent yan savakların debi katsayılarının tahmini için başarıyla kullanılabileceği, yapılan analizlerden tespit edilmiştir.

5.4. Kıvrımlı Kanalda Dikdörtgen Yan Savaklar için Oluşturulan Modeller ve Analizler

Çalışmanın bu bölümünde, deney setinin kıvrımlı bölgesinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda test edilen dikdörtgen yan savaklardan elde edilen toplam 1509 deney dizisi kullanılmış ve gözlenen değerlere en yakın debi katsayısı değerlerini elde edebilmek için uygun YSA teknikleri geliştirilmiştir.

Kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilen dikdörtgen yan savakların debi katsayılarını elde edebilmek için etkili boyutsuz parametreler belirlenmiştir. L/b , L/h_1 , p/h_1 , L/r_c , α ve Fr , farklı YSA modelleri için kullanılmak üzere, giriş parametreleri olarak alınmıştır. Modellerin değerlendirilmesinde kriter olarak yine KOKH, OMH ve R seçilmiştir.

MATLAB programlama dili kullanarak oluşturduğumuz ÇKYSA modelinde, farklı YSA mimarileri denenerek kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilen dikdörtgen yan savaklar için, debi katsayılarının tahmini elde edilmeye çalışılmıştır. ÇKYSA modelinin ağırlıklarının ayarlanması için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır.

ÇKYSA'da gizli hücre sayılarını uygun bir şekilde belirlemek güç bir işlemdir. Burada, bir gizli katmana sahip ÇKYSA modeli için, gerekli gizli hücre sayısı deneme yanılma yönetimiyle belirlenmiştir. Gizli katman için tanjant hiperbolik, çıkış katmanı için ise doğrusal aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Ağırlık eğitimi 100 iterasyondan sonra durdurulmuş ve çıkış değerlerindeki hatalar minimuma indirilmeye çalışılmıştır.

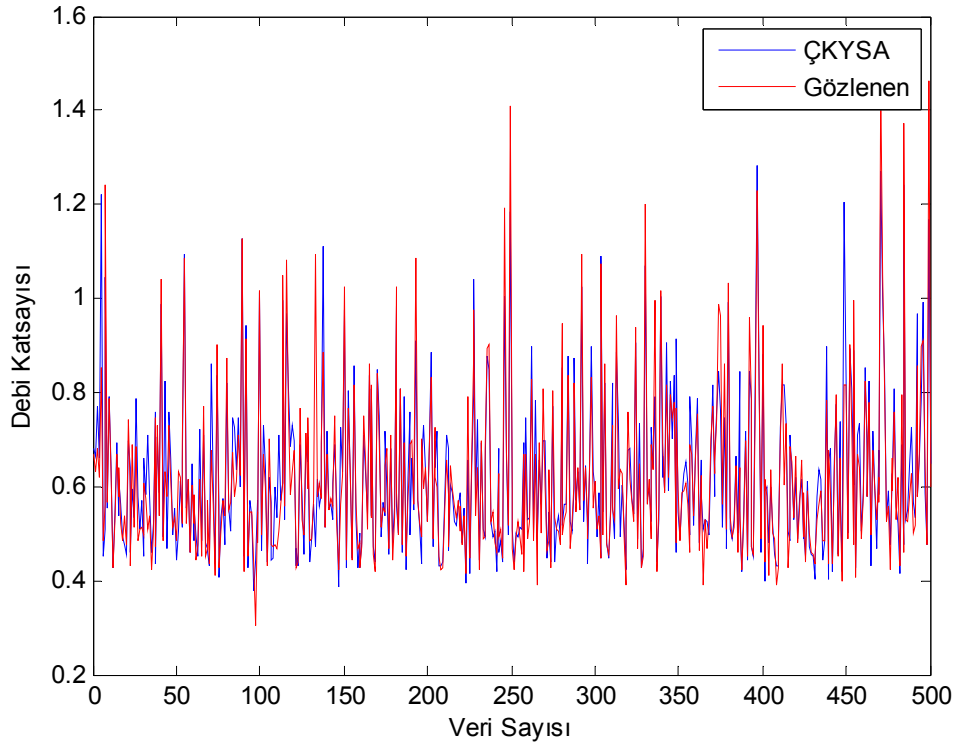
Mevcut 1509 deney dizisi, yine rastgele karıştırılarak kaydedilmiş ve MATLAB ortamına aktarılmıştır. Mevcut 1509 deney dizisi, modellerde eğitim, test ve değerlendirme aşamalarında kullanılmak üzere 3 parçaya bölünmüştür. İlk 509 deney dizisi eğitim aşaması için, sonraki 500 deney dizisi test aşaması için ve son 500 deney dizisi ise ikinci bir test aşaması olan, değerlendirme aşaması için kullanılmıştır. Veriler Lawrence vd. (1997) tarafından önerilen, ortalaması 0 ve varyansı 1 olacak şekilde normalize edilmiştir. KOKH, OMH ve R kriterleri, modelin doğruluğunu test etmek için kullanılmıştır. Bu kriterlere göre eğitim ve

test aşamasında, farklı hücre sayıları için ÇKYSA modelinden elde ettiğimiz sonuçlar, Tablo 5.9’da verilmiştir. Eğitim, test ve değerlendirme aşamalarında en düşük KOKH değerini veren en doğru hücre sayısı, Şekil 5.15’ten görülebilir. Şekil 5.15’ten de görülebileceği gibi en düşük KOKH değerini veren gizli hücre sayısı 11’dir. Tablo 5.9 ve Tablo 5.10’dan da görülebileceği gibi, 6 girişe, 11 gizli hücre sayısına ve 1 çıkış değerine sahip ÇKYSA modeli, en düşük KOKH (0.0724), OMH (0.0465) ve en yüksek R (0.9131) değerleriyle, değerlendirme aşamasındaki en iyi sonucu vermiştir. Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇKYSA (6,11,1) modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması, Şekil 5.13’te verilmiştir.

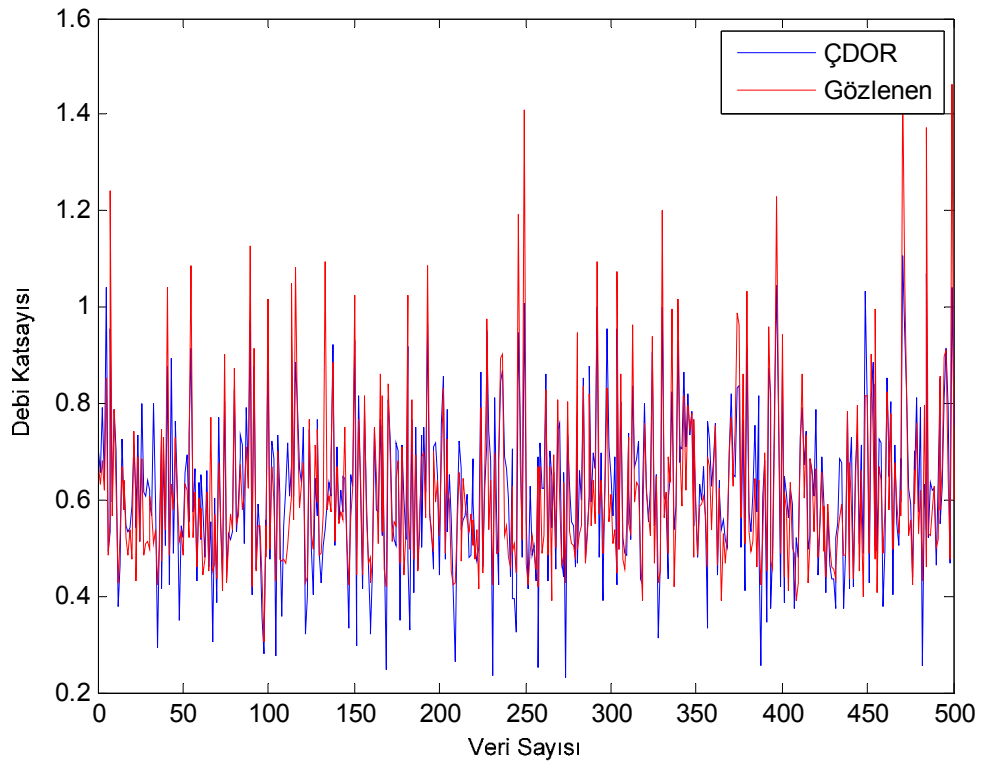
Bu çalışmada, 1009 deney dizisi (Eğitim+Test) için, ÇDOR ve ÇDR analizleri yapılmış ve kalan 500 deney dizisi ile de değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen ÇDOR ve ÇDR eşitlikleri Eşitlik 5.8 ve Eşitlik 5.9’da verilmiştir. Değerlendirme aşamasında, ÇDOR’dan elde edilen tahmini debi katsayısı değerleri ile deneysel çalışmalardan elde edilen gözlenen değerlere göre hesaplanmış debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.14’te verilmiştir.

$$C_d = 3.585 \left[\begin{aligned} &0.179 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{3.958} + 0.023 \left(\frac{L}{b} \right)^{1.107} - \left(\frac{L}{r_c} \right)^{3.445} + 0.484 \left(-0.128 + \sin \frac{\alpha}{4} \right)^{3.344} \\ &+ 0.333 \left(\frac{L}{h_1} \right)^{0.114} + 0.129 Fr^{1.463} \end{aligned} \right]^{2.672} \quad (5.8)$$

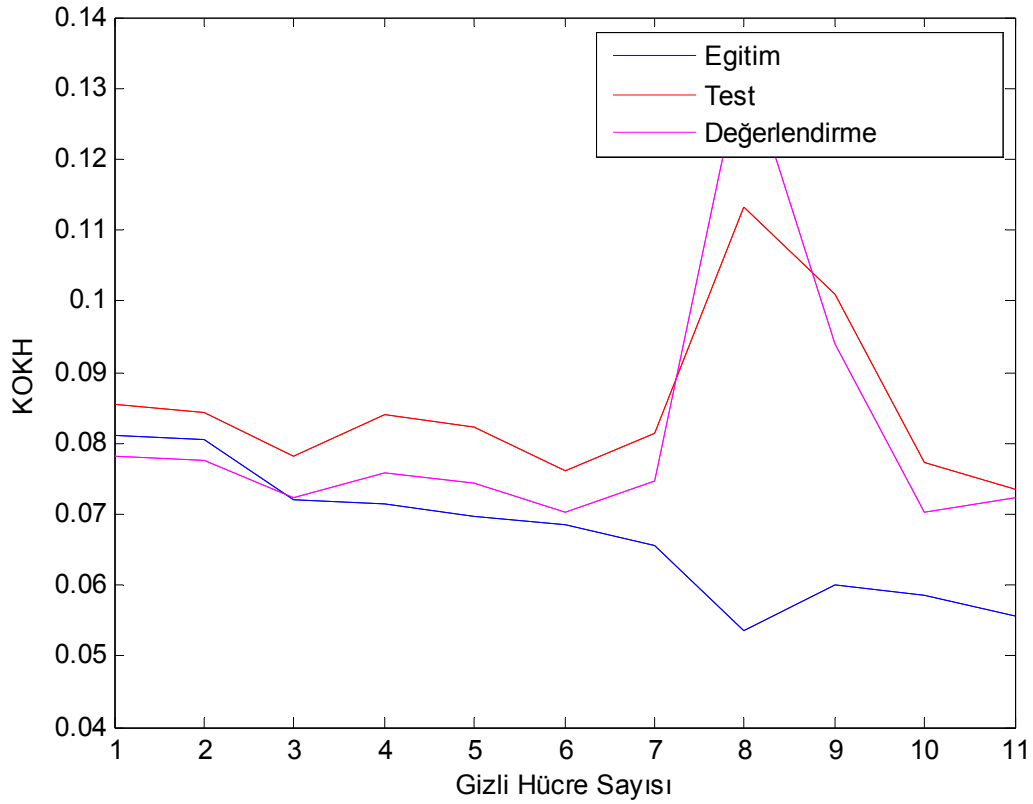
$$C_d = \left[0.84 \left(\frac{p}{h_1} \right) - 9492.10 \left(\frac{L}{b} \right) + 56952.43 \left(\frac{L}{r_c} \right) + 0.24 \left(\sin \frac{\alpha}{4} \right) + 0.04 \left(\frac{L}{h_1} \right) + 0.40 Fr - 0.41 \right] \quad (5.9)$$



Şekil 5.13. Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇKYSA (6,11,1) modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.14. Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇDOR modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.15. Eğitim, test ve değerlendirme aşamalarında ÇKYSA için gizli hücre sayısı ile KOKH değerlerinin değişim grafiği

Tablo 5.9. Eğitim ve test aşamalarında farklı gizli hücre sayıları için KOKH, OMH ve R değerleri

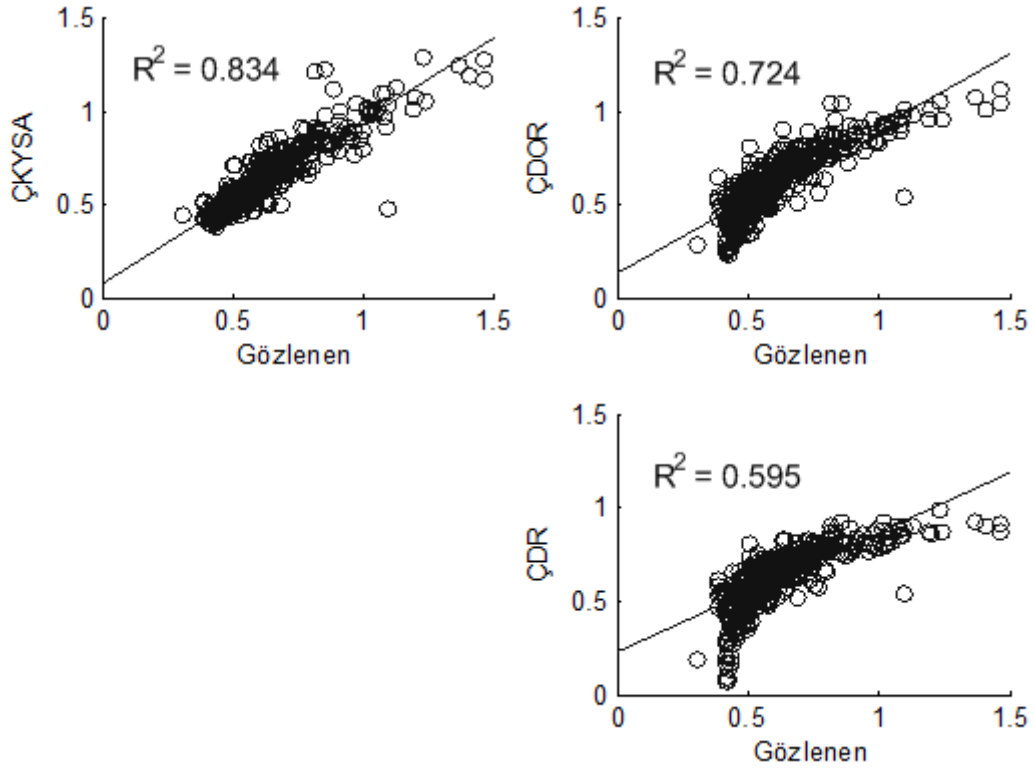
Gizli Hücre Sayısı	Eğitim Aşaması			Test Aşaması		
	KOKH	OMH	R	KOKH	OMH	R
1	0.0811	0.0538	0.8952	0.0855	0.0556	0.8807
2	0.0805	0.0532	0.8970	0.0844	0.0546	0.8839
3	0.0720	0.0461	0.9185	0.0783	0.0505	0.9024
4	0.0713	0.0445	0.9200	0.0839	0.0560	0.8886
5	0.0698	0.0425	0.9236	0.0824	0.0547	0.8960
6	0.0685	0.0427	0.9265	0.0762	0.0487	0.9068
7	0.0656	0.0427	0.9327	0.0813	0.0533	0.8955
8	0.0537	0.0394	0.9555	0.1132	0.0602	0.8359
9	0.0600	0.0431	0.9441	0.1009	0.0607	0.8594
10	0.0587	0.0385	0.9466	0.0771	0.0494	0.9072
11	0.0557	0.0350	0.9519	0.0735	0.0458	0.9157

Tablo 5.10. Değerlendirme aşamasında farklı gizli hücre sayıları için KOKH, OMH ve R değerleri

Gizli Hücre Sayısı	Değerlendirme Aşaması		
	KOKH	OMH	R
1	0.0780	0.0541	0.8969
2	0.0775	0.0533	0.8982
3	0.0724	0.0496	0.9121
4	0.0758	0.0523	0.9033
5	0.0743	0.0511	0.9075
6	0.0703	0.0470	0.9172
7	0.0746	0.0510	0.9065
8	0.1344	0.0617	0.7977
9	0.0939	0.0583	0.8676
10	0.0703	0.0469	0.9178
11	0.0724	0.0465	0.9131

Tablo 5.11. Değerlendirme aşamasında ÇKYSA ve regresyon modellerinden elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri

Model	KOKH	OMH	R
ÇKYSA (6,11,1)	0.0724	0.0465	0.9131
ÇDOR	0.0934	0.0651	0.8511
ÇDR	0.1127	0.0799	0.7716



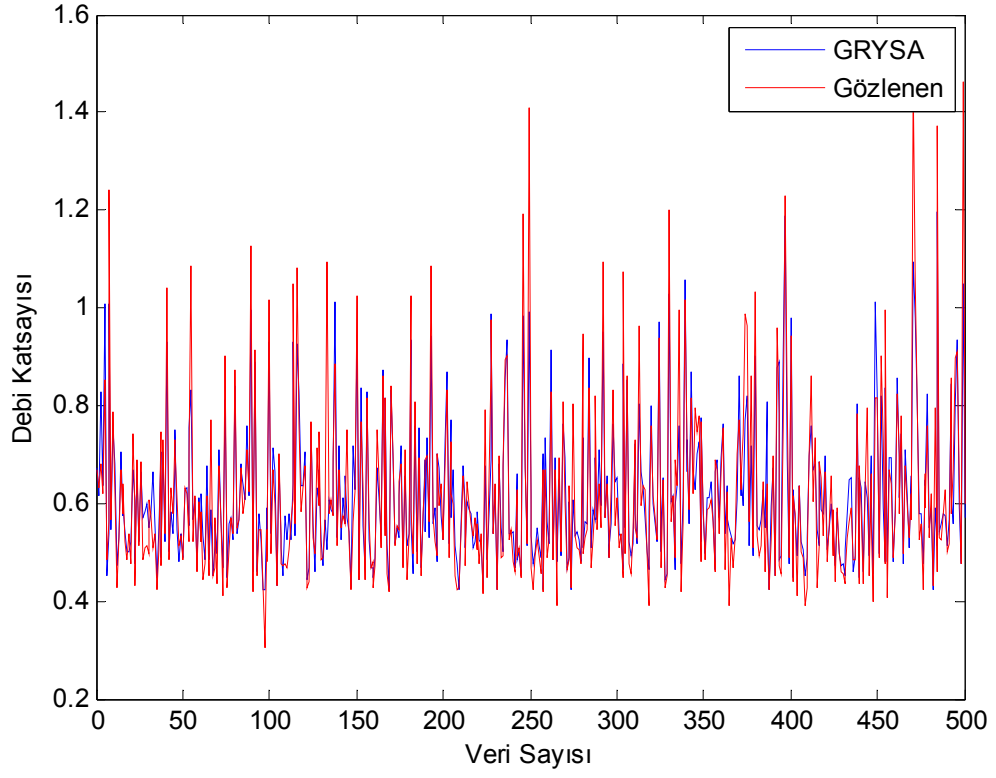
Şekil 5.16. Değerlendirme aşamasında ÇKYSA (6,11,1), ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı

Kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilen dikdörtgen yan savakların, tahmini debi katsayısı değerlerini elde edebilmek için geliştirilen GRYSA modelinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

6 boyutsuz giriş parametresine ve 1 çıkış parametresine sahip GRYSA modelinden elde edilen değerlendirme sonuçları, ÇDOR (Eşitlik 5.8) ve ÇDR (Eşitlik 5.9)'dan elde edilen değerlendirme sonuçları ile karşılaştırılarak Tablo 5.12'de verilmiştir. Tablo 5.12'den de görülebileceği gibi GRYSA modelinden, KOKH, OMH ve R değerleri dikkate alındığında, regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Herbir modelden değerlendirme aşamasında elde edilen tahmini debi katsayısı değerleri, Şekil 5.18'deki saçılma diyagramında verilmiştir. ÇDR tahminleri ideal çizgiden (45° çizgisi) oldukça uzaktır. Tablo 5.12'den görülebileceği gibi en yüksek R (0.9116) ve en düşük KOKH (0.0750), OMH (0.0472) GRYSA modelinden elde edilmiştir.

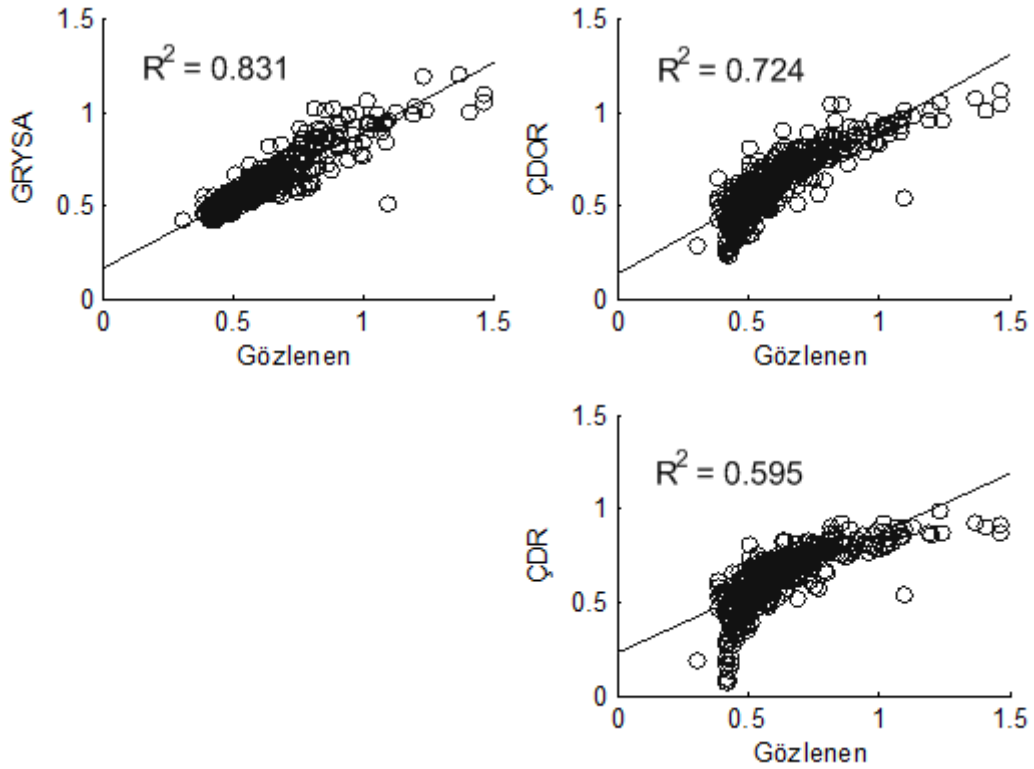
Değerlendirme verileri için, deneysel çalışmalarda elde edilen, yani gözlenen verilere göre hesaplanmış debi katsayısı değerleri ve GRYSA modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.17. Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile GRYSA modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 5.12. Değerlendirme aşamasında, GRYSA ve regresyon modellerinden elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri

Model	KOKH	OMH	R
GRYSA	0.0750	0.0472	0.9116
ÇDOR	0.0934	0.0651	0.8511
ÇDR	0.1127	0.0799	0.7716



Şekil 5.18. Değerlendirme aşamasında GRYSA, ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı

Kıvrımlı kanalda dikdörtgen yan savaklar için geliştirilen, GRYSA modelinden elde edilen sonuçlar, regresyon eşitliklerinden elde edilen sonuçlara göre % 20.5 daha az KOKH ve OMH değerlerine sahip olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, GRYSA tekniğinin de kıvrımlı kanallara yerleştirilen dikdörtgen yan savakların debi katsayılarının tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

5.5. Kıvrımlı Kanalda Üçgen Labirent Yan Savaklar için Oluşturulan Modeller ve Analizler

Çalışmanın bu bölümünde, deney setinin kıvrımlı bölgesinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, test edilen üçgen labirent yan savaklardan elde edilen toplam 7963 deney dizisi kullanılmıştır. Gözlenen değerlere en yakın tahmini debi katsayısı değerlerini elde edebilmek için uygun YSA teknikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Gerçekleştirilen boyut analizinden sonra, kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilen üçgen labirent yan savakların debi katsayısını elde etmek için etkili boyutsuz parametreler belirlenmiştir. Bu çalışmada, Emiroğlu vd. (2007) tarafından belirlenen boyutsuz

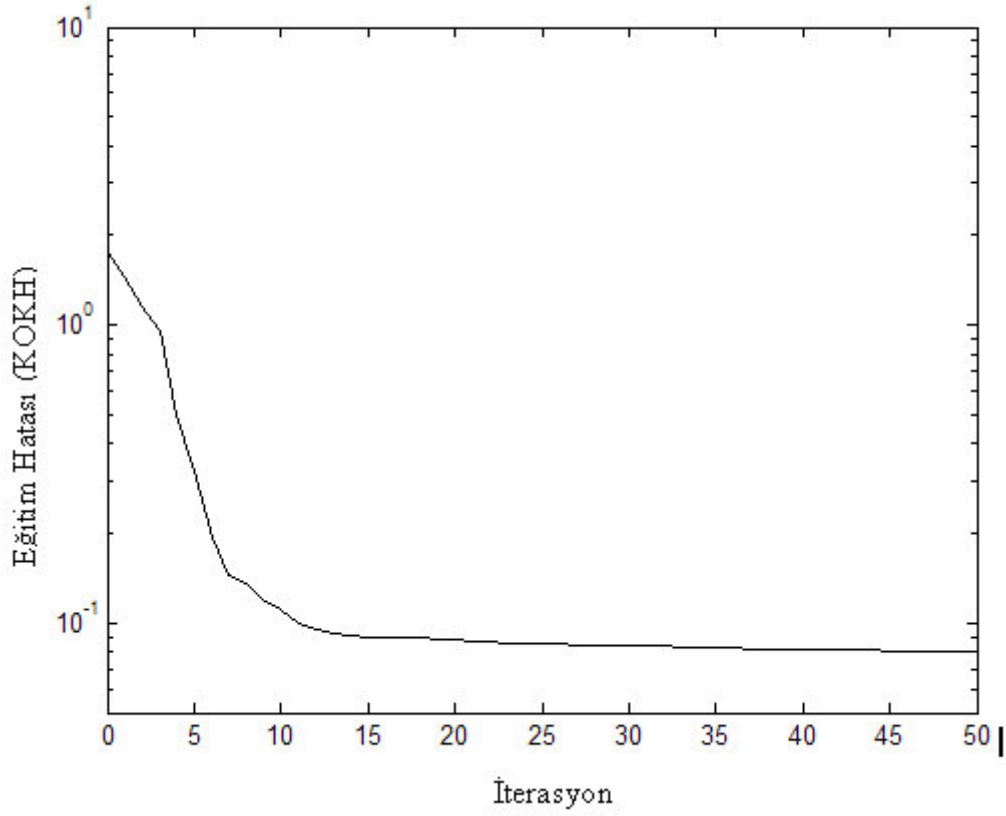
parametreler L/b , L/ℓ , p/h_1 , L/r_c , θ , α ve Fr , farklı YSA modellerinde kullanılmak üzere, giriş parametreleri olarak alınmıştır.

Geliştirilen ÇKYSA modeli, kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilen üçgen labirent yan savakların debi katsayılarının tahmini için oluşturulmuştur. Toplam 7963 deney dizisi, karıştırılıp kaydedilerek MATLAB ortamına aktarılmıştır. Program kodları oluşturulurken veriler 3 parçaya bölünerek; ilk 4000 deney dizisi ÇKYSA modelinin eğitim aşamasında, ikinci 2000 deney dizisi, test aşamasında ve son 1963 deney dizisi değerlendirme aşamasında kullanılmıştır. Verilerin normalize edilmesi, Lawrence vd. (1997)'nin önerdiği şekilde normalize edilmiştir. ÇKYSA modelinin ağırlıklarının ayarlanması için, Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır.

İlk önce tek katmanlı bir ÇKYSA modeli oluşturulmuş fakat başarılı sonuçlar elde edilememiştir. İki gizli katmana sahip ÇKYSA modelinde, gerekli gizli hücre sayısını belirlemek için, deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır. Gizli katmanlar için sigmoid, çıkış katmanı için ise doğrusal aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Ağın eğitimi 50 iterasyondan sonra durdurulmuş ve çıkış değerlerindeki hatalar minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Eğitim aşamasındaki hataların iterasyon sayısı ile değişim grafiği Şekil 5.19'dan görülebilir.

Elde edilen sonuçlar, 6000 deney dizisi (eğitim+test) ile belirlenen, ÇDOR (Eşitlik 5.10) ve ÇDR (Eşitlik 5.11) eşitliklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Farklı ÇKYSA yapıları değerlendirilerek, farklı gizli tabaka hücre sayıları için, eğitim ve test aşamalarında elde edilen KOKH değerleri sırasıyla Tablo 5.13 ve Tablo 5.14'te verilmiştir. Tablo 5.14'ten açıkça görülebileceği gibi ÇKYSA (7,7,9,1) modeli test aşamasında en düşük KOKH (0.176) değerine sahiptir. En iyi modelin yapısı Şekil 5.20'de gösterilmektedir.



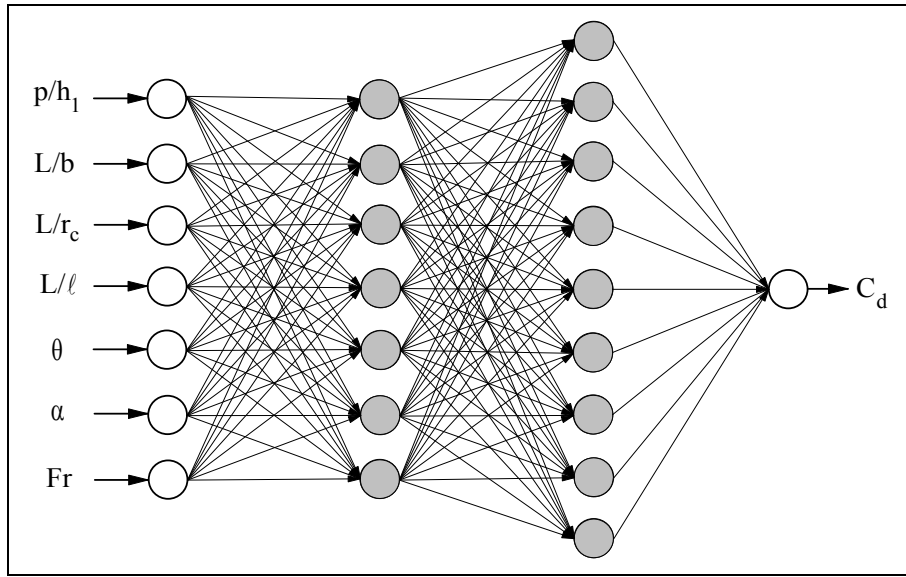
Şekil 5.19. ÇKYSA modeli için eğitim hatalarının iterasyon sayısı ile değişim grafiği

Tablo 5.13. Eğitim aşamasında farklı ÇKYSA yapıları için KOKH değerleri

İkinci gizli katman için hücre sayıları	Birinci gizli katmandaki hücre sayıları									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.482	0.448	0.242	0.390	0.448	0.384	0.205	0.344	0.258	0.398
2	0.273	0.281	0.265	0.221	0.259	0.227	0.235	0.208	0.252	0.236
3	0.270	0.391	0.231	0.366	0.232	0.242	0.394	0.178	0.232	0.215
4	0.272	0.195	0.212	0.250	0.271	0.232	0.198	0.237	0.246	0.191
5	0.229	0.247	0.221	0.254	0.259	0.253	0.189	0.227	0.250	0.212
6	0.258	0.386	0.250	0.249	0.246	0.244	0.290	0.242	0.221	0.224
7	0.268	0.252	0.348	0.267	0.245	0.248	0.240	0.275	0.228	0.241
8	0.255	0.240	0.244	0.232	0.243	0.185	0.237	0.226	0.168	0.200
9	0.258	0.219	0.242	0.247	0.229	0.230	0.210	0.249	0.285	0.217
10	0.245	0.212	0.253	0.225	0.256	0.221	0.252	0.232	0.242	0.176

Tablo 5.14. Test aşamasında farklı ÇKYSA yapıları için KOKH değerleri

İkinci gizli katman için hücre sayıları	Birinci gizli katmandaki hücre sayıları									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.509	0.474	0.216	0.402	0.482	0.418	0.251	0.355	0.313	0.419
2	0.343	0.229	0.199	0.262	0.250	0.245	0.194	0.275	0.210	0.190
3	0.234	0.417	0.207	0.390	0.323	0.197	0.408	0.252	0.201	0.197
4	0.234	0.279	0.186	0.196	0.223	0.286	0.290	0.186	0.283	0.264
5	0.335	0.201	0.212	0.196	0.260	0.196	0.276	0.291	0.241	0.282
6	0.226	0.412	0.269	0.212	0.218	0.211	0.241	0.184	0.278	0.251
7	0.224	0.215	0.374	0.213	0.246	0.195	0.204	0.275	0.185	0.287
8	0.205	0.202	0.197	0.213	0.200	0.282	0.270	0.287	0.260	0.273
9	0.231	0.249	0.315	0.190	0.284	0.181	0.176	0.212	0.278	0.248
10	0.209	0.284	0.207	0.255	0.229	0.177	0.210	0.213	0.192	0.227



Şekil. 5.20. ÇKYSA (7,7,9,1) modelinin genel yapısı

ÇDOR eşitliği, eğitim ve test aşamalarında kullanılan toplam 6000 deneysel veri ile geliştirilmiştir. Kalan 1963 veri ile ikinci bir test aşaması olan değerlendirme gerçekleştirilmiştir. ÇDOR ve ÇDR eşitlikleri Eşitlik 5.10 -5.11’de verilmiştir.

$$C_d = 0.37 + \left[\begin{aligned} &1.02 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{11.55} - 0.08 \left(\frac{L}{b} \right)^{-1.73} + 1.26 \left(\frac{L}{r_c} \right)^{3.79} - 0.75 \left(\frac{L}{\ell} \right)^{0.78} - 0.05 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^{2.11} \\ &- 1.23 \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^{0.04} + 2.77 (\text{Fr})^{0.09} \end{aligned} \right]^{2.34} \quad (5.10)$$

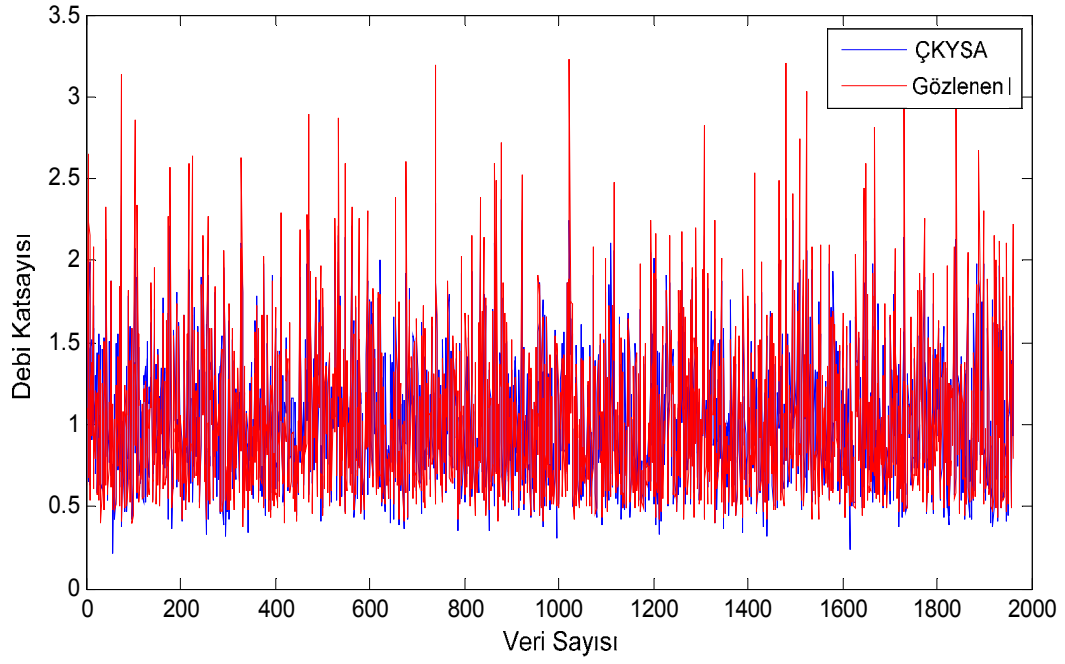
$$C_d = \left[1.70 \left(\frac{p}{h_1} \right) - 28.99 \left(\frac{L}{b} \right) + 175.71 \left(\frac{L}{r_c} \right) - 2.97 \left(\frac{L}{\ell} \right) + 2.65 \left(\sin \frac{\theta}{4} \right) + 0.45 \left(\sin \frac{\alpha}{4} \right) + 0.39 (\text{Fr}) \right] \quad (5.11)$$

burada, savak genişliği L , kanal genişliği b , savak kret uzunluğu ℓ , savak kret yüksekliği p ile belirtilmektedir ve birimleri metredir. Kıvrım açısı θ ve ana kanal eğrilik açısı α derece cinsindendir. Fr ise boyutsuz bir parametredir.

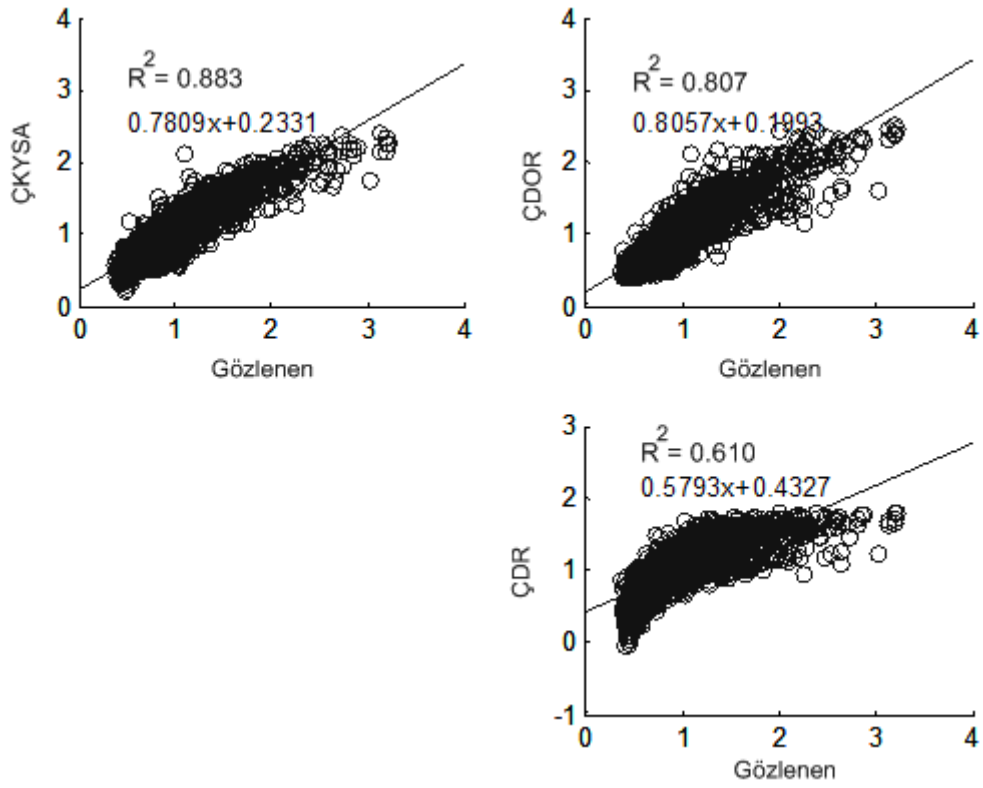
ÇKYSA (7,7,9,1) modelinden elde edilen değerlendirme sonuçları, ÇDOR (Eşitlik 5.10) ve ÇDR (Eşitlik 5.11)'dan elde edilen değerlendirme sonuçları ile karşılaştırılarak Tablo 5.15'te verilmiştir. Tablo 5.15'ten görülebileceği gibi ÇKYSA (7,7,9,1) modelinin hata değerleri regresyon modellerine göre daha düşük, R değeri ise regresyon modellerine göre daha yüksek bulunmuştur. ÇDOR'dan, ÇDR'a göre daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir. Şekil 5.22'de değerlendirme verileri (1963 veri) için, ÇKYSA (7,7,9,1) ve regresyon modellerinden elde edilen sonuçlar saçılma diyagramı olarak verilmiştir. Şekil 5.22'den görülebileceği gibi değerlendirme aşamasında, ÇKYSA (7,7,9,1) modelinden elde edilen sonuçlar deneysel çalışmalarda gözlenen değerlere daha yakın çıkmıştır. Şekil 5.21'de değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇKYSA (7,7,9,1) modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 5.15. Değerlendirme aşamasında ÇKYSA (7,7,9,1), ÇDOR ve ÇDR için KOKH, OMH ve R değerleri

Model	KOKH	OMH	R
ÇKYSA (7,7,9,1)	0.165	0.122	0.940
ÇDOR	0.205	0.152	0.898
ÇDR	0.292	0.210	0.781



Şekil 5.21. Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile ÇKYSA modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.22. Değerlendirme aşamasında ÇKYSA (7,7,9,1), ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı

Geliştirilen ÇKYSA modelinden elde edilen sonuçlar, ÇDOR ile elde edilen sonuçlara göre %20 daha az KOKH ve OMH değerlerine sahip olmuştur. Böylece ÇKYSA modelinin kıvrımlı kanallara yerleştirilen üçgen labirent yan savakların debi katsayılarının tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilen üçgen labirent yan savakların debi katsayılarını elde etmek için geliştirilen GRYSA modelinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

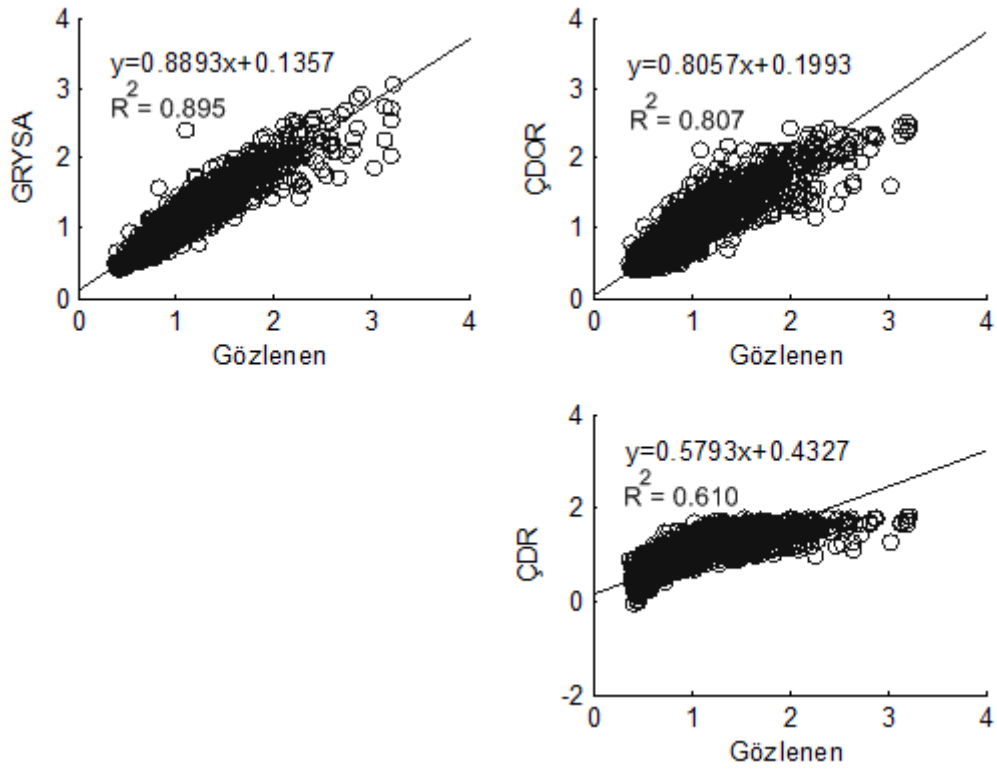
7 boyutsuz giriş parametresine ve 1 çıkış parametresine sahip GRYSA modelinden elde edilen değerlendirme sonuçları, ÇDOR (Eşitlik 5.10) ve ÇDR (Eşitlik 5.11) sonuçları ile karşılaştırılarak, Tablo 5.16’da verilmiştir. Tablo 5.16’dan da görülebileceği gibi değerlendirme aşamasında, GRYSA modelinden regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Herbir modelden değerlendirme aşamasında elde edilen tahmini debi katsayısı değerleri, Şekil 5.23’teki saçılma diyagramında verilmiştir. Şekil 5.23’ten de görülebileceği gibi en yüksek R^2 değeri (0.895), GRYSA modelinden elde edilmiştir. ÇDR tahminleri ideal çizgiden (45° çizgisi) oldukça uzaktır.

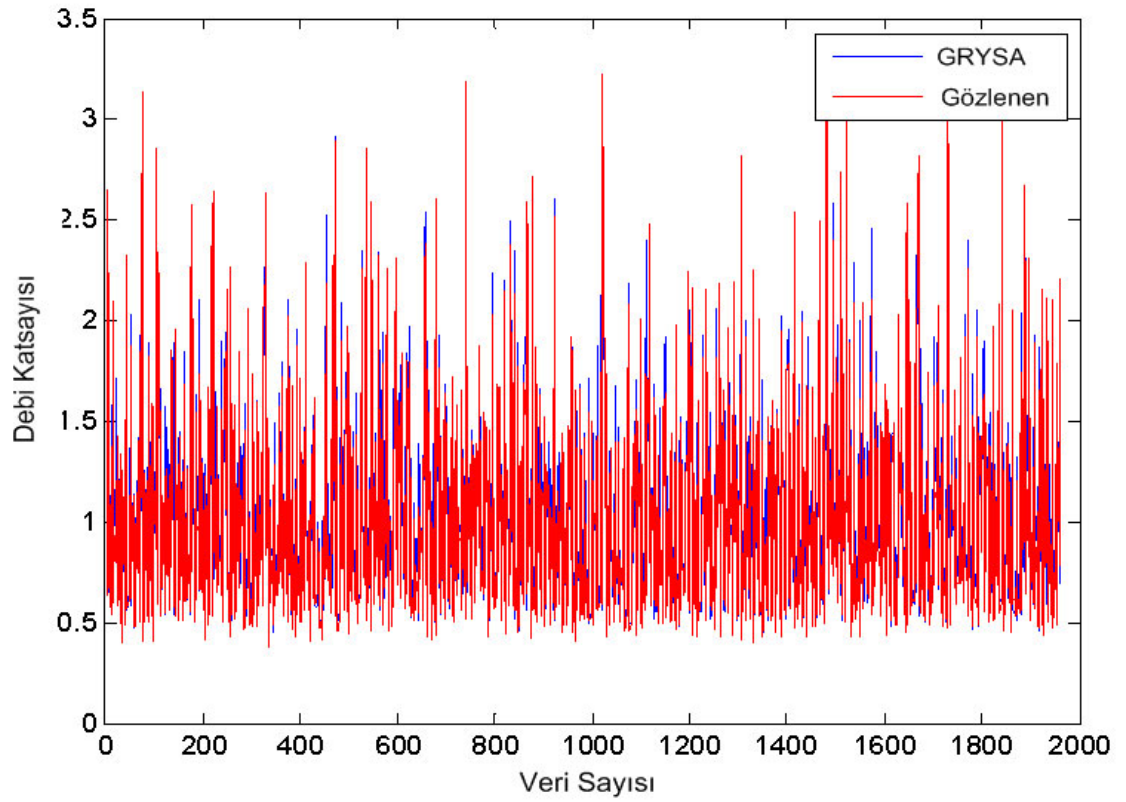
Değerlendirme verileri için, deneysel çalışmalarda elde edilen debi katsayısı değerleri ve GRYSA modelinden elde edilen, tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.24’te verilmiştir.

Tablo 5.16. Değerlendirme aşamasında, GRYSA ve regresyon modellerinden elde edilen KOKH, OMH ve R değerleri

Model	KOKH	OMH	R
GRYSA	0.153	0.102	0.9462
ÇDOR	0.205	0.152	0.8984
ÇDR	0.292	0.210	0.7813



Şekil 5.23. Değerlendirme aşamasında GRYSA, ÇDOR ve ÇDR modelleri için saçılma diyagramı



Şekil 5.24. Değerlendirme aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerleri ile GRYSA modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

GRYSA modelinden elde edilen sonuçlar, ÇDOR eşitliği (Eşitlik 5.10) ile elde edilen sonuçlara göre % 20.5 daha az KOKH ve OMH değerlerine sahip olmuştur. Geliştirilen GRYSA modelinin de kıvrımlı kanallara yerleştirilen üçgen labirent yan savakların debi katsayılarının tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

6. SONUÇLAR

Hidrolik mühendisliği'nde ve hidrolojik modellemelerde, yapay zeka hesaplama tekniklerinin kullanımı son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bir havzada yağış-akış ilişkisinin modellenmesi, akarsularda askı maddesi hesabı, akarsulardaki sediment taşınımı, akarsularda taşkın tahminleri, baraj-hazne işletme çalışmaları, bir göldeki su seviyesi değişiminin hesaplanması gibi alanlarda yapılan çalışmalarda, yapay zeka hesaplama tekniklerinden yararlanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Emiroğlu vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, MATLAB programlama dili yardımıyla ve farklı yapay zeka hesaplama teknikleri kullanılarak modellenmiş ve yan savaklar için debi katsayılarının tahmini elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde, “Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları, Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları, Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Yapay Sinir Ağları” teknikleri kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Doğrusal kanal üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen yan savaklar için mevcut olan toplam 843 deney dizisi için, ÇKYSA, RTYSA ve BYSA modelleri geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, regresyon eşitliklerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara göre, oluşturulan yapay sinir ağı modellerinin, regresyon modellerine göre daha doğru sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Geliştirilen yapay sinir ağı modelleri incelendiğinde, ÇKYSA modelinin, RTYSA modeline göre nispeten daha doğru sonuç verdiği söylenebilir. ÇKYSA modeli ÇDOR'a göre %31 ve %16 daha az KOKH ve OMH değerlerine sahip olmuştur. Test aşamasında 243 veri için, ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR'dan elde edilen tahmini sonuçlara göre; sırasıyla 209'u, 206'sı, 188'i ve 132'si %10 göreceli hatadan daha küçük bulunmuştur. Yine ÇKYSA, RTYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinin test aşamasında sırasıyla 139, 139, 124 ve 77 tane %5'ten daha küçük hataya sahip olduğu belirlenmiştir. Bu değerlendirmelerin sonucunda ÇKYSA ve RTYSA modellerinin, doğrusal kanal üzerinde yerleştirilen dikdörtgen yan savakların debi katsayısının tahmininde, başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Test aşamasında, deneysel çalışmalarda gözlenen 243 veri için, BYSA, ÇDOR ve ÇDR tahminleri sırasıyla 203'ü, 188'i ve 132'si %10 göreceli hatadan daha küçük bulunmuştur. Yine BYSA, ÇDOR ve ÇDR modellerinin test aşamasındaki tahminlerinin sırasıyla 133, 124 ve 77 tanesi %5'ten daha küçük hataya sahip olduğu belirlenmiştir. BYSA (2,trimf) modeli, ÇDOR'a göre sırasıyla, %20 ve %8 daha az KOKH ve OMH'ya sahiptir. Geliştirilen BYSA modelinden elde ettiğimiz sonuçlara göre, bu tekniğin, doğrusal kanal üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen yan savakların debi katsayılarının tahmini için, başarıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Doğrusal kanal üzerine yerleştirilmiş üçgen labirent yan savaklar için mevcut olan toplam 2500 deney dizisi için, ÇKYSA, RTYSA, GRYSA ve BYSA modelleri geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar regresyon modelleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara göre, geliştirilen yapay sinir ağı modellerinin, regresyon modellerine göre daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. 5 girişe, 10 gizli hücre sayısına ve 1 çıkış değerine sahip ÇKYSA modeli, en düşük KOKH (0.0622), OMH (0.0431) ve en yüksek R (0.980) değerleriyle, regresyon modellerine göre test aşamasında en iyi sonucu vermiştir. ÇKYSA modelinden elde ettiğimiz sonuçlara göre bu tekniğin, doğrusal kanal üzerine yerleştirilmiş üçgen labirent yan savakların debi katsayılarının tahmini için başarıyla kullanılabileceği belirlenmiştir. Geliştirilen RTYSA ve GRYSA modellerinden, deneysel çalışmalarda gözlenen debi katsayısı değerlerine, regresyon modellerine göre, daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. RTYSA modeli regresyon modelleri ile karşılaştırıldığında, en küçük KOKH (0.067), OMH (0.043) ve en yüksek R (0.979) değerleriyle, gözlenen değerlere en yakın sonuçları vermiştir. RTYSA modeli, ÇDOR modeli ile karşılaştırıldığında, KOKH dikkate alınırsa %35, OMH dikkate alındığında %36 daha düşük değerler elde edilmiştir. Böylece, RTYSA ve GRYSA tekniklerinde, üçgen labirent yan savakların debi katsayısının tahmininde başarıyla kullanılabileceği belirlenmiştir. Geliştirilen BYSA modelinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerleriyle, regresyon modellerinden elde edilen tahmini debi katsayısı değerleri incelendiğinde, gözlenen değerlere en yakın sonuçların BYSA (3,trimf) modelinden elde edildiği ortaya konulmuştur. BYSA (3,trimf) yapısı değerlendirme aşamasında en yüksek R (0.977) en düşük KOKH (0.069) ve OMH (0.041) değerleriyle, en başarılı sonucu vermiştir. Sonuç olarak, BYSA tekniğinin de doğrusal kanalda üçgen labirent yan savakların debi katsayılarının tahmini için başarıyla kullanılabileceği yapılan analizlerden tespit edilmiştir.

Kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen yan savaklar için mevcut olan toplam 1509 deney dizisi için, ÇKYSA ve GRYSA modelleri geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar regresyon modelleriyle karşılaştırılmıştır. 6 girişe, 11 gizli hücre sayısına ve 1 çıkış değerine sahip ÇKYSA modeli, en düşük KOKH (0.0724), OMH (0.0465) ve en yüksek R (0.9131) değerleriyle değerlendirme aşamasında regresyon modellerine göre gözlenen değerlere daha yakın sonuçlar vermiştir. ÇKYSA modelinden elde ettiğimiz sonuçlara göre, bu tekniğin, kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen yan savakların debi katsayılarının tahmini için başarıyla kullanılabileceği belirlenmiştir. Değerlendirme aşamasında, geliştirilen GRYSA modelinden elde edilen sonuçlar, regresyon modellerinden elde edilen sonuçlara göre %20.5 daha az KOKH ve OMH değerlerine sahip olduğu belirlenmiş; sonuçlar incelendiğinde, GRYSA modeli, en düşük KOKH (0.0750), OMH (0.0472) ve en yüksek R (0.9116) değerleriyle, değerlendirme aşamasında, regresyon modellerine göre gözlenen değerlere daha yakın sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak, geliştirilen ÇKYSA ve GRYSA modellerinin kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen yan savakların debi katsayılarının tahmini için başarıyla kullanılabileceği, gerçekleştirilen analizlerden tespit edilmiştir.

Kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilmiş üçgen labirent yan savaklar için, mevcut olan toplam 7963 deney dizisi için, ÇKYSA ve GRYSA modelleri geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar regresyon modelleriyle karşılaştırılmıştır. İlk önce tek katmana sahip bir ÇKYSA modeli oluşturulmuş fakat başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Farklı ÇKYSA yapıları değerlendirilerek, farklı gizli tabaka hücre sayıları için eğitim ve test aşamalarında elde edilen KOKH değerleri incelenerek; iki gizli katmana sahip ÇKYSA (7,7,9,1) modelinin, en düşük KOKH (0.165), OMH (0.122) ve en yüksek R (0.940) değerleriyle regresyon modellerine göre, gözlenen değerlere en yakın debi katsayısı değerlerini verdiği belirlenmiştir. ÇKYSA (7,7,9,1) modelinden elde edilen sonuçların, ÇDOR ile elde edilen sonuçlara göre %20 daha az KOKH ve OMH değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen GRYSA modelinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde; en düşük KOKH (0.153), OMH (0.102) ve en yüksek R (0.9462) değerleriyle, regresyon modellerine göre gözlenen değerlere daha yakın sonuçların elde edildiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, ÇKYSA ve GRYSA modellerinin kıvrımlı kanal üzerine yerleştirilmiş üçgen labirent yan savakların debi katsayılarının tahmini için başarıyla kullanılabileceği, yapılan analizlerden tespit edilmiştir.

Hidroloji alanında gerçekleştirilen çalışmalarda sıkça kullanılan yapay zeka hesaplama tekniklerinin, bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlarla, gelecekte hidrolik alanında gerçekleştirilecek analizlerde de başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- Ackers, P.**, 1957. A Theoretical Consideration of Side Weirs as Storm Water Overflows, *Proc. of the Ice*, London, **6**, 250-269.
- Ağaçcıoğlu, H.**, 1995. Yan savaklardaki akımın kıvrımlı bir kanal boyunca incelenmesi, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Agaccioglu, H. and Yuksel, Y.**, 1998. Side Weir Flow in Curved Channels, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **124**(3), 163-175.
- Akan, A.O.**, 1974. Computer Programming for Flow Over Side Weirs, *Journal of Hydraulics Division, Discussion, Proc., ASCE*, **100** (HY3), 489-490.
- Allen, J.W.**, 1957. The Discharge of Water Over Side Weirs in Circular Pipes, *Proc. of the ICE*, London, **6**, 270-287.
- Bae, D.H., Jeong, D.M. and Kim, G.**, 2007. Monthly Dam Inflow Forecasts Using Weather Forecasting Information and Neuro-fuzzy Technique, *Hydrol. Sci. J.* **52**(1), 99-113.
- Bilhan, Ö.**, 2005. Labirent savakların hidrolik karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi. *Yüksek Lisans tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bilhan, O., Emiroglu M.E. and Kisi O.**, 2010. Application of Two Different Neural Network Techniques to Lateral Outflow Over Rectangular Side Weirs Located on A Straight Channel, *Advances in Engineering Software*; **41**(6): 831-837.
- Borghei, M., Jalili M.R. and Ghodsian, M.**, 1999. Discharge Coefficient for Sharp-Crested Side Weir in Subcritical Flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, **125**(10), 1051-1056.
- Chang, F.J. and Chen, Y.C.**, 2001. A Counterpropagation Fuzzy-Neural Network Modeling Approach to Real Time Streamflow Prediction, *Journal of Hydrology*, **245**, 153-164.
- Chang, F.J. and Chang, Y.T.**, 2006. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Prediction of Water Level in Reservoir, *Advance in Water Res.*, **29**, 1-10.
- Chao, J.L., Trussel, R.R.**, 1980. Hydraulic Design of Flow Distribution Channels, *Journal of Environmental Engineering Division, ASCE*, **106**(EE2), 321-333.

- Chen, S., Cowan, C.F.N. and Grant, P.M.,** 1991. Orthogonal Least Squares Learning Algorithm for Radial Basis Function Networks, *IEEE Trans. Neural Networks* **2**(2), 302–309.
- Cheong, H.F.,** 1991. Discharge Coefficient of Lateral Diversion from Trapezoidal Channel, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **117**(4), 321-333.
- Coleman, G.S., Smith, D.,** 1923. The Discharging Capacity of Side Weirs, *Selected Engineering*, **6**, *Ins. Civ. Eng.*
- Collings, V.K.,** 1957. Discharge Capacity of Side Weirs, *Proc. Inst. of Civ. Engrs., London, England*, **6**, 288-304.
- Cosar, A. and Agaccioglu, H.,** 2004. Discharge Coefficient of A Triangular Side Weir Located on A Curved Channel, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **130**(5), 321-333.
- De Marchi, G.,** 1934. Saggio di teoria de funzionamento degli stramazzi letarali, *Energ. Elettr.*, 849-860.
- El-Khashab, A.,** 1975. Hydraulics of flow over side weirs, *PhD. Thesis*, England, University of Southampton.
- El-Khashab, A. and Smith, K.V.H.,** 1976. Experimental Investigation of Flow Over Side Weirs, *Journal of Hydraulic Division Proc.*, **102**(Hy9), 1255-1268.
- Engels, H.,** 1920. Mitteilungen aus der Dresdener Flussbaulaboratorium Weiten, 362-365, 387-390.
- Emiroğlu M.E., Kaya, N. and Öztürk, M.,** 2007. Labirent yan savaklardaki akımın ve su alma bölgesindeki oyulmanın kıvrımlı bir kanal boyunca incelenmesi. *Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Mühendislik Araştırma Grubu*, Proje No: 104M394.
- Emiroglu M.E., Kisi, O. and Bilhan, O.,** 2010a. Predicting Discharge Capacity of Triangular Labyrinth Side Weir Located on A Straight Channel by Using An Adaptive Neuro-Fuzzy Technique, *Advances in Engineering Software*, **41**(2), 154-160.
- Emiroglu M.E., Kaya, N. and Agaccioglu, H.,** 2010b. Discharge Capacity of Labyrinth Side Weir Located on A Straight Channel, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **136** (1): 37-46.
- Emiroglu, M.E. and Kaya, N.,** 2011a. Discharge Coefficient for Trapezoidal Labyrinth Side Weir in Subcritical Flow, *Water Resources Management*, **25**, 1037-1058. DOI: 10.1007/s11269-010-9740-7.

- Emiroglu M.E., Agaccioglu, H. and Kaya, N., 2011b.** Discharging Capacity of Rectangular Side Weirs in Straight Open Channels, *Flow Measurement and Instrumentation*, **22**(4), 319-330.
- Emiroglu M.E., Bilhan, O. and Kisi, O., 2011b.** Neural Networks for Estimation of Discharge Capacity of Triangular Labyrinth Side-Weir Located on A Straight Channel. *Journal of Expert System with Application*; **38**(1), 867-874.
- Frazer, W., 1954.** The behaviour of side weirs in prismatic rectangular channels, *Ph.D. Thesis*, Presented Glasgow University, England.
- Gentilini, B., 1938.** Ricerche Specimentali Sogli Sforatori Longitudinali, *L'Energia Elettrica*.
- Ghodsian, M., 2003.** Supercritical Flow over Rectangular Side Weir, *Canadian Journal of Civil Engineering*, **30**(3), 596-600.
- Han, D., Cluckie, I.D., Karbassioun, D., Lawry, J. and Krauskopf, B., 2002.** River Flow Modelling Using Fuzzy Decision Trees, *Water Resources Management*, **16**, 431-445.
- Hagan, M.T. and Menhaj, M.B., 1994.** Training Feed Forward Networks with The Marquardt Algorithm, *IEEE Trans Neural Networks*, **6**, 861-7.
- Hager, W.H., 1987.** Lateral Outflow over Side Weirs. *J Hydraul Eng ASCE*; **113** (4), 491-504.
- Hager, W.H., 1994.** Supercritical Flow In Circular-Shaped Side Weirs, *Journal Irrigation and Drainage Engineering*, **120**(1), 1-12.
- Hsu, K., Gupta, H.V. and Sorooshian, S., 1995.** Artificial Neural Network Modeling of The Rainfall-Runoff Process, *Water. Resour. Res.* **31**(10), 2517-2530.
- Jain, S.K., Chalisgaonkar, D., 2000.** Setting Up Stage-Discharge Relations Using ANN, ASCE, *J. of Hydrologic Engineering*, **5**(4), 428-433.
- Jain S.C., Fischer E.E., 1982.** Uniform Flow Over Skew Side Weir, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, **108**(2), 163-166.
- Jalili, M.R., Borghei, S.M., 1996.** Discussion of discharge coefficient of rectangular side weirs' by R. Singh, Manivannan, D., and T. Satyanarayana, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, **122**(2), 132.
- Jang, J.S.R., 1993.** ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Trans. Sys. Manage. and Cybernetics*, **23**(3), 665-685.
- Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E., 1997.** Neuro-Fuzzy And Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, *Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA*.

- Kang, K.W., Park, C.Y., and Kim, J.H.,** 1993. Neural Network And Its Application to Rainfall–Runoff Forecasting, *Korean J. Hydrosoci*, **4**, 1–9.
- Karunanithi, N., Grenney, W.J., Whitley, D. and Bovee, K.,** 1994. Neural Networks For River Flow Prediction, *J. Comp. Civil Engng., ASCE* **8**(2), 201–220.
- Kaya, N., Emiroglu, M.E. and Agaccioglu, H.,** 2011. Discharge Coefficient of Semi-Elliptical Side Weir in Subcritical Flow, *Flow Measurement and Instrumentation*, **22**, 25-32. 10.1016/j.flowmeasinst. 2010.11.002.
- Khalil, M., Panu, U.S. and Lennox, W.C.,** 2001. Groups and Neural Networks Based Streamflow Data Infilling Procedures, *Journal of Hydrology*, **241**, 153-176.
- Khorchani, M. and Blanpain, O.,** 2004. Free Surface Measurement of Flow Over Side Weirs Using The Video Monitoring Concept, *Flow Measurement and Instrumentation*, **15**, 111-117.
- Kisi, O.,** 2004a. River Flow Modeling Using Artificial Neural Networks, *ASCE Journal of Hydrol. Eng.*, **9**(1), 60-63.
- Kisi, O.,** 2004b. Multi-Layer Perceptrons With Levenberg-Marquardt Optimization Algorithm for Suspended Sediment Concentration Prediction and Estimation, *Hydrol. Sci. Journal*, **49**(6), 1025–1040.
- Kisi, O.,** 2005. Suspended Sediment Estimation Using Neuro-Fuzzy and Neural Network Approaches, *Hydrol. Sci. Journal*, **50**(4), 683-696.
- Kisi, O.,** 2006. Daily Pan Evaporation Modelling Using A Neuro-Fuzzy Computing Technique, *Journal of Hydrology*, **329**, 636-646.
- Kisi, O.,** 2007. Streamflow Forecasting Using Different Artificial Neural Network Algorithms, *ASCE J. of Hydrol. Eng.*, **12**(5), 532-539.
- Kisi, O., Ozturk, O.,** 2007. Adaptive Neuro-Fuzzy Computing Technique for Evapotranspiration Estimation, *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **133**(4), 368-379.
- Kisi, O.,** 2008. River Flow Forecasting and Estimation Using Different Artificial Neural Network Techniques, *Hydrology Research*, **39**(1), 27–40.
- Kisi, O., Yuksel, I. and Dogan, E.,** 2008. Modelling Daily Suspended Sediment of Rivers in Turkey Using Several Data Driven Techniques, *Hydrol. Sci. Journal*, **53**(6), 1270-1285.
- Kohonen, T.,** 1988. Self-Organization and Associative Memory. 3rd. ed., *Published by Springer Verlag*, New York.

- Kumar, C.P. and Pathak, S.K.,** 1987. Triangular Side Weirs, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **113**(1), 98-105.
- Lawrence, S., Back, A.D., Tsoi, A.C. and Giles, C.L.,** 1997. On the Distribution of Performance from Multiple Neural Network Trials, *IEEE Transactions on Neural Networks*, **8**(6), 1507–1517.
- Moghaddamnia, A., Ghafari, G. M., Piri, J., Amin, S. and Han, D.,** 2009. Evaporation Estimation Using Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Techniques, *Advances in Water Resources*, **32**(1), 88-97.
- Muslu, Y.,** 2001. Numerical Analysis for Lateral Weir Flow, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **127**(4), 246-253.
- Muslu, Y.,** 2002. Lateral Weir Flow Model Using A Curve Fitting Analysis, *Journal of Hydraul. Engineering*, **128**(7), 712-715.
- Nagy, H.M., Watanabe, K. and Hirano, M.,** 2002. Prediction of Sediment Load Concentration in Rivers Using Artificial Neural Network Model, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, **128**(6), 588-595.
- Nandesamoorthy, T. and Thomson, A.,** 1972. Discussion of Spatially Varied Flow Over Side Weir, *Journal of Hydraulic Engineering*, **98**(12): 2234-2235.
- Nayak, P.C., Sudheer, K.P., Rangan, D.M. and Ramasastri, K.S.,** 2004. A Neuro-Fuzzy Computing Technique for Modeling Hydrological Time Series. *Journal of Hydrology*, **291**(1-2), 52-66.
- Nimmo, W.H.R.,** 1928. Side Spillways for Regulating Diversion Channels, *Trans., ASCE*, **92**, 1561- 1584.
- Ozelkan, E.C., Duckstein, L.,** 2001. Fuzzy Conceptual Rainfall-Runoff Models, *Journal of Hydrology*, **253**(1-4), 41-68.
- Paredes, R. and Vidal, E.,** 2000. A Class-Dependent Weighted Dissimilarity Measure for Nearest Neighbor Classification Problems, *Pattern Recognition Letters*, **21**(12), 1027-1036.
- Pinheiro, A.N., Silva, I.N.,** 1999. Discharge Coefficient of Side Weirs, Experimental Study and Comparative Analysis of Different Formulas, *IAHR Congress*, Graz, Austria.
- Ramamurthy, A.S., and Carballada, L.,** 1980. Lateral Weirs Flow Model, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **112**(2), 130-137.
- Ramamurthy, A.S., Carballada, L. and Tim, U.S.,** 1986. Lateral Weirs in Trapezoidal Channels, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, **112**(2), 130-137.

- Ranga Raju, K.G., Prasad, B., and Grupta, S.K.,** 1979. Side Weir in Rectangular Channels, *Journal of Hydraulic Division, Proc.*, **105**(HY5), 547-554.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., and Williams, R.J.,** 1986. Learning internal representation by error propagation, *Parallel distributed processing Vol. 1: foundations*, D.E. Rumelhart and J.L. McClelland, eds., MIT Press, Cambridge, Mass.
- Schmidt, M.,** 1955. Die Berechnung von Streicwehren, Die Wasserwirtschaft, Berlin.
- Shamseldin, A.Y.,** 1997. Application of A Neural Network Technique to Rainfall–Runoff Modeling, *Journal of Hydrol.*, **199**, 272–294.
- Singh, R., Manivannan, D. and Satyanarayana, T.,** 1994. Discharge Coefficient of Rectangular Side Weirs, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **120**(4), 814-819.
- Sivakumar, B., Jayawardena, A.W., and Fernando, T.M.K.G.,** 2002. River Flow Forecasting: Use of Phase Space Recostruction and Artificial Neural Networks Approaches, *Journal of Hydrol.*, **265**, 225-245.
- Smith, K.V.H.,** 1974. Computer Programming for Flow Over Side Weirs, *Journal of Hydraulics Division Closure, Proc., ASCE*, **100**(HY1), 1722-1723.
- Subramanya, K. and Awasthy, S.C.,** 1972. Spatially Varied Flow Over Side Weirs, *Journal of Hydraulic Division, Proc., ASCE*, **98**(HY1), 1-10.
- Sudheer, K.P., Jain, S.K.,** 2003. Radial Basis Function Neural Network for Modelling Rating Curves, *ASCE, J. of Hydrologic Engineering*, **8**(3), 161-164.
- Swamee, P.K., Santosh K.P. and Masoud, S.A.,** 1994. Side Weir Analysis Using Elementary Discharge Coefficient, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **120**(4), 742-755.
- Şen, Z.,** 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tayfur, G., Ozdemir, S. and Singh, V.P.,** 2003. Fuzzy Logic Algorithm for Runoff-Induced Sediment Transport From Bare Soil Surfaces, *Advances in Water Resources*, **26**, 1249-1256.
- Tokar, A.S. and Johnson, P.A.,** 1999. Rainfall–Runoff Modeling Using Artificial Neural Networks, *Journal of Hydrol. Engineering, ASCE*, **4**(3), 232–239.
- Tozluk, H.,** 1994. Yan savak akımının hesabı için nümerik bir yaklaşım, *Doktora Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Thirumalaiah, K. and Deo, M.C.,** 1998. Real-Time Flood Forecasting Using Neural Networks, *Computer-Aided Civil Infrastruct. Engineering*, **13**(2), 101–111.

- Ura M., Kita Y., Akiyama, J., Moriyama H. and Jha, A.K.,** 2001 Discharge Coefficient of Oblique Side-Weirs, *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering* **19**(1), May 2001, 85-96.
- Uyumaz, A.,** 1982. Yan savaklardaki akımın teorik ve deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uyumaz, A., Smith R.H.,** 1991. Design Procedure for Flow Over Side Weirs, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, **119**(7), 79-90.
- Uyumaz, A.,** 1997. Side Weir in U-Shaped Channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, **123**(7), 639-646.
- Wong, S.V.A. and Hamouda, M.S.,** 2000. Optimization of Fuzzy Rules Design Using Genetic Algorithm, *Advances in Engineering Software*. **31**(4):251-262.
- Yen, B.C.,** 1977. Experimental Investigation of Flow Over Side Weirs, *Journal of Hydraulics Division, Discussion, Proc., ASCE*, **103**(HY5), 580-581.
- Yu, P.S., Yang, T.C.,** 2000. Fuzzy Multi-Objective Function for Rainfall-Runoff Model Calibration, *Journal of Hydrology*, **238**(1-2): 1-14.
- Yu-Tech, L.,** 1972. Discussion of Spatially Varied Flow Over Side Weir, *Journal Hydraulic Engineering, ASCE*, **98**(11), 2046-2048.
- Yuksel, E.,** 2004. Effect of Specific Energy Variation on Lateral Overflows, *Journal of Flow Measurement and Instrumentation*, **15**, 259-269.
- Zealand, C.M., Burn, D.H. and Simonovic, S.P.,** 1999. Short Term Streamflow Forecasting Using Artificial Neural Networks, *Journal of Hydrol.*, **214**, 32–48.
- Zhu, M.L. and Fujita, M.,** 1994. Comparisons Between Fuzzy Reasoning and Neural Network Methods to Forecast Runoff Discharge, *J. Hydrosoci. Hydraulic Engineering.*, **12**(2), 131–141.

ÖZGEÇMİŞ



Yök. Müh. Ömer BİLHAN
Fırat Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü,
23279, Elazığ, Türkiye

Gsm: (0533) 5408661,
E-posta: obilhan@firat.edu.tr, omer.bilhan@gmail.com

Kişisel Bilgiler

Doğum Tarihi ve Doğum Yeri	02/08/1979, Elazığ
Adres Bilgileri	Fırat Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü, 23279, Elazığ, Türkiye
İş Telefonu	(424) 2370000/5436

Eğitim Bilgileri

Yüksek Lisans Eğitimi	Fırat Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü Elazığ, 2002-2005.
Lisans Eğitimi	Fırat Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 1998-2002.
Lise Eğitimi	Balakgazi Süper Lisesi, Elazığ, 1994-1998.

İş Deneyimleri

Şantiye Şefliği	Ergeç İnşaat Taahhüt San. Ltd. Şti. Batıkent/Ankara. 2002-2004.
Araştırma Görevlisi	Fırat Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü. 2005-Halen Çalışıyor.