

**EĞİRDİR GÖLÜ'NE AIT BUHARLAŞMA
MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ
VE UYGULANMASI**

Özlem TERZİ

**Doktora Tezi
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2004**

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EĞİRDİR GÖLÜ'NE AİT BUHARLAŞMA MODELLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ
VE UYGULANMASI**

ÖZLEM TERZİ

Danışman: Doç. Dr. M. Erol KESKİN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ISPARTA 2004

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	1
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Buharlaşma ile İlgili Çalışmalar	4
2.1. Yapay Sinir Ağları ile İlgili Çalışmalar	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. MATERYAL	27
3.1.1. Buharlaşma	27
3.1.1.1. Hidrolojik Çevrim	27
3.1.1.2. Buharlaşma Mekanizması	28
3.1.1.3. Buharlaşmaya Etki Eden Faktörler	29
3.1.1.3.1. Meteorolojik faktörler	29
3.1.1.3.2. Coğrafik ve topografik faktörler	31
3.1.1.3.3. Buharlaşan yüzeyin özelliği	31
3.1.1.4. Buharlaşmanın Meydana Geldiği Yüzeyler	32
3.1.1.4.1. Kar Yüzeyinden Buharlaşma	32
3.1.1.4.2. Zeminden Buharlaşma	33
3.1.1.4.3. Terleme ve Tutma	33
3.1.1.4.4. Evapo-transpirasyon (Buharlaşma-Terleme)	35
3.1.1.4.5. Su Yüzeyinden Buharlaşma	36
3.1.2. Otomatik Meteorolojik Ölçüm İstasyonu	44
3.1.3. Eğirdir Gölü	46
3.1.3.1. Coğrafik konumu ve topoğrafyası (Havzanın tanımı)	46
3.1.3.2. İklim	48
3.1.3.3. Göl seviyesindeki değişimler	49
3.2. YÖNTEM	51
3.2.1. Yapay Sinir Ağları	51
3.2.1.1. Biyolojik Sinir Hücresi	52
3.2.1.2. Yapay Sinir Hücresi	52
3.2.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	55
3.2.1.4. Yapay Sinir Ağlarının Öğrenme Stratejilerine ve Yapılarına Göre Sınıflandırılması	56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	64
5. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ	124

ÖZET

Eğirdir Gölü Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su kaynağı olma özelliğinden dolayı, gerek bölgesel gerekse Türkiye açısından öneme sahip bir göldür. Eğirdir Gölü'nün suyu enerji üretimi, su ürünleri yetiştiriciliği, içme ve sulama suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır. Su bütçesi ve sulama gibi pek çok hidrolojik problemlerde buharlaşmanın belirlenmesi önemlidir. Eğirdir Gölü'nde meydana gelen buharlaşma kayıplarının belirlenmesi bu açıdan büyük önem taşımaktadır. Hidroloji uygulamalarında yaygın kullanıma sahip olan tava ölçümlerinde bazı problemlerle karşılaşılabilir. Bu problemler ölçümün yapılamadığı, ölçüm sisteminin arızalı olduğu ve buharlaşma verilerinin eksik olduğu durumlar olarak sıralanabilir. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için mevcut metotlara alternatif olarak ampirik metotların temelini oluşturan ve yaygın kullanıma sahip olan Penman metodu ile tava ölçüm değerleri dikkate alınarak buharlaşma modelleri geliştirilmiştir. Buharlaşma modellerinin geliştirilmesinde kullanılan meteorolojik parametrelerin ölçümleri, Eğirdir Gölü kenarına kurulan otomatik GroWeather meteorolojik istasyon aracılığıyla yapılmıştır. DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen tava buharlaşma değerleri modellerin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Geliştirilen buharlaşma modelleri, yağış-akış, akım tahmini gibi farklı hidroloji problemlerinin çözümünde oldukça yaygın kullanıma sahip olan yapay sinir ağı modelleri ve bu modeller yanında çoklu lineer regresyon modellerini içermektedir.

Eğirdir Gölü için geliştirilen buharlaşma modellerinin performansını değerlendirmek için hem yapay sinir ağı modellerinin hem de çoklu lineer regresyon modellerinin sonuçları, Penman metodunun sonuçları ile karşılaştırılmış ve yüksek determinasyon katsayıları elde edilmiştir. Ayrıca sonuçlar, hem tablolar hem de grafikler halinde sunulmuştur. Mevcut klasik buharlaşma metotlarına ilaveten geliştirilen modellerin de buharlaşma hesaplarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Buharlaşma, Eğirdir Gölü, Meteorolojik Parametre, Penman Metodu, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

Lake Eğirdir which is the second largest freshwater lake has importance in Lakes District of Turkey and Turkey. Lake Eğirdir is being used as energy production, water products, drinking and irrigation water source. Evaporation estimation is important for many hydrological problems such as water budget and irrigation. Therefore, it is a significant parameter in determining evaporation occurred in Lake Eğirdir. There are some difficulties in the measurement of class A pan evaporation used commonly in hydrological practices. These are situation in which is not measured; the measurement system has failed and missing daily pan evaporation data. In order to reduce these problems, evaporation models were developed to take into consideration class A pan measurement data and results of Penman method, which is basis of evaporation methods and commonly used, as alternative to exist methods. Meteorological data used to develop evaporation models are obtained from Automated GroWeather Meteorological Station set up near Lake Eğirdir. Pan evaporation values, measured by XVIII. District Directorate of State Hydraulic Works, are used to develop evaporation models. The developed models are included artificial neural network models, which is commonly used in different hydrology problems such as flow, rainfall-runoff estimation, and multiple linear regression models.

To evaluate performance of the evaporation models developed for Lake Eğirdir, results of the both artificial neural network and multiple linear regression models are compared those of Penman method and coefficients of determination are highly obtained. Furthermore, results are given as tables and graphics. It is resulted in that the developed models can be used to estimate evaporation in addition classical evaporation methods.

KEY WORDS: Evaporation, Lake Eğirdir, Meteorological Parameter, Penman Method, Artificial Neural Networks

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Su bütçesi ve sulama gibi hidrolojik problemlerde önemli bir parametre olan buharlaşmanın belirlenmesinde, veri eksikliği veya güvenilir verilerin toplanamaması nedeni ile yanlış veya eksik tahmin problemleri ile karşılaşılabilir. Ayrıca, literatürdeki mevcut buharlaşma modelleri, genellikle geliştirildikleri bölgeye özgü olduğu için doğrudan kullanılamamaktadır ve incelenen bölgeye uyarlanmaları gerekmektedir. Bu sebeple, çalışmamızda, Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su kaynağı ve dördüncü büyük gölü olan Eğirdir Gölü'nde meydana gelen buharlaşmanın belirlenmesi amacıyla çeşitli buharlaşma modelleri geliştirilmiştir. Buharlaşma modellerinin geliştirilmesinde kullanılan meteorolojik verilerin toplanabilmesi için Eğirdir Gölü kenarına otomatik meteoroloji ölçüm istasyonu kurulmuştur. Geliştirilen buharlaşma modellerinin performansı değerlendirilerek kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Bu çalışma konusunu öneren, destek ve görüşlerini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. M. Erol KESKİN'e şükranlarımı sunarım. ODTÜ işbirliği içerisinde otomatik meteorolojik ölçüm istasyonunun kurulmasını sağlayan Prof. Dr. A. Ünal ŞORMAN'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmanın her safhasında anlayış gösteren ve manevi katkıda bulunan eşim Arş. Gör. Serdal TERZİ'ye ve bugünlerimi borçlu olduğum aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. SDÜ Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne ve Devlet Su İşleri XVIII. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

01.07.2004

Özlem TERZİ

SİMGELER DİZİNİ

α	Albedo, yüzey yansıtma katsayısı
λ	Suyun buharlaşma ısısı
Σ	Toplam fonksiyonu
Δ	Doymuş buhar basınç eğrisi eğimi
σ	Lummer ve Pringsheim sabiti
$(E_{ST})_{BTM}$	Standartlaştırılmış buharlaşma tahmin modeli
ΔH	Su kütlesinin sıcaklığındaki değişme için gerekli ısı
A_h	Su kütlesine yatay enerji transferi
BTM_P	Penman metoduna göre geliştirilen buharlaşma tahmin modeli
BTM_T	Tava buharlaşma değerlerine göre geliştirilen buharlaşma tahmin modeli
C, K	Sabitler
D	Verilen bir gün için günışığı saati
E	Buharlaşma
e_2	2 m yükseklikte doymuş buhar basıncı
e_a	Gerçek buhar basıncı
$E_i(\text{ölçüm})$	Gerçek buharlaşma
$E_i(\text{tahmin})$	Tahmin edilen buharlaşma değeri
E_{ort}	Ölçülen buharlaşma değerlerinin ortalaması
e_{os}	Yüzey sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı
EP_i	Parametre ağırlık yüzdesi
$e_s - e_a$	Buhar basınç farkı
e_s	Doymuş buhar basıncı
ET	Evapo-transpirasyon
F	Boyutsuzlaştırılmış değer
F_i	Ölçümlerdeki i . değer
F_{max}	Ölçümlerdeki maksimum değer
F_{min}	Ölçümlerdeki minimum değer
G	Kütleye giren ısı akışı
H_c	Su yüzeyinden atmosfere kondüksiyon ile kaybolan ısı
H_e	Buharlaşmada kullanılan enerji
H_i	Kütleye giren ısı
h_i	Gizli tabaka nöronu
H_o	Kütleden çıkan akımların ısısı ile yansıyan ısının toplamı
m	Toplam çıktı sayısı
M	Alt küme sayısı
MSE	Ortalama karesel hata
n	Gözlenmiş verilerin sayısı
n/D	Gerçek / max güneşlenme süresi
net	Hücrede toplanan girdinin tümü
P	Yağış
P_a	Atmosfer basıncı
P_t	Doymuş su buharı yoğunluğu
R^2	Determinasyon katsayısı
R_A	Bir noktada beklenen toplam radyasyon
R_B	Uzun dalga boylu radyasyon
R_C	Kısa dalga boylu radyasyon
R_h	Nisbi nem
R_I	Net kısa dalga boylu radyasyon

R_i	Parametre korelasyon sayısı
R_n	Net radyasyon
T	Terleme
T_a	Hava sıcaklığı (°C)
T_s	Yüzey sıcaklığı (°C)
u_i	i m yükseklikteki rüzgar hızı
w_i	Tabakalar arası işlem elemanı ağırlığı
X	Kütleye giren akış miktarı
x_i	Girdi tabakası nöronu
Y	Kütleden çıkan akış miktarı
y_i	Çıktı tabakası nöronu
YSA_P	Penman metoduna göre geliştirilen yapay sinir ağı modeli
YSA_T	Tava buharlaşma değerlerine göre geliştirilen yapay sinir ağı modeli
Z	Yeraltına sızan su miktarı
z_a, z_b	Yükseklik
β	Bowen oranı
γ	Psikometrik sabit
Δb_{ok}	Bias düzeltme terimi
δ_k	Hata terimi
ΔS	Kütlenin hacmindeki değişme
Δw_{jk}	Ağırlık düzeltme terimi
θ	Eşik değeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Hidrolojik çevrimin başlıca elemanları	28
Şekil 3.2. Su yüzeyinden buharlaşma (Bayazit, 1999)	29
Şekil 3.3. A sınıfı buharlaşma tavaşı	38
Şekil 3.4. Otomatik GroWeather Meteorolojik İstasyonu	45
Şekil 3.5. Otomatik GroWeather Meteorolojik İstasyonunun bağlantı sistemi	46
Şekil 3.6. Eğirdir Gölü haritası	47
Şekil 3.7. Yıllara göre göl seviye değişimi	50
Şekil 3.8. Biyolojik sinir hücresi	52
Şekil 3.9. Yapay sinir hücre yapısı	54
Şekil 3.10. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	54
Şekil 3.11. Basit bir yapay sinir ağı	55
Şekil 3.12. Eğitici öğrenme	57
Şekil 3.13. Eğitici öğrenme	58
Şekil 3.14. Destekleyici öğrenme	58
Şekil 3.15. Tek tabakalı yapay sinir ağı	60
Şekil 3.16. Çok tabakalı sinir ağı	60
Şekil 4.1. Meteorolojik parametrelerin günlük değişimleri	65
Şekil 4.2. Penman buharlaşma değerleri ile meteorolojik parametreler arasındaki saçılma diyagramları	71
Şekil 4.3. Penman ve YSA_p modelleri arasında çizilen saçılma diyagramları	77
Şekil 4.4. Seçilen $YSA_{p4}(3,2,1)$ modelinin şematik gösterimi	78
Şekil 4.5. Penman metodu ile buharlaşma tahmin modelleri arasındaki saçılma diyagramları	83
Şekil 4.6. Buharlaşma tahmin modelleri ve klasik metotlar arasında ortalama aylık buharlaşma zaman serileri (devam)	85
Şekil 4.7. Meteorolojik parametreler ve tava buharlaşması arasında çizilen saçılma diyagramları	88
Şekil 4.8. $YSA_T(3,6,1)$ modelinin performans grafiği	93
Şekil 4.9. $YSA_T(3,6,1)$, BTM_{T7} modelleri ve Penman metodunun tava buharlaşma değerleri ile saçılma diyagramları	95
Şekil 4.10. 2001 ve 2002 yılları için modellenmiş ve ölçülmüş buharlaşma değerleri Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 4.11. Orijinal sabit değerlere sahip Brutsaert-Stricker (B-S), Hamon, Makkink ve Priestley-Taylor (P-T) metotları ile günlük tava buharlaşma değerlerinin karşılaştırılması	98
Şekil 4.12. Kalibre edilmiş sabit değerlere sahip Brutsaert-Stricker (B-S), Hamon, Makkink ve Priestley-Taylor (P-T) metotları ile günlük tava buharlaşma değerlerinin karşılaştırılması	99
Şekil 4.13. Orijinal ve kalibre sabit değerlere sahip olan Hamon metodu, $YSA_T(3,6,1)$ modeli ile günlük tava buharlaşmasının zaman serisi	101
Şekil 4.14. Buharlaşma modelleri akış şeması	102
Şekil 4.15. Yapay sinir ağı tava modelleri menü görüntüsü	103
Şekil 4.16. Üç parametrelili yapay sinir ağı tava modeli alt penceresi	103
Şekil 4.17. Yapay sinir ağı Penman modelleri menü görüntüsü	104
Şekil 4.18. Dört parametrelili yapay sinir ağı Penman modeli alt penceresi	104
Şekil 4.19. Tava buharlaşma tahmin modelleri menü görüntüsü	105
Şekil 4.20. Dört parametrelili tava buharlaşma tahmin modeli alt penceresi	105
Şekil 4.21. Penman buharlaşma tahmin modelleri menü görüntüsü	106
Şekil 4.22. İki parametrelili Penman buharlaşma tahmin modeli alt penceresi	106
Şekil 4.23. Buharlaşma metotları menü görüntüsü	107
Şekil 4.24. Buharlaşma metotlarından Penman metodu alt penceresi	107
Şekil 4.25. Eğirdir Gölü için kalibre edilen buharlaşma metotları menü görüntüsü	108

Şekil 4.26. Kalibre edilen buharlaşma metotlarından Makkink metodu alt penceresi . 108

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Aktivasyon fonksiyonları	54
Çizelge 4.1. Meteorolojik parametrelerin Penman buharlaşma değerleri ile olan korelasyon katsayıları ve ağırlık yüzdeleri (2001-2002)	73
Çizelge 4.2. Geliştirilen çeşitli YSA _P modelleri	75
Çizelge 4.3. R _c , T _a , T _s ve R _h parametrelerinin korelasyon matrisi	78
Çizelge 4.4. Lineer buharlaşma modelleri ile klasik metotların istatistiksel analizi Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 4.5. Penman metodu ile geliştirilen BTM _P modelleri ve klasik metotlar arasındaki ortalama aylık buharlaşmalar (mm/gün) ve hatalar..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 4.6. BTM _P ve YSA _P modelleri	86
Çizelge 4.7. Meteorolojik parametrelerin tava buharlaşmaları ile olan korelasyon katsayıları ve ağırlık yüzdeleri (2001-2002).....	87
Çizelge 4.8. Farklı YSA mimarilerinin ortalama çapraz-doğrulama hataları.....	91
Çizelge 4.9. YSA _T ve BTM _T modellerinin determinasyon katsayısı (R ²) ve ortalama karesel hata (MSE) değerleri	93
Çizelge 4.10. Tava buharlaşması ve buharlaşma metotları arasındaki regresyon ilişkileri ve MSE değerleri	99

1. GİRİŞ

Su doğada çeşitli yerlerde ve katı, sıvı ve buhar hallerinde bulunmakta ve yer küresinin farklı kısımları arasında dönüp durmaktadır. Suyun doğada dolaştığı yolların tümüne birden hidrolojik çevrim denir. Hidrolojik çevrimin önemli bir parametresi olan buharlaşma, su kaynaklarının planlanması ve işletilmesinde, sulama suyu miktarının belirlenmesinde, meteorolojik ve atmosferik çalışmalarda önemli bir faktör olarak görülür. Serbest su yüzeyinden meydana gelen buharlaşmanın tahmini için kullanılan metotlar direkt ve indirekt metotlar olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. A sınıfı tava buharlaşma metodu, direkt metot olarak bilinir. Meteorolojik parametrelere bağlı olan indirekt metotlar, sıcaklık (Blaney-Criddele metodu vb.), sıcaklık ve güneş radyasyonu (Priestley-Taylor metodu vb.), nisbi nem ve rüzgar parametrelerine bağlı kombinasyon metotları (Penman, Penman-Monteith metotları vb.) olmak üzere gruplandırılabilirler. Türkiye’de yapılan buharlaşma hesaplarında genellikle Penman metodu kullanılmaktadır. Ancak bu metodun kullanımı için pek çok meteorolojik parametrenin ölçümüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu meteorolojik parametrelerin ölçümündeki zorluklar göz önüne alındığında; Penman metoduna alternatif olabilecek, daha az parametrenin kullanıldığı bölgesel buharlaşma modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, hidroloji problemlerinin çözümünde oldukça yaygın kullanıma sahip olan yapay sinir ağları yaklaşımı ve çoklu lineer regresyon modelleri Eğirdir Gölü’ne ait buharlaşma tahmini için geliştirilmiştir.

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zor veya mümkün değildir. Yapay sinir ağı teknolojisi günlük hayatta insanlara faydalı ürünlerin oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Yapay sinir ağları bilinen hesaplama yöntemlerinden farklı bir hesaplama yöntemi önermektedir. Buldukları ortama uyum sağlayan, adaptif, eksik bilgi ile çalışabilen, belirsizlikler altında karar verebilen, hatalara karşı toleranslı olan bu hesaplama yönteminin başarılı uygulamalarını görmek mümkündür. Oluşturulacak olan ağın yapısının belirlenmesinde, ağ parametrelerinin seçiminde belirli bir standardın olmaması, problemlerin sadece sayısal bilgiler ile gösterilebilmesi, eğitimin nasıl bitirileceğinin bilinmemesi ve ağın

davranışlarını açıklayamamasına rağmen bu ağlara olan ilgi her geçen gün artmaktadır (Öztemel, 2003).

Eğirdir Gölü Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su kaynağı olma özelliğinden dolayı, gerek bölgesel gerekse Türkiye açısından önem arz etmektedir. Eğirdir Gölü'ne ait meteorolojik ve hidrolojik parametrelerin ölçümleri sonucunda göl seviyesinde zaman zaman yükselmeler ve alçalmalar olduğu tespit edilmiştir. 1962 yılına kadar olan göl seviye değişimleri meteorolojik kökenli olup yalnızca yağışlı ve kurak periyotlara bağlı kalmıştır. 1962 yılından sonra meteorolojik faktörlerin yanında su kullanımının da (enerji, sulama, içme vb. amaçlı) etkisi gözlenmiştir. Araştırmada, bölgesel önemi herkes tarafından bilinen Eğirdir Gölü buharlaşma miktarını belirlemek için Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin desteği ve işbirliği ile bir meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, hava basıncı, rüzgar hızı, nisbi nem gibi meteorolojik parametreler otomatik GroWeather meteorolojik istasyonu aracılığıyla kısa aralıklarla data-logger'lara kaydedilmiştir. Bu meteorolojik ve hidrolojik parametrelere bağlı olarak Penman metodundan elde edilen buharlaşma ve DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen tava buharlaşma değerlerine göre, Eğirdir Gölü'ne ait ampirik modeller ve son zamanlarda mühendislik alanında kullanımı yaygınlaşan Yapay Sinir Ağları metodu kullanılarak modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerden elde edilen günlük buharlaşma değerleri, günlük tava buharlaşması ve Penman metodundan elde edilen günlük buharlaşma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda literatürden seçilen Priestley-Taylor (1972), Bruatsaert-Stricker (1979), Makkink (1957), deBruin (1978) ve Hamon (1961) metotları, bölgesel verilere göre kalibre edilerek Eğirdir Gölü için buharlaşma hesaplarında kullanılmak üzere geliştirilmiş ve geliştirilen bu metotlar ile Eğirdir Gölü buharlaşması hesaplanmıştır. Ayrıca geliştirilen buharlaşma modelleri ve klasik metotlar ile yapılan buharlaşma hesaplamalarında Visual Basic Programlama dilinde yazılan bir program kullanılmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

Hidroloji uygulamalarında, yaygın kullanıma sahip olan tava ölçümlerinde bazı problemlerle karşılaşılabilir. Bu problemler, buharlaşma tavaları ve benzeri otomatik ölçüm cihazlarının pahalı olması, yağışın tava buharlaşmasının doğru ölçülmesine engel olması, ölçüm yapılamayan durumlarda eksik veriler olarak sıralanabilir. Bu çalışmada, yukarıda sıralanan olumsuzlukları en aza indirmek amacıyla mevcut metotlara

alternatif olarak ampirik metotların temelini oluşturan ve yaygın kullanıma sahip olan Penman metodu ve tava ölçüm değerleri dikkate alınarak Eğirdir Gölü'ne ait yapay sinir ağları ve buharlaşma tahmin modelleri geliştirilmesi amaçlanmıştır.

İkinci bölümde, konu ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, materyal kısmında buharlaşmanın tanımı, buharlaşmaya etki eden faktörler, oluşumu ve buharlaşma hesap yöntemleri anlatılmıştır. Otomatik meteorolojik ölçüm istasyonu hakkında bilgi verilmiştir. Eğirdir Gölü'nün özellikleri, Eğirdir bölgesinin iklimi ve coğrafik konumu hakkında bilgi verilmiştir. Metot kısmında ise, yapay sinir ağları metodu anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, hem Penman hem de tava buharlaşma değerlerine göre geliştirilen buharlaşma tahmin ve yapay sinir ağları modellerinden ve geliştirilen bu modellerin mevcut metotlarla karşılaştırmalarından ve istatistik analizlerden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde ise, geliştirilen modellerden elde edilen bulgulara göre çıkarılan sonuçlar tartışılmış ve öneriler yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Buharlaşma ile İlgili Çalışmalar

Morton (1974), önerdiği bir modelle meteorolojik veriler kullanarak buharlaşma ve terlemeyi tahmin etmiştir. Kanada, İrlanda ve Güney Amerika'da bulunan 118 akarsu havzası için yapılan su bütçesi sonuçları ile model sonuçlarını karşılaştırmış ve sonuçların iyi fakat bazı eksikliklerin olduğunu belirtmiştir. Karşılaştırma sonucunda, bu eksiklikleri, nem değerlerinin doğru ölçülmesi, modelin deniz ve okyanus gibi süreksiz kıyılarda kullanışsız olması, kısa zaman periyotlarında uygun olmaması, derin göller için elverişsiz ve zemin-bitki sistemlerinde de kullanılamaz olarak sıralamıştır.

Stewart ve Rouse (1976), Hudson Bay ovalarındaki sığ bir gölden yaz aylarında meydana gelen buharlaşmayı tahmin etmek için enerji bütçe ve denge model yaklaşımlarını kullanmışlardır. Priestley-Taylor metodunu kullanarak göldeki yarım saatlik ve günlük buharlaşma değerlerini tahmin etmişlerdir. Hava sıcaklığına ve güneş radyasyonuna bağlı olan basit bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin sonuçları ile gerçek buharlaşma değerleri arasında % 10 luk bir fark olduğunu belirlemişlerdir.

Coleman ve DeCoursey (1976), altı adet buharlaşma ve evapo-transpirasyon modelinin değişken duyarlılığını ve hata varyansını belirlemişlerdir. Modelleri karşılaştırmak için, birim değişkenindeki birim değişimle buharlaşmadaki yüzde değişim olarak belirlenen nispi duyarlılığı ile hesaplamışlardır. Modelin eğilimini veya tahmin doğruluğunu belirlemek için hiçbir test yapılmamasına rağmen, bütün sistem varyansını belirlemek için cihaz hata varyansının tahmin hata varyansına nasıl ilave edilebileceğini göstermek amacıyla bir teknik önermişlerdir. Model geliştirmede eğer tahmin eğilimi yok ise bu iki varyansların toplamının minimum olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Phillips (1978), Ontario Gölü'ndeki günlük buharlaşmayı, değiştirilmiş kütle transfer tekniğini kullanarak hesaplamıştır. Günlük, aylık ve yıllık buharlaşma miktarlarını kütle transfer, enerji dengesi ve su bütçesi metodlarının sonuçları ile karşılaştırmıştır ve sonuçlar arasındaki farklılıkları göstermiştir.

de Bruin (1978), sığ bir gölden buharlaşmanın hesaplanması için Priestley-Taylor ve Penman denklemlerini birleştirerek basit bir model elde etmiştir. Hollanda'daki büyük bir gölde bu modelle tahmin edilen 1, 5, 10 ve 20 günlük buharlaşma değerlerini enerji

bütçe ölçümleriyle karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda 10 gün ve daha fazla periyotlar için modelin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

de Bruin ve Keijman (1979), Hollanda'daki Fleva Gölü'ne ait buharlaşmayı, Priestley-Taylor modelini kullanarak tahmin etmişlerdir. Temmuz-Eylül ayları için enerji bütçe metodu ile belirlenen buharlaşma değerlerini Priestley-Taylor modelinin sonuçları ile karşılaştırmışlar ve sonuçların uyum içerisinde olduğunu görmüşlerdir. Priestley-Taylor modelindeki α katsayısının günlük olarak değiştiğini ifade etmişlerdir. α katsayısının mevsimsel bir değişime sahip olmasının, günlük latent ısı ile denge latent ısı akısı arasında lineer bir ilişkiden kaynaklandığını göstermişlerdir.

Morton (1979), aylık sıcaklık, nem ve güneşlenme süresi gözlemlerinden yıllık göl buharlaşmasının tahmini için bir model geliştirmiştir. Model tahminleri ıslak alanlarda yüksek, kurak alanlarda ise düşük değerler vermiştir. Model sonuçlarını su bütçesi tahminleri ile karşılaştırmış ve sonuçların uyum içerisinde olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda, giriş akım ısını göz önüne almış ve buharlaşmanın enerji bütçesi tahminleri ile uygun sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Mevcut verilerle, geniş bir bölgede gerçek sonuçlar veren modelin su kaynakları ve çevresel etki çalışmalarında oldukça kullanışlı olduğunu belirtmiştir.

Beven (1979), havza hidrolojisinin, SHE (Système Hydrologique Européen) modelinin Penman-Monteith denklemine bağlı olan evapo-transpirasyon bileşenini kısaca tanımlamış ve modelin kullanımı için evapo-transpirasyon tahmininin öneminden bahsetmiştir. Genel olarak nemli sıcak üç bölgede kurak bozkır şartlarında, farklı girdi verileri ve parametreleri için Penman-Monteith metodunun duyarlılığının, bitki tipinin, tahminlere etkisini veren aerodinamik ve örtü dayanım parametrelerinin değerlerine bağlı olduğunu göstermiştir. Özellikle ormanla kaplı alanlar için evapo-transpirasyon tahminlerinin örtü dayanım değerlerine oldukça duyarlı olduğunu ve bu yüzden bu parametrenin doğru tahmin edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Ohmura (1982), yüzey ısı akışı ve net radyasyon ölçümlerinin toplam hatalarının doğal problemlere ilavesinde, Bowen oranı enerji denge metodunun makul olmayan duyarlı ve latent ısı akısı elde ettiğini ve bu problemlerin, aletlerin çözünürlük limitlerinden kaynaklandığını belirtmiştir. İstenmeyen verileri ihmal etmek için bir amaç kriteri ortaya koymuştur.

Andersen ve Jobson (1982), U.S. Weather Service tarafından hazırlanmış olan bir buharlaşma haritası ve sayısal bir model kullanarak 30 göl için ortalama yıllık buharlaşma tahmini yapmışlardır. Haritanın aylık buharlaşma değerleri için uygun olmadığını, bununla birlikte sayısal modelin aylık tahminler için uygun sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Morton (1983), Kuzey Amerika ve Afrika'daki 11 göl için gözlenmiş aylık sıcaklık, nem ve güneşlenme süresi değerleri kullanılarak hesaplanan CRLE (Complementary Relationship Lake Evaporation) modeli yıllık göl buharlaşma değerleri ile su bütçe tahminlerini karşılaştırmıştır. Aylık göl buharlaşmasının mevsimsel dağılımında derinlik ve tuzluluğun etkilerini hesaba katan bir formül vermiş ve formülün sonuçları ile su bütçesinin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Formül ile ilişkili CRLE modelinin iklimsel veya tava gözlemlerine dayanan sonuçlarının mevcut tekniklerin sonuçlarına uygun olduğunu belirtmiştir.

Knapp vd. (1984), Milford Gölü için kütle transfer denklemiyle tahmin edilen haftalık buharlaşma zaman serilerinin, kış ve ilkbaharda düşük, yaz ve sonbaharda yüksek buharlaşma değerleri ile yıllık bir çevrim gösterdiğini belirlemişlerdir. Ortalama olarak Haziran'dan Eylül'e kadar dört ay için toplam buharlaşmanın ortalama yıllık buharlaşmanın % 50 sinden fazla olduğunu ifade etmiştir. Haftalık buharlaşma serilerinin analizini yapmış ve tahmin edilen buharlaşmanın su sıcaklığındaki değişimlere bağlı olduğunu ifade etmiştir.

Calder ve Neal (1984), tuzlu göllerden buharlaşmanın belirlenmesi için mevcut buharlaşma denkleminde bir değişiklik yapmışlardır. Değiştirilmiş denklemin, meteorolojik şartlarda buharlaşma oranı, duyarlı ve latent ısı içerisindeki mevcut enerjinin dağılımını ve yüzey sıcaklığını vermek için çözülmüş konsantrasyonla nasıl bir ilişki olabileceğini göstermişlerdir. Denklemin çözümünü göstermek için Ölü Deniz hidrolojisinde yeni ve önerilen değişimleri bir uygulama çalışması olarak kullanmışlardır.

Morton (1986), CRLE modelinin, lokal olarak kalibre edilmiş katsayılarla ihtiyaç olmadan dünyanın herhangi bir yerinde göl buharlaşma tahminlerini elde etmek için karasal meteorolojik verilerle kullanılabilirliğini göstermiştir. Modelin

uygulanabilirliğini, Kuzey Amerika'daki 16 göl ve Doğu Afrika'daki bir göl için yapılan su bütçe tahminleri ile karşılaştırarak göstermiştir.

Warnaka ve Pochop (1988), iklimsel verileri kullanarak serbest su yüzeyi buharlaşmasının tahmininde kullanılan altı denkleme karşılaştırmışlar ve buharlaşmanın değişkenliğini ve derecesini belirleme özelliklerinin oldukça değiştiğini göstermişlerdir. Wyoming'deki iki bölge için her bir denkleme Mayıs ve Eylül aylarına ait birkaç yıl aylık tahminlerde kullanmışlardır. Aylık verilerin ortalama ve standart sapmalarını hesaplamışlar ve tava buharlaşma verilerini dikkate alarak denklemlerin sonuçlarını karşılaştırmışlar, t-testi ve regresyon analizlerini yapmışlardır.

Ikebuchi vd. (1988), Biwa Gölü'ndeki buharlaşma tahmini için, eddy korelasyon ve tava buharlaşması direk ölçüm metotları ile aerodinamik ve ısı denge indirek metotlarının sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Kıyıda 200 m uzaklıktaki bir platform üzerinde göl yüzeyi üzerinden yaklaşık 6 m yükseklikteki, yüzey suyu sıcaklığına, rüzgar hızına, hava sıcaklığına ve nem ölçümlerine bağlı olan bulk transfer metodu ile Biwa Gölü'ndeki buharlaşmanın tahminini aralıksız olarak yapmışlardır. Buharlaşmanın yıllık değişimini, ilkbahar ve yaz aylarına göre sonbahar ve kış aylarında daha büyük olarak tespit etmişlerdir.

Hanson (1989), Güneybatı Idaho'da Reynolds Creek Deneme Havzası'nda üç bölgede A sınıfı tava buharlaşmasının, güneş radyasyonu ve ortalama sıcaklığa bağlı tek bir denkleme tahmin edilebileceğini göstermiştir. Tahminleri, günlük rüzgar hızı terimini ilave ederek daha da güçlendirmiştir. Günlük buharlaşmayı, deniz seviyesinden orta yükseklikteki bölge için 7.5 mm/gün ve deniz seviyesinden en yüksek bölge için 6.5 mm/gün olarak bulmuştur. Günlük buharlaşma tahminleri düşük ve orta seviyeler için yaklaşık değerler vermiştir. Yaz aylarında oluşan buharlaşma tahminlerinin, düşük, orta ve yüksek bölgeler için sırasıyla 1.255, 1.082 ve 795 mm olduğunu belirlemiştir.

Adams vd. (1990), su sıcaklığına bağlı olan tabakalar arası ısı alışverişinin meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bundan dolayı, serbest ve güçlenmiş konveksiyonu birleştiren bir denklem geliştirmişlerdir. Buharlaşmayı oluşturan bileşenlerinin karelerinin toplamının karekökünü alarak buharlaşmayı hesaplamışlardır. Geliştirdikleri denklemin ve buharlaşma ile ilgili mevcut denklemlerin sonuçlarını Savannah Nehri ve Doğu Mesa bölgelerindeki su kütlelerinde ölçülmüş buharlaşmalarla karşılaştırmışlardır.

Hostetler ve Bartlein (1990), göl sıcaklığı ve buharlaşmadaki mevsimsel değişimi benzeştirmek için eddy difüzyon modelinin geçerliliğini test etmişlerdir. İklimsel değişimlerin sebep olduğu Harney-Malheur Gölü seviyesindeki dalgalanmaları düzenlemek için uygulanan basit bir göl seviye modeline buharlaşmanın benzeşimi için eddy difüzyon modelini girdi olarak kullanmışlardır.

Sene vd. (1991), Endonezya'daki Toba Gölü'ne ait eddy korelasyon buharlaşma ölçümlerini yapmışlardır. Bulk transfer katsayısı, Bowen oranı ve ısı akılarının ölçülmüş saatlik değerlerini vermişler ve yüksek enlemlerdeki göllerin verileri ile karşılaştırmışlardır. Gölden uzun süreli buharlaşma tahmininde metotları kalibre etmek için meteoroloji istasyonlarındaki verilerle birlikte kullanılan ölçümler vasıtasıyla bir metot ortaya koymuşlardır.

Steinhorn (1991), kütle birimindeki buharlaşma ile hacim birimindeki buharlaşmanın hem kavramsal hem de nicel olarak farklı olduğunu çeşitli fiziksel anlamlara bağlı olarak belirtmiştir.

Synder (1992), tava katsayısının belirlenmesinde, rüzgar hızına, rüzgarın etki mesafesine ve nispi neme bağlı olan bir eşitlik vermiştir. Bu eşitlik $K = 0.482 + 0.024 \ln(F) - 0.000376U + 0.0045H$ şeklindedir. Burada, F rüzgarın etki mesafesini (feç uzunluğunu), U rüzgar hızını ve H da nispi nemi göstermektedir. Söz konusu denklemin tava buharlaşmalarında kullanımını tavsiye etmiştir.

Assouline ve Mahrer (1993), Kinneret Gölü'nde yazın başlangıç ve bitiminde 20 ve 44 günlük periyotlar için eddy korelasyon sistemiyle ve enerji bütçe metoduyla belirlenen buharlaşma değerlerini karşılaştırmışlardır. Eddy korelasyon metodu ile ölçülen buharlaşma değerleri ile enerji bütçe metoduyla tahmin edilen buharlaşma değerleri arasında saatlik bazda büyük farklılıkların meydana geldiğini bulmuşlardır. Aynı zamanda bu fark günlük bazda da meydana gelmiştir. Güçlü rüzgarlarda meydana gelen buharlaşmanın belirlenmesinde enerji bütçe metodunun uygun olmadığını göstermişlerdir.

Rosenberry vd. (1993), Minnesota'daki Williams Gölü'ndeki en iyi buharlaşma tahminlerini, optimum sensör ve yerleşimi ile enerji bütçe metodunu kullanarak yapmışlardır. Daha az hassas sensörler, daha basit metotlar veya uzaktan ölçülmüş

verilerin kullanımının etkisini belirlemek için, bu iyi tahminleri temsili verilerle elde edilen tahminlerle karşılaştırmışlar ve en iyi buharlaşma tahminlerinden büyük sapmalara sebep olan üç verili temsili metotları (1) göl ısı depolama teriminin bir belirleyicisi olarak günlük ortalama yüzey suyu sıcaklığındaki değişimlerini (2) 110 km uzaklıktaki bir bölgeden kısa dalga radyasyonu, hava sıcaklığı ve atmosfer basıncını (3) yüzey suyu sıcaklığını kullanarak oluşturmuşlardır. En iyi tahminlerle oldukça iyi uyuşan buharlaşma değerlerini veren veri temsili metodu 16 bölgeden ziyade gölün bir bölgesindeki göl ısı depolama teriminin ölçümüdür. Bu temsili metodun en iyi buharlaşma değerlerine % 2 lik bir hata ile yaklaştıklarını ifade etmiştir.

Winter ve Rosenberry (1995), Minnesota'daki Williams Gölü için enerji bütçe metodu ile belirlenen buharlaşmayı, buharlaşma hesaplarında kullanılan çeşitli denklemlerin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Değiştirilmiş de Bruin-Keijman, Priestley-Taylor ve değiştirilmiş Penman denkleminin sonuçları ile, enerji bütçe metodunun sonuçlarının uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Jensen-Haise, Makkink ve Hamon denklemlerinde güneş radyasyonunu içeren uzak istasyonlardaki verileri kullanarak hesaplanan buharlaşma değerlerinin enerji bütçe metodunun değerleri ile yaklaşık olarak uygun sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Vardavas ve Fountoulakis (1996), Avustralya'da bulunan dört göl için, standart meteorolojik verilerle Penman formülünü kullanarak aylık göl buharlaşma tahmini için basit bir net ısı modeli sunmuşlardır. Model tahminleri dört göl için ortalama aylık buharlaşma ölçümleri ile iyi bir yaklaşım göstermiştir. Net ısı modelini, rüzgar ölçümlerini gerektirmeyen Priestley-Taylor ile kullanmışlar ve sonuçların gözlem sonuçları ile uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

McAneney ve Itier (1996), Priestley-Taylor formülünün nemli bölgelerdeki buharlaşmanın tahmininde kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Priestley-Taylor formülündeki α katsayısının, rüzgar hızı ve doymuluk farkına bağlı olduğunu ve günlük ortalama doymuluk farkının 10 gr/m^3 ün üzerinde olması durumunda Priestley-Taylor denkleminin uygulanabilir olduğunu ifade etmişlerdir. Bu limitin altında Penman-Monteith tahminlerinin de uygun olmadığını göstermişlerdir.

Singh ve Xu (1997a), serbest su yüzeyinden buharlaşmayı belirlemek için kütle-transfere bağlı on üç denklemin genelleştirilmiş yedi denklemle anlatılabileceğini ifade

etmişlerdir. Bu yedi denklemi Kanada'da kuzeybatı Ontario'daki dört tane iklim istasyonundan elde edilen tava buharlaşma değerleri ile karşılaştırmışlar ve karşılaştırmaların aylık buharlaşmaya bağlı olduğunu söylemişlerdir. Denklemleri, verilerin bir kısmı ile kalibre ederek ve kalan verilerle de doğruluğunu kanıtlayarak karşılaştırdıkları gibi tüm veri seti ile kalibre yaparak da karşılaştırma yapmışlardır. Karşılaştırma sonuçlarına bağlı olarak, bütün denklemlerin gözlenmiş buharlaşma ile mantıklı bir uyuma içerisinde olduğunu ve aylık buharlaşma üzerinde rüzgar hızı etkisinin az olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, bir bölge için elde edilen bir denklemin bir diğer bölgedeki buharlaşmayı hesaplamak için uygulandığında, hesaplanan buharlaşmanın gözlenmiş değerlerle iyi bir uyuma içerisinde olmadığını göstermişlerdir.

Singh ve Xu (1997b), İsviçre'nin Vaud Eyaleti'nde bir iklimsel istasyondan elde edilen aylık ve günlük verileri kullanarak, kütle transfere bağlı buharlaşma denklemleri üzerindeki veri hatalarının etkisini araştırmışlardır. Buharlaşma tahminlerini, özellikle buhar basınç gradyanına daha duyarlı, rüzgar hızına az duyarlı ve en çok sıcaklığa duyarlı olarak bulmuşlardır. Kantitatif analizden, (1) buhar basınç verilerindeki sistematik hataların, buharlaşma tahminlerini hem aylık hem de günlük problemlerde aynı büyüklüğün daha çok veya daha az ters olarak etkilediğini, (2) rüzgar hızı ve sıcaklık verilerindeki sistematik hataların, sırasıyla buhar basınç hatalarının etki büyüklüğünün yarısı ve dördte biri civarında büyüklüğün tersine buharlaşma tahminlerini etkilediğini, (3) buharlaşma tahminlerinin aylık veri durumunda tesadüfi hatalara günlük veri durumundan daha fazla duyarlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Lindsey ve Farnsworth (1997), potansiyel buharlaşmanın doğru tahmininin pek çok hidrolojik modelde önemli olduğunu ve günlük potansiyel buharlaşma tahminleri için güneş radyasyonunun girdi değişkenlerinden biri olduğunu söylemişlerdir. Güneş radyasyonunun uydu tahminlerini, diğer ölçülen ve tahmin edilen güneş radyasyonunun ortalamaları ile karşılaştırmışlardır. Potansiyel buharlaşmanın tahmininde gökyüzünden ve güneşlenme saatinden elde edilen güneş radyasyonunun yerine uydudan tahmin edilen güneş radyasyonunun kullanılmasını önermişlerdir.

dos Reis ve Dias (1998), hava sıcaklığı, nem, rüzgar hızı ve yönü, güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu, aylık su sıcaklık değişimlerini dikkate alarak enerji bütçe Bowen oranı (EBBR) metoduyla ve CRLE (Complementary Relationship Lake Evaporation)

iklimsel modelini kullanarak Brezilya'da bir rezervuarda buharlaşma tahminlerini yapmışlardır. CRLE modelinin, buharlaşma tahminlerinin temeli olan Priestley-Taylor denkleminin artan duyarlı ısı akısı şartları altında çok iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. CRLE ve EBBR metodunu karşılaştırmışlar ve CRLE modelinin depolanmış entalpi değişim oranının tahminlerinde uygun sonuç vermediğini ifade etmişlerdir. Aynı zamanda 30 aylık periyot esnasında meydana gelecek buharlaşmayı % 8 fazla olarak hesapladığını bulmuşlardır.

Klaassen vd. (1998), tutulan yağışı genellikle orman içindeki ve dışındaki yağış ölçümleri arasındaki fark olarak tanımlamışlardır. Böyle ölçümleri yağış esnasında su depolaması ve buharlaşma arasındaki farkı görmek için kullanmışlardır. Sık kozalaklı ormanlardaki gözlemlerden, su depolamasının yağışın tutulmasında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonucun diğer ormanlar ve iklimler için genelleştiremez olduğunu söylemişlerdir. Su depolaması ve buharlaşmanın direk gözlemlerinin, bitki tiplerinin, yağış tutma çalışmalarında dikkate alınması gerektiğini tavsiye etmişlerdir.

Xu ve Singh (1998), çalışmalarını iki kısma ayırmışlardır. İlk kısımda, güneş radyasyonu, buhar basınç farkı, nisbi nem, rüzgar hızı ve hava sıcaklığını içeren beş büyük faktörü, İsviçre'de bulunan Changines istasyonundan elde edilen verileri kullanarak farklı zaman ölçeklerinde karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeyi saatlik, günlük, 10 günlük ve aylık zaman ölçeklerinde yapmışlardır. Buharlaşmayı kontrol eden değişkenlerin rolünün zaman ölçeklerinde değiştiğini ifade etmişlerdir. Zaman periyodunun özellikle bir günden daha uzun olduğu durumlarda, rüzgar hızı tava buharlaşması ile en az ilişkiye sahip olurken, buhar basınç farkının bütün zaman ölçeklerinde tava buharlaşması ile en iyi ilişkiye sahip olduğunu görmüşlerdir. İkinci kısımda, sıcaklığa bağlı, neme bağlı, kütle transfere bağlı ve radyasyona bağlı buharlaşma metodlarını içeren dört denklemi tava buharlaşması ile karşılaştırmışlardır. Bu dört denklemden kütle transfer metodunu temsil eden Penman denkleminin tava buharlaşma değerleri ile çok yakından uyuşan aylık buharlaşma denklemleri ile sonuçlandığını görmüşlerdir. Aynı zamanda, nem metodunu temsil eden Romanenko denkleminin de tava buharlaşması ile oldukça iyi olduğunu ve radyasyona bağlı olan Turc denkleminin ve sıcaklığa bağlı olan Thornthwaite denkleminin özellikle soğuk aylarda önemli derecede aşağıda tahminler verdiğini bulmuşlardır.

Burt ve Shahgedanova (1998), potansiyel ve gerçek buharlaşma kayıplarının zaman serilerini ve yağış ve buharlaşma arasındaki farklılıkları vermişlerdir. Bu zaman serilerini 1815’de başlayan günlük gözlemlerin mevcut olduğu Radcliffe Meteorolojik İstasyonu için sıcaklık ve yağış kayıtlarını kullanarak hesaplamışlardır. Son yıllarda potansiyel buharlaşma kayıplarının, uzun dönem ortalamalarının üzerinde olduğunu göstermişlerdir.

Yin ve Nicholson (1998), Victoria Gölü’nün su dengesini belirlemişlerdir. Buharlaşmanın tahmininde Penman ve enerji denge yaklaşımını kullanmışlar ve duyarlılık analizini yapmışlardır. Göl üzerindeki bulutluluğun % 50 den % 30 a değişim göstermesi durumunda yaklaşık olarak buharlaşmanın % 30 arttığını belirlemişlerdir. Böylece göl su dengesi belirlemelerinde yağış ve akış gibi meteorolojik ve hidrolojik parametreler kadar yeterli bulut verilerine de ihtiyaç olduğunu söylemişlerdir.

Adsak vd. (1998), hacim denge metodunu, sağanak, akış ve kayıp ölçümleri için kullanmışlardır. Yağış esnasında ve sonrasında buharlaşma oranını, direk girdi olarak belirlenen mikroklimatik ve örtü yapısını dikkate alarak değiştirilmiş Penman denkleminin dayanan bir enerji denge metodu ile hesaplamışlardır. Araştırma alanındaki ıslak bölgelerden meydana gelen buharlaşmanın, radyoaktif enerjiden ziyade adveksiyon enerjisinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Adveksiyon enerjisinin örtülü alanlarda oldukça önemli olduğunu, Priestley-Taylor denkleminin bu alanlarda buharlaşmanın belirlenmesinde uygun olmadığını ifade etmişlerdir.

Jacobs vd. (1998), buharlaşma tavaasının enerji bütçesini modelleyerek ve deneylerle A sınıfı buharlaşma tavaasının termal davranışını araştırmışlardır. Günlük çevrim boyunca su sıcaklığının çok fazla veya çok az homojen kaldığını gözlemlere dayanarak göstermişlerdir. Bu tipik termal davranışı düşük hızlı rüzgar şartlarında gözlemişlerdir. Bir boyutlu model simülasyonlarının deney sonuçları ile iyi uyduğunu ve bununla birlikte, model simülasyonlarında tavanın kenarlarına bağlı olarak meydana gelen türbülansın düzeltilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Stewart vd. (1999), Kuzeybatı Meksika üzerindeki uydu ile elde edilen verilerden gelen güneş radyasyonunu tahmin etmişlerdir. Gelen güneş radyasyonunun yere-bağlı ölçümleri ile yapılan karşılaştırmaların özellikle az bulutlu aylarda uygun sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Otomatik hava istasyonlarından elde edilen verileri, gelen

güneş radyasyonu ve sıcaklığın iklimsel değerlerine bağlı bir formül ile potansiyel buharlaşmayı tahmin etmek için kullanmışlardır. Bu formülün başarısını, Penman, Penman-Monteith ve net radyasyon ölçümlerini kullanarak tahmin ettikleri potansiyel buharlaşma değerleri ile karşılaştırmışlardır.

Choudhury (1999), $E=P_a/[1+(P_a/Rn)^{\alpha}]^{1/\alpha}$ formülü ile farklı tiplerde bitki örtüsüne sahip sekiz bölgedeki gözlemleri dikkate alarak yıllık buharlaşmayı (E) hesaplamıştır. Ampirik denklemlerden buharlaşmayı tahmin etmede atmosfer basıncı (P_a) ve güneş radyasyonundaki (Rn) uzamsal varyansların etkisi, alan gözlemleri ve nehir havzaları için α nın değerindeki farklılıkların nedenini araştırmıştır.

Xu (1999), parametre tahmin probleminin, ölçeksiz havzalarda kavramsal havza modellerinin uygulamalarının başarılı olmasına büyük engel teşkil ettiğini söylemiştir. İklimsel ve coğrafik alanların çeşitliliğini kapsayan havzalardan nehir akışını simule eden kavramsal su denge modelinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu model İsveç'in merkezinde mevsimsel olarak kar kaplı 26 havzaya uyguladıkları 6-parametrelili bir su denge modelidir. Bu modeli bir grup havza üzerinde kalibre etmiş ve kalibre ettiği parametre değerlerini fiziksel havza indisleri ile ilişkilendirmiştir. Bu ilişkileri, regresyon analizini içermeyen dört havzadan gözlenmiş ve simule edilmiş akış kayıtları ile karşılaştırarak test etmiştir. Bu modelin çalışma bölgesindeki ölçeksiz havzalara uygulanabileceği sonucuna varmıştır. Modelin fiziksel ilişkisini daha geniş şartlarda test etmek için, modeli alışılmış kar olayını hariç tutarak değiştirmiştir. Sonuçta değiştirdiği modeli ve aynı tekniği, kuzey Belçika'daki 24 havza üzerinde test etmiş ve elde edilen sonuçları yeterli bulmuştur.

Asmar ve Ergenzinger (1999), değiştirilmiş Penman modelini tuzluluk, nem, hava sıcaklığı ve rüzgar hızını dikkate alarak Ölü Deniz'deki buharlaşma tahmininde kullanmışlardır. Ölçümlerle karşılaştırıldığında uygun sonuçların elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca tuzluluğa bağlı buharlaşma tahmini için bir ilişki vermişlerdir.

Oround (1999), dinamik değişikliklere maruz kalan aktivite katsayılarının tuzlu solüsyonlarından olan buharlaşma ve buharlaşmadaki sıcaklık davranışını araştırmak için bir yöntem vermiştir. Aktivite katsayısındaki değişiklikler ile ilgili sıcaklık değişiminin su buharı ve duyarlı ısı için geçiş katsayıları ve tuzlu solüsyonların sıcaklığındaki doygun buhar basıncının bir fonksiyonu olduğunu bulmuştur. Önerilen

yöntemi Ölü Deniz'e uygulamışlar ve Ölü Deniz'de mevcut buharın 1960 dan önceki dönemlerde yaklaşık 175 mm/yıl daha az olduğunu göstermişlerdir.

Sartori (2000), buharlaşma ile ilgili literatürlerde mevcut olan denklemleri irdelemiş ve uygulamalarda rasgele kriterler olarak kullanıldığını belirtmiştir. Pek çok kriteri göz önüne alarak sınıflandırma yapmış ve benzer denklemlerin yakın sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Tava buharlaşmasının, yüzey uzunluğuna ve kütle transfer oranına bağlı olarak büyük bir su yüzeyi buharlaşmasında farklılıklar meydana getirebileceğini ifade etmiştir.

Bruton vd. (2000a), otomatik ve manuel tava buharlaşma ölçümlerini karşılaştırmışlardır. Georgia Otomatik Çevresel Ölçüm Ağı'nın A sınıfı buharlaşma tavelarındaki su yüksekliğinin 15 dakikalık ortalamalarından hesaplanan günlük tava buharlaşma ölçümlerini National Weather Service istasyonlarında toplanan günlük tava buharlaşması verileri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalar için Griffin ve Watkinsville'deki istasyonları seçmişlerdir. Priestley-Taylor denklemini kullanarak potansiyel evapo-transpirasyonun tahminini yapmışlardır. Otomatik gözlemlerden günlük buharlaşma değerinin, manuel gözlemlerden genellikle daha düşük değerler verdiğini göstermişlerdir. Priestley-Taylor yaklaşımı ile hesaplanan tava buharlaşma değerlerinin manuel gözlemlere genellikle daha yakın çıktığını ve otomatik ve manuel gözlemler arasındaki farkın ölçüm sensörlerinden oluşabileceğini belirtmişlerdir.

Xu ve Singh (2000), buharlaşmayı belirlemek için radyasyona bağlı sekiz denklemi beş farklı şekilde genelleştirmişlerdir. Genelleştirilen denklemlerin sonuçlarını İsviçre'de Changing istasyonunda ölçülmüş tava buharlaşma değerleri ile karşılaştırmışlardır. Mevsimsel ve aylık buharlaşmalar için Hargreaves ve Turc denklemlerinin özellikle soğuk aylar için iyi bir eğilim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, Makkink ve değiştirilmiş Priestley-Taylor denklemleri için uygun katsayılar kullanıldığında tava buharlaşma değerlerine yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, radyasyon hariç diğer meteorolojik veriler mevcut olduğu zaman basit Abtew denkleminin kullanılabilirliğini söylemişlerdir.

Kite ve Droogers (2000), alan verilerine, hidrolojik verilere ve uydu verilerine dayanan gerçek buharlaşma ve terlemeyi tahmin etmede kullanılan sekiz farklı metoda ait deneysel bir çalışma yapmışlardır. Her bir metodun sonuçlarını karşılaştırmışlar ve

farklı koşullar için farklı metotların uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Uydu metotları ve FAO-24 metotlarının oldukça büyük değişkenliğe sahip olduğunu belirtmişler ve FAO-56 modelleri ile alan metotlarının oldukça kararlı olduklarını ifade etmişlerdir.

Chock ve Winkler (2000), yörünge-ağ metodunu yoğunlaşma-buharlaşma denklemlerinin çözümüne uyarlamışlardır. Bu denklemin çözümünde sıkça kullanılan Bott şeması ile karşılaştırdıklarında, metodun oldukça doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Biftu ve Gan (2000), 1996-1997 yaz aylarına ait meteorolojik veriler kullanarak Paddle akarsu havzasındaki farklı bölgelerdeki saatlik evapo-transpirasyonun (ET) tahmini için Penman-Monteith, değiştirilmiş Penman ve iki-kaynaklı (two source) modelleri kullanmışlardır. Orman ve ziraat alanlarındaki ET nin hesaplanması için Penman-Monteith modelinin uygun olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte Penman-Monteith modelinin örtülü alanlarda meydana gelen toplam ET değerlerinin kısmen altında değerler verdiğini söylemişlerdir. Değiştirilmiş Penman modeli gün esnasında saatlik ETnin altında değerler verirken sabah erken saatlerde ve öğleden sonra geç saatlerde üzerinde değerler verdiğini ve iki kaynaklı modelin havza su dengesinden elde edilen ET ile uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Abtew (2001), su yüzeyinden meydana gelen buharlaşma için geliştirdiği basit modellerin, güneş radyasyonu veya güneş radyasyonu ve maksimum hava sıcaklığında günlük göl buharlaşması tahmininde kullanılabileceğini önermiştir. Bu modelleri yedi adet buharlaşma metodu ile karşılaştırarak uygulanabilirliklerini göstermiştir. Önerilen basit modeller ile Okeechobee Gölü'nün günlük buharlaşmasının hesaplanabileceğini belirtmiştir.

Vallet-Coulomb vd. (2001), Afrika'da Ziway Gölü'ne ait buharlaşma tahminlerini 30 yıla ait aylık hidrometeorolojik veriler kullanarak yapmışlardır. Buharlaşma tahmininde, Bowen oranını 0.15 kabul ederek enerji denge metodunu, Penman metodunu ve CRLE modelini kullanmışlardır. Bu modellerin duyarlılık analizlerini yapmışlardır.

Sepaskhah ve Andam (2001), yarı kurak iklimdeki susam bitki katsayısını belirlemek için buharlaşma ve terlemenin tahmininde Penman denklemini kullanmışlardır. Buldukları katsayının literatürlerde bulunan değerlere yakın olduğunu belirlemişlerdir.

Iziomon ve Mayer (2001), buluta ve güneşlenmeye bağlı ampirik güneş radyasyonu modellerini, ova ve dağ bölgeleri için uygulamışlardır. Uygulama alanının özelliklerine göre model parametrelerini düzenlemişlerdir. Güneşlenmeye bağlı Angström-Prescott ilişkisini kullanarak tahmin edilen aylık ortalama güneş radyasyonunun ölçümler ile uyum içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Aynı zamanda buluta bağlı Kasten modelinin de uygun sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Angström-Prescott ilişkisine hava kütlesi, enlem ve su buharı terimlerinin ilavesiyle elde edilen tahminlerin uygun olmadığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, güneşlenmeye bağlı Garg ve Garg modelleri kadar Angström-Prescott modelinin de çalışma bölgeleri için küçük ortalama karesel hatalar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Jiang ve Islam (2001), Priestley-Taylor denkleminde ve uzaktan algılama ile kullanarak belirlenen yüzey sıcaklığı ve bitki indeksi arasındaki ilişkiye bağlı bir yöntem kullanarak heterojen alanlar üzerinde meydana gelen yüzey buharlaşmasını belirlemek için basit bir metot sunmuşlardır. Önerdikleri metodun orijinal Priestley-Taylor metodundan daha iyi sonuçlar verdiğini ve sonuçta, metodun yere bağlı verilerin kolayca elde edilemediği büyük alanlar üzerindeki buharlaşmanın tahmini için çok uygun ve kolaylıkla uygulanabilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Hupet ve Vanclooster (2001), evapo-transpirasyonun tahmininde yaygın olarak kullanılan ölçülmüş iklim değişkenlerinin zamansal örnekleme frekansının etkisini araştırmışlardır. Altı aylık periyot esnasında yoğun bazda örneklenmiş veri setini kullanarak kısa dalga radyasyonu, rüzgar hızı, kuru ve ıslak sıcaklıkların günlük ortalamasının tahminleri, max ve min günlük kuru sıcaklık tahmini üzerinde zamansal örnekleme frekansının analizini ve çok duyarlı meteorolojik değişkenleri belirlemek için evapo-transpirasyon modelinin duyarlılık analizini yapmışlardır. Sonuçta, kara yüzeylerindeki ısı akısının tahmini için iklim değişkenlerinin örnekleyici frekansını uygun olarak programlamanın önemine işaret etmişlerdir.

Xu ve Singh (2001), Kanada'da kuzeybatı Ontario'da bulunan iki iklimsel istasyondaki buharlaşmayı belirlemek için her biri kendine özgü olan yedi sıcaklığa bağlı denklemi değerlendirmişler ve tava buharlaşması değerleri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmaları ilk olarak her bir denklemdeki orijinal sabit değerlerle ve daha sonra da kalibre ettikleri değerlerle yapmışlardır. Orijinal sabit değerler kullanıldığı zaman her iki istasyonda bu denklemlerin çoğu için daha büyük eğilimlerin olduğunu ve kalibre

değerler kullanıldığında, yedi denklemden altısının her iki istasyon için geliştirilmiş olduğunu ifade etmişlerdir. Bölgesel olarak kalibre edilmiş parametre değerlerini kullandıklarında, bütün denklemlerin ortalama mevsimsel buharlaşma değerlerini iyi belirlediklerini söylemişlerdir. Aylık buharlaşma değerleri için, değiştirilmiş Blaney-Criddle metodunun her iki istasyonda da bütün aylarda en küçük hatayı verdiğini, bu metodu Hargreaves ve Thornthwaite metotlarının izlediğini ve Linacre, Kharrufa ve Hamon metotlarının her iki istasyon için Eylül ayında önemli bir eğilim göstermiş olduğunu ifade etmişlerdir. Kusursuz olarak belirlenen sabit değerlerle değiştirilen Blaney-Criddle, Hargreaves ve Thornthwaite metotlarının çalışma bölgesinde buharlaşma tahmini için tavsiye edilebileceğini belirtmişlerdir.

McKenzie ve Craig (2001), Orange Nehri'ndeki buharlaşma kaybının hesabı için enerji denge metodunu kullanmışlardır. Bu metottan buldukları sonuçları tava değerleri ile karşılaştırmışlar ve benzer sonuçlar olduğunu bulmuşlardır. Orange Nehri'nde meydana gelen buharlaşma kayıpları arasındaki farkın akıma bağlı su yüzeyi alanı ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir.

Hashino vd. (2002), Shirakawatani deneme havzasından elde edilen veriler ile önleme oranı ve yağış yoğunluğu, önleme oranının yağış yoğunluğuna oranı ve potansiyel buharlaşma, toplam önleme kaybı ve toplam yağış arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Yapılan regresyonda önleme işlemlerinin yağış yoğunluğu ve potansiyel buharlaşma ile tanımlanabileceğini göstermişlerdir. Önleme oranının net radyasyonu aştığını göstermek için Penman-Monteith denklemindeki aerodinamik direnç ile yağış yoğunluğunu ilişkilendiren bir denklem vermişlerdir.

Cohen vd. (2002), İsrail'deki Bet Dagan'da 1964-1998 yılları arasında yapılan buharlaşma ölçümlerinin analizi sonucunda özellikle kurak yaz aylarında yerinde ölçüm yapılan A sınıfı tava buharlaşmasında önemli bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Penman'ın birleştirilmiş ısı dengesi ve aerodinamik denklemi ile tahmin edilen buharlaşma veya buharlaşma-terlemede bir değişimin olmadığını bulmuşlardır. Bunun sebebinin radyasyon denge terimindeki azalmaların aerodinamik terimdeki artışlarla dengelendiği için olduğunu ifade etmişlerdir. Potansiyel buharlaşmadaki azalmaların, global ısınmadan dolayı atmosferik nem çevrim oranında bir artıştan ziyade global belirsizliklerin neticesinde olduğunu göstermişlerdir.

Finch ve Gash (2002), tanımlanmış olan basit bir sonlu farklar modelinin sonuçlarını, Güneydoğu İngiltere’de bir rezervuardan ölçülmüş su sıcaklığı ve buharlaşma değerleri ve bir denge sıcaklık modelinin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Yeni model ile tahmin edilen değerlerin ölçülmüş değerlere, denge sıcaklık modelininkinden daha yakın olduğunu ve sonlu farklar modelinin daha basit bir formülasyonunun, daha büyük miktarda gerekli hesaplamaların dezavantajlarını dengelediğini belirtmişlerdir.

Xu ve Singh (2002), çeşitli evapo-transpirasyon denklemlerini kütle-transfere, radyasyona ve sıcaklığa bağlı metotlar olmak üzere üç kategoriye ayırıp, çalışma bölgeleri için her kategorinin en iyi ve en kötü denklemlerini belirlemişlerdir. Her bir kategoriden seçilen en iyi veya temsili denklemlerin çapraz karşılaştırmasını yapmışlardır. Bu kategorilerden seçilen Hargreaves ve Blaney-Criddle (sıcaklığa bağlı), Makkink ve Priestley-Taylor (radyasyona bağlı) ve Rohwer (kütle-transfere bağlı) denklemlerini değerlendirmişler ve bu denklemleri İsviçre’de bulunan Changins istasyonundan elde edilen günlük meteorolojik verileri kullanarak Penman-Monteith denklemi ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmaları ilk önce her bir ampirik denklemde bulunan orijinal sabit değerler ile daha sonra da kalibre edilmiş değerler ile yapmışlardır. Çalışmalarında, (1) Priestley-Taylor denklemindeki $\alpha=1.26$ değerinin çok yüksek olduğunu ve bölge için kalibrasyondan sonra $\alpha=0.90$ değerinin bulunması haricinde her bir ampirik denklemdeki orijinal sabit değerlerin çalışma bölgesi için oldukça iyi olduğunu (2) k parametresini belirlemede bir geçiş periyodunun ilavesiyle Blaney-Criddle metodu için bir gelişme sağlandığını (3) her bir kategoriden seçilen en iyi denklemlerin arasında performans farklılıklarının olduğunu ifade etmişlerdir. Penman-Monteith metodu ile karşılaştırdıklarında denklemleri doğruluk sırasına göre Priestley-Taylor ve Makkink, Hargreaves ve Blaney-Criddle ve Rohwer olarak sıralamışlardır.

Grismer vd. (2002), altı farklı tava katsayısı denkleminin performanslarını, FAO-24 (United Nations Food and Agricultural Organization publication) tablosunu kullanarak orijinal veri tablosu oluşturma konusunda değerlendirmişlerdir. Referans evapo-transpirasyonun (ET_0) buharlaşma tavaşı ve Kaliforniya Sulama İşletimi ve Bilgi Sistemi’ne bağlı tahminlerini, Sacramento ve San Joaquin vadilerinde bulunan ortalama nem sınırları (%48-66) ve ortalama rüzgar hızına sahip istasyonlar için ve daha büyük ortalama neme (%71) sahip Kaliforniya Ventura yakınında kıyasal bir istasyon (Point

Heuneme) için karşılaştırmışlardır. Ortalamalar, standart sapmalar, ortalama karekök hataları ve lineer regresyon katsayıları karşılaştırıldığında, altı denklemden beşi ile FAO-24 tablosu gibi yaklaşık olarak aynı doğrulukta orijinal tablo oluşturmuşlardır. Cuenca, Allen-Pruitt ve Snyder K_p denklemlerini yedi bölgede ortalama ölçülmüş ET_0 a yaklaştırırken, her bir K_p nin kullanımı ile kıyı bölgesinde ölçülmüş ET_0 ı biraz aşağıda tahmin etmişlerdir.

Şorman (2002), Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) teşkilatlarının katılımları ile tamamlanmış olan Tübitak (INTAG 830) tarafından desteklenen projede, Van Gölü Su Bütçesi oluştururken Van Gölü kıyısında kurulan meteorolojik rasat parkından elde edilen verileri kullanmıştır. Enerji denklemlerini kullanarak göldeki buharlaşma değerlerini 1999 ve 2000 yılları için hesaplamış ve tava buharlaşma değerleri ile karşılaştırmıştır. Ayrıca, göle karışan nehir akımları, göl hacmindeki değişiklikler ve göl aynasına düşen ortalama yağışların katılması ile su bütçesinin oluşmasını sağlamıştır. 1993 yılında göl seviyesinde 68.7 cm lik bir su yüzeyi artışı görülmesine karşın 2000 yılında 50 cm lik bir azalma olduğunu ifade etmiştir. 1996 yılından sonra yağış ve akış değerlerinde azalmaların olduğu bunların yanında göl buharlaşma değerlerinde % 45 lere varan artışlar nedeni ile göl seviyesinde düşmeler gözlemlendiğini belirtmiştir.

2.1. Yapay Sınır Ağları ile İlgili Çalışmalar

Ranjithan vd. (1993), hidrolik iletkenliğin konuma bağlı değişkenliğinden dolayı meydana gelen belirsizliğin uygun yeraltısu stratejilerinin tasarımında önemli olduğunu belirtmişlerdir. Hidrolik iletkenlik değerlerinin konuma göre dağılımını ve düzenlenmesini, iletkenlik değerlerinin değişim derecesinin belirlenmesinde önemli iki özellik olarak ifade etmişlerdir. Bu iki parametreyi dikkate alan gözlemlere dayalı bir YSA modeli kurmuşlar ve yeraltısu işletim modelinde uygulanabilirliğini ortaya koymuşlardır.

Rogers ve Dowla (1994), lineer olmayan yeraltısu işletim modeli için YSA metodu yardımıyla akifer iyileştirmesini optimize eden yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yeni yaklaşımda optimum işletim çözümleri ilk olarak akış ve çıkışları tahmin etmek için YSA modelini eğitip, daha sonra eğitilen YSA modelini kullanarak optimum işletim şeklini ortaya koymuşlardır. YSA modelinin eğitiminde geriye yayılma algoritmasını

kullanmışlardır. Sonuç olarak, YSA yaklaşımının diğer mevcut modellere göre, akış ve geçiş kodunun optimizasyonundan bağımsız olduğu, hidrojeolojinin etkisi, daha az hesaplama zamanı gibi avantajlara sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Maier ve Dandy (1996), su kalitesi parametrelerinin tahmininde YSA metodunu kullanmışlardır. Uygulamada Murray Nehir'indeki tuzluluğu tahmin etmişlerdir. Neural-Works Professional II/Plus programını kullanarak elde ettikleri tahmini tuzluluk değerleri ile ARMA modelinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sonuçta, YSA modelinin akarsulardaki tuzluluk tahmininde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Mason vd. (1996), drenaj sistemlerinde akışların ve yağış-akışın modellenmesinde YSA yaklaşımını kullanmışlardır. YSA metodunda öğrenme yöntemlerinden olan geriye yayılım algoritması ve radyal tabanlı fonksiyonları karşılaştırmışlardır. Geriye yayılım algoritmasının çok yavaş olduğunu, bununla birlikte radyal tabanlı fonksiyonun uygun veri sınıflandırma tekniği ile kullanıldığında oldukça iyi sonuçların elde edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Dawson ve Wilby (1998), gerçek hidrometrik verileri kullanarak taşkına maruz iki havzadaki akış tahmini için YSA metodunu kullanmışlardır. YSA modelinin ve mevcut taşkın tahmin yöntemlerinin performansı arasında karşılaştırmalar yapmışlardır. Sonuçta, YSA modelinin taşkın tahmin modellerine alternatif bir model olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mohandes vd. (1998), yapay sinir ağı teknikleri ile rüzgar hızını tahmin etmeye çalışmışlar ve otoregresif modelle performansını karşılaştırmışlardır. İlk olarak, Suudi Arabistan'ın Jeddah kentinde, ortalama aylık ve günlük rüzgar hızının istatistiksel özelliklerini çalışmışlardır. Otokorelasyon katsayılarını hesaplamışlar ve korelasyon fonksiyonunu ortalama rüzgar hızının gerçek günlük varyasyonu ile uyumlu bulmuşlardır. Stokastik zaman seri analizini, ortalama aylık tahmin için bir ay ve ortalama günlük rüzgar hızı tahmini için bir gün gecikme ihtiva eden otoregresif modellerin tanımlanması için uygun olarak bulmuşlardır. Test verilerinin sonuçlarına göre, YSA yaklaşımının, tahmin grafiği ve ortalama karekök hatası ile gösterilen otoregresif modelinden uzak tahminler verdiğini göstermişlerdir.

Baylar vd. (1999), dolu gövdeli bağlamalarda, ayırma duvarının etkisini dikkate alarak yanal su alma yapısına yönelecek olan sürüntü maddesi oranını geriye yayılmalı yapay sinir ağı yöntemi ile tespit etmişlerdir. Problemin eğitim setinde DSİ (1989) tarafından yapılan deney sonuçlarını kullanmışlardır. Problemin değişkenlerini ağa normalizasyon tekniği ile tanıtmışlardır. Sonuç olarak, YSA hesaplamalarının inşaat mühendisliğinde karar verme ve tasarım için alternatif bir çözüm olduğunu ifade etmişlerdir.

Campolo vd. (1999a), Floransa şehrinin mansabında Arno Nehir'indeki kirlenmenin düşük akım periyotları esnasında ciddi bir çevre problemi olduğunu ve düşük akım periyotları esnasında akım hızının tahmin edilmesinin su kalitesi çalışmalarında önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Altı güne kadar akım hızını tahmin etmek için bir sinir ağı modeli vermişlerdir. Girdi olarak havzanın ortalama yağış ölçümlerini, su seviyesini ve hidroelektrik üretim verilerini kullanmışlardır. Su kalitesinin belirlenmesinde bu modelin kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir.

Campolo vd. (1999b), İtalya'daki Tagliamento Nehir'inin şiddetli yağış esnasındaki davranışını analiz ve tahmin etmek için bir sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Modelde girdi olarak yağış ölçüm verilerini kullanmışlar ve akarsuyun su seviyesini tahmin etmişlerdir. Bir saatlik veriler kullanıldığında model tahminlerinin çok doğru olduğunu belirtmişlerdir. Model performansının beş saate kadar uygun olduğu ve bu zaman limitinin aşılması halinde uygun olmadığını ifade etmişlerdir.

Sajikumar ve Thandaveswara (1999), geçici geriye yayılım sinir ağı olarak (TBP-NN) adlandırılan bir YSA modelini, aylık yağış-akışların modellenmesinde kullanmışlardır. Lee ve Thuthapuzha Nehirlerinin verilerini kullanarak Volterra-type Fonksiyonel Seri Modellerinin sonuçları ile YSA modellerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sonuçta, TBP-NN modelinin uygunluğunu göstermişlerdir.

Zealand vd. (1999), kısa süreli yüzeysel akış tahmini için YSA yaklaşımının kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar ile mevcut yaklaşımların sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Ayrıca girdi verilerinin tipini, gizli tabakanın boyutunu ve sayısını irdelemişler ve YSA yaklaşımını, Kuzeybatı Ontario'daki Winnipep Nehir sisteminin bir kesimine uyarlamışlar ve sonuçların uygunluğunu görmüşlerdir.

Tokar ve Johnson (1999), Maryland'da Little Patuxent Nehri havzasında günlük yağış, sıcaklık ve kar erimesi verilerini kullanarak günlük akışı tahmin etmek için YSA metodunu kullanmışlardır. Eğitim verilerinin çeşitliliğine ve miktarına bağlı olarak tahmin doğruluğunu araştırmışlardır. İstatistiksel regresyon ve mevcut modellerle elde ettikleri sonuçları YSA modelinin sonuçları ile karşılaştırmışlar ve YSA modelinin çok sistematik bir yaklaşım sağladığını, kalibrasyon verilerinin uzunluğunu indirgediğini ve modellerin kalibrasyonunda harcanan zamanı azalttığını belirlemişlerdir.

Dibike vd. (1999), YSA metodunun birkaç mevcut tipinin ve şeklinin, sayısal hidrolik modellerin kapsüllenmesine uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Sonuçta, genel hidrolik bilgi ve bölgesel verilerin sayısal hidrolik kapsüllenmelerinin oldukça uygun YSA kapsüllenmelerini tanımlayanlardan birisi olduğunu belirtmişlerdir.

Sfetsos ve Coonick (2000), yatay yüzeylere gelen ortalama saatlik global güneş radyasyonunun tahmini için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Geleneksel lineer modellere ilaveten yapay zekaya bağlı bir çok tekniği çalışmışlardır. Bu teknikler lineer, ileri bildirim, yinelenen Elman ve radyal tabanlı sinir ağlarıdır. Problemi başlangıçta tek değişkenli durum için araştırmışlar ve optimum model tahmin işleminde ilave meteorolojik parametreler dahil ederek genişletmişlerdir. Geliştirilmiş yapay zeka modellerinin, açıklık indeksine bağlı geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında etkili bir şekilde güneş radyasyonu zaman serilerini tahmin ettiği sonucuna varmışlardır. Bazı modellerin tahmin edebilme kabiliyetlerini, ilave meteorolojik parametrelerin kullanımı ile arttırabileceklerini söylemişlerdir.

Luk vd. (2000), kentsel bir havzada kısa zamanlı yağış tahmini için YSA yaklaşımını kullanmışlardır. Lineer aktivasyon fonksiyonunu kullanarak kısa süreli yağış tahmininde, zaman ve konum faktörünün etkisini araştırmışlardır. Bunun için, tahmin edilen değerlerin doğruluk derecesini belirlemede, farklı sayıda yersel girdi ve gecikme zamanlarını içeren YSA modelleri kullanmışlardır. Sonuçta, YSA modellerinin kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Coulibaly vd. (2000), gerçek zamanlı rezervuar giriş akımının tahmini için ileri beslemeli sinir ağı (FNN) metodunun uygulanabilirliğini araştırmışlardır. FNN eğitiminde hem Levenberg-Marquart geriye yayılım (LMBP) hem de çapraz-doğrulama tekniklerini kullanmışlardır. FNN modelini Kuzey Kanada'da Chute-du-Diable

hidrolik sisteminde çok değişkenli hidrolojik zaman serilerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Modelin sonuçları ile istatistiksel ve kavramsal model sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda önerilen FNN modelinin sonuçlarının etkili olduğunu göstermişlerdir.

Imrie vd. (2000), yüzeysel akışları tahmin etmek için YSA modellerini kullanmışlardır. Mevcut metotlarla YSA modellerinin sonuçlarını karşılaştırmışlar ve YSA'nın uygun sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. YSA modelinde geliştirilmiş kademeli korelasyon öğrenme mimarisini kullanmışlardır. Geliştirilmiş olan bu mimari sonuçları ile standart hata geri yayılma algoritmasının sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Farklı aktivasyon fonksiyonları ile YSA modellerinin uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Mohandes vd. (2000), çalışmalarında yatay yüzeylere düşen güneş radyasyonunun aylık ortalama günlük değerlerinin tahmini için radyal tabanlı fonksiyonları kullanmışlar ve çok tabakalı algılayıcı ağı ve klasik regresyon modelleri ile karşılaştırmışlardır. Suudi Arabistan'da bulunan 41 istasyondan alınan güneş radyasyonu verilerinden 31 istasyonun verilerini sinir ağlarını eğitmek için kalan 10 istasyondan alınan verileri de test etmek için kullanmışlardır. Bununla birlikte, bilinmeyen bölgelerde sistemin performansını göstermesi için test verilerinin ağların modellenmesi veya eğitiminde kullanılmayacağını ifade etmişlerdir. Bu tür problemlerde radyal tabanlı fonksiyonun uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Bruton vd. (2000b), girdi olarak ölçülmüş hava değişkenlerini kullanarak günlük tava buharlaşmasını belirlemek için bir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Model girdileri olarak günlük yağış, sıcaklık, nispi nem, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı ölçümlerini kullanmışlardır. Ayrıca günlük tava buharlaşmasını, çoklu lineer regresyon ve Priestley-Taylor metodunu kullanarak tahmin etmişlerdir. Bu modellerin sonuçları ile YSA modellerinin sonuçlarını karşılaştırmışlar ve YSA modelleri ile tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin, çoklu lineer regresyon modeli ve Priestley-Taylor metodu ile tahmin edilen tava değerlerinden daha iyi olduğunu göstermişlerdir.

Cıgızoğlu (2001), YSA metodunun su kaynakları mühendisliğindeki uygulamalarını kısaca anlatmış ve bazı uygulamalı örnekler vermiştir. Geçmişteki askı sediment konsantrasyon değerlerini kullanarak sonraki sediment konsantrasyon değerlerini tahmin etmiştir. Daha sonra nehir akım değerlerini girdi olarak kullanmış ve sediment

konsantrasyon değerlerini tahmin etmeye çalışmıştır. Sonuçların uygun olduğunu göstermiştir.

Sırdaş vd. (2001), YSA metodunu atmosfer bilimlerindeki yağışlı ve yağışsız günlerin sınıflandırılması probleminde kullanmışlardır. YSA metodunun donanım kolaylığının yanında diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar elde ettiğini belirtmişlerdir.

Khalil vd. (2001), kaybolan hidrolojik verilerin tahmininde gruba bağlı sinir ağı modelini kullanmışlardır. Gruba bağlı veri yaklaşımı ve sinir ağlarını kullanarak eksik akış verilerini tamamlamanın uygun olduğunu göstermişlerdir.

Dibike ve Solomatine (2001), Venezüella’da Apure Nehri havzasında, akış tahmini için YSA metodunun uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çok tabakalı algılayıcı ve radyal tabanlı fonksiyon ağlarını uygulamışlardır. Bu ağların performanslarını kavramsal yağış-akış modeli ile karşılaştırmışlar ve nehir akış tahmin problemi için oldukça iyi bulmuşlardır.

Cığızoğlu (2002), YSA metodunu sediment malzemesi tahmininde kullanmıştır. nceki sediment değerlerini kullanarak elde edilmiş öngörü sonuçlarını, gerçek değerlere yakın bulmuştur. Sadece gözlenmiş akım değerleri ve yakın bir nehirdeki önceki sediment değerini girdi almış ve sediment tahmininde ortalama karesel hata ve toplam sediment miktarına göre gerçekçi yaklaşımlar sağlamıştır. YSA modeli ile klasik regresyon sonuçlarını karşılaştırmış ve YSA modelinin önemli derecede daha iyi olduğunu belirtmiştir.

Sudheer vd. (2002), YSA metodunu kullanarak A sınıftava buharlaşmasını tahmin etmeye çalışmışlardır. Az sayıda iklim verilerinden buharlaşma tahmini için YSA geriye yayılım algoritmasının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Farklı girdi verileri kullanarak çeşitli YSA modelleri kurmuşlar ve mevcut modellerin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. YSA metodunun, mevcut veriler ile buharlaşmayı modellemede başarılı bir Şekilde kullanılabileceğini, buharlaşma değerlerinin YSA tekniği ile sadece sıcaklık verilerini kullanarak mantıklı bir Şekilde tahmin edilebileceğini ve verilerin sınırlı olduğu durumlarda kullanılabileceğini göstermişlerdir. Buharlaşmayı modellerken, girdi değişkenlerinin maksimum ve minimum değerlerinin yerine,

değişkenlerin günlük ortalama değerlerinin kullanımının, model verimliliğini önemli bir şekilde azaltmayacağını ifade etmişlerdir.

Dorvlo vd. (2002), çalışmalarında, farklı bölgelerdeki güneş radyasyonunu tahmin etmek için YSA metodunu kullanmışlardır. Umman'daki sekiz istasyondan uzun süreli ölçülen güneşlenme oranı, yükseklik, enlem, boylam ve zaman faktörü olarak da ay değerini girdi olarak almışlardır. Bu girdilere bağlı olarak radyal tabanlı fonksiyon ve çok tabakalı algılayıcı sinir ağlarını kullanarak modeller geliştirmişlerdir. Gözlenmiş ve hesaplanmış güneş radyasyonları arasında ortalama karekök hatası değerlerine göre her iki modelin performansını ortaya koymuşlar ve sonuçta, radyal tabanlı fonksiyon modelinin uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Tasadduq vd. (2002), Suudi Arabistan'da 24 saatlik çevresel sıcaklığın saatlik ortalama değerlerinin önceden tahmini için YSA modellerinin kullanılabilirliğini göstermişlerdir. YSA modelinin eğitilmesinde Arabistan'ın Jeddah kıyı bölgesindeki değerleri dikkate almışlardır. Ağın eğitilmesinde geri yayımlı öğrenme algoritmasını kullanmışlar ve girdi verisi olarak sadece sıcaklığı seçmişlerdir. Tahmin edilen ve ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki ortalama hatayı üç farklı yıl için 3.16, 4.17 ve 2.83 olarak bulmuşlardır. Sinir ağının, genelde diğer meteorolojik parametreler ve özellikle saatlik sıcaklık tahmini için kullanılabileceğini göstermişlerdir.

El-Din ve Smith (2002), kanalizasyon sistemlerinde kullanılan hidrolojik ve hidrolik modellerin çoğunun deterministik olduğunu ve buna bağlı modellerin belirlenemeyen veya belirlenmesi zor olan çok sayıda parametrelere bağlı olduğunu belirtmişlerdir. YSA modelini atık su akımının kısa süreli ön tahminlerini yapmak için kullanmışlardır. Model girdisi olarak yağış verisini almışlardır. Elde ettikleri sonuçların çok iyi olduğunu söylemişlerdir.

Kiş ve Partal (2003), geri yayımlı yapay sinir ağları metodu ve otoregresif modelleri saatlik ortalama rüzgar hızlarının tahmini için kullanmışlardır. Her iki modelin de tahmin sonuçlarını, hem karesel hata kriterine göre hem de grafiksel olarak karşılaştırmışlardır. Yapay sinir ağlarının otoregresif modellerine göre daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir.

Çalışmada, Eğirdir Gölü için buharlaşma tahminlerinin elde edilmesinde hem tava ölçüm değerlerine hem de Penman buharlaşma değerlerine bağlı olarak yapay sınır ağları ve buharlaşma tahmin modelleri geliştirilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

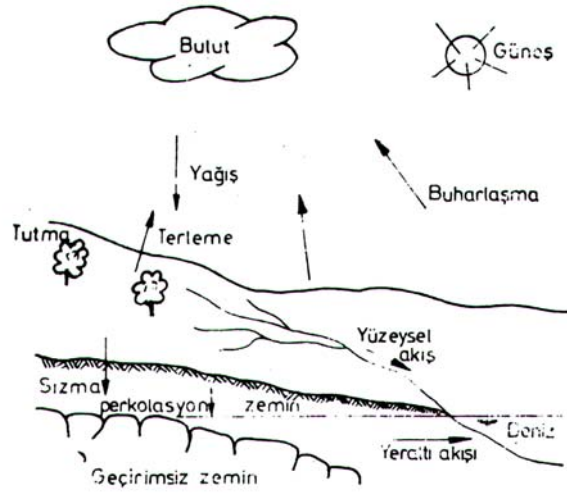
3.1.1. Buharlaşma

3.1.1.1. Hidrolojik Çevrim

Su doğada çeşitli yerlerde ve hallerde (katı, sıvı, gaz) bulunmakta ve yer küresinin farklı kısımları arasında sürekli hareket etmektedir. Suyun doğada döngü yollarının tümüne birden hidrolojik çevrim denir. Hidrolojik çevrimi gözden geçirmeye atmosferden başlanacak olursa, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar üzerine düşen yağışın büyük bir kısmı (% 60-75 kadarı) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner, bir kısmı bitkiler tarafından alıkoşulur (tutma), bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına geçer (sızma), geriye kalan su ise yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve akarsular yoluyla denizlere ulaşır (yüzeysel akış). Yeraltına sızan su ise yeraltı akışı yoluyla sonunda yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır. Denizlere ulaşan su da buharlaşarak atmosfere geri döner. Görüldüğü gibi su, katı, sıvı ve gaz hallerinde doğanın çeşitli kısımları arasında ve farklı yollar izleyerek dönüp durmaktadır. Bu çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır. Yerkürenin iklim sistemi ile yakından ilişkili olan hidrolojik çevrim günlük ve yıllık periyotları olan bir süreçtir.

Atmosferden yeryüzüne düşen yağışın önemli bir kısmı tutma, buharlaşma ve terleme yoluyla, akış haline geçmeden atmosfere geri döner. Bu kayıpların belirlenmesi özellikle kurak mevsimlerde hidrolojik bakımdan büyük önem taşır (Bayazıt, 1999).

Hidrolojik çevrimin bir parametresi olan buharlaşma, su kaynaklarının planlanması ve işletilmesi, sulama suyu miktarının belirlenmesinde, meteorolojik ve atmosferik çalışmalarda önemli bir faktör olarak görülür. Buharlaşma olayının mekanizması ve buharlaşmaya etki eden faktörler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.



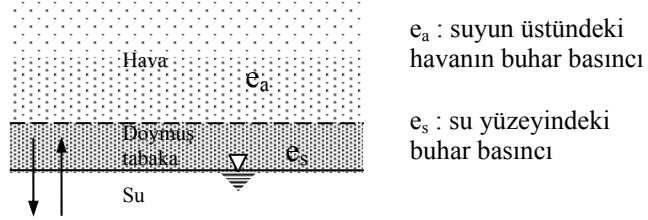
Şekil 3.1. Hidrolojik çevrimin başlıca elemanları

Buharlaşma ile su kaybı iki temel yönden incelenmek zorundadır. Birincisi, açık su yüzeyinden buharlaşma göllerden, rezervuarlardan ve nehirlerden atmosfere suyun direk transferidir. Su kütlesi bilinen kapasiteye sahipse ve sızıntı yoksa, bu kolaylıkla değerlendirilebilir. Buharlaşma kaybının ikinci şekli bitkiden terleme ile meydana gelir. Aynı zamanda bitkiler tarafından tutulan yağışın ve terleyen suyun direk buharlaşması ile meydana gelen kaybı da içerdiği için, bu bazen evapo-transpirasyon olarak adlandırılır. Böylece evapo-transpirasyon genellikle bir alan ve bu alan üzerindeki bitkilerden meydana gelen hem buharlaşma ve hem de terleme ile oluşan toplam kayıp gibi düşünülür. Evapo-transpirasyon değeri bitki tipine, topraktaki suyun mevcudiyetine ve terleme kapasitesine göre değişir. Evapo-transpirasyonu ölçmek su yüzeyinden buharlaşmayı ölçmekten daha zordur. Çünkü terleme oranları bir alan üzerinde oldukça çok değişir ve bitkiler için gerekli zemin suyunun belirlenmesi gerekir. Genel olarak su yüzeyinden buharlaşma ve bitkilerden terleme iklim şartlarından etkilenir (Shaw, 1992).

3.1.1.2. Buharlaşma Mekanizması

Suyun sıvı halden gaz (su buharı) haline geçmesi için gerekli ısı enerjisi 2510 J/gr dır. Bu olaya buharlaşma adı verilir. Su yüzeyindeki moleküller yeterli bir kinetik enerji kazandıkları zaman kendilerini tutmaya çalışan diğer moleküllerin çekiminden kurtulup su ortamından havaya fırlarlar. Su yüzeyi yakınlarında sürekli olarak sudan

havaya, havadan suya geçen moleküllere rastlanır. Sudan havaya geçen moleküllerin sayısı daha fazla ise buharlaşma olayının meydana geldiği kabul edilir (Şekil 3.2) (Bayazıt, 1999).



Şekil 3.2. Su yüzeyinden buharlaşma (Bayazıt, 1999)

3.1.1.3. Buharlaşmaya Etki Eden Faktörler

Buharlaşma oranı, yüzeyin rengi ve ışığı yansıtma özellikleri ile değişmekte ve direkt olarak güneş radyasyonuna maruz veya gölge yüzeyler için farklı olmaktadır (Wilson, 1990).

Meteorolojik, coğrafik ve topografik ve buharlaşan yüzeyin özelliği ile ilgili faktörler buharlaşmanın artmasına veya azalmasına neden olurlar.

3.1.1.3.1. Meteorolojik faktörler

Meteorolojik faktörler olarak buhar basıncı farkları, hava hareketi, enerji, hava basıncı, güneş radyasyonu, nisbi nem ve sıcaklık aşağıda kısaca verilmiştir.

Buhar basıncı farkları: Dalton Kanunu'na göre buharlaşma, su yüzeyindeki buhar basıncıyla (e_s) suyun üstündeki havanın buhar basıncı (e_a) arasındaki fark ile orantılıdır ($e_s - e_a$). Suyun sıcaklığı arttıkça moleküllerin hızları artar, yüzeysel gerilim azalır ve buharlaşma kolaylaşır.

Hava hareketi: Buharlaşan su, su yüzeyinden uzaklaşmadığı takdirde e_a nın artması sonunda yukarıda sözü edilen basınç farkı bir süre sonra sifıra düşeceğinden suyun üstündeki havanın doymuş hale geçmesi ile buharlaşma durur ($e_s - e_a \leq 0$).

Buharlaşmanın devam etmesi için difüzyon ve konveksiyon ile su buharının su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Bu da havanın hareketi ile mümkündür. Rüzgarlar yatay doğrultuda iletimin yanında düşey doğrultuda türbülanslı difüzyon yolu ile alışverişi de artırdıklarından buharlaşmayı devam ettirmekte önemli rol oynarlar (Bayazıt, 1999).

Bütün meteorolojik faktörler aynı kalmak şartıyla, bir sığ göl yüzeyinden esen rüzgarın hızı bir anda iki katına çıktığı takdirde buharlaşma da bir an için iki katına çıkar. Fakat buharlaşma artınca, suda meydana gelen sıcaklık kaybı da artacağından suyun sıcaklığı düşer ve sonuçta buharlaşma da yavaşlar. Bu yüzden, uzun bir süre söz konusu olduğunda, rüzgar hızının örneğin yüzde 10 gibi artması, buharlaşmayı yüzde 1-3 kadar artırır.

Derin göllerden ise, fazla miktarda sıcaklık enerjisi depo ettiklerinden rüzgarlı devam eden bir hafta içinde normalden çok su buharlaşırlar, fakat hafta sonunda depolanmış enerji azalacağından, daha sonraki haftalarda normal olarak beklenenden az su buharlaşırlar (Alagöz ve Cöntürk, 1962).

Enerji: Su moleküllerinin hızlarını artırarak buharlaşmayı sağlamak için enerji gereklidir. 1 gram suyun buharlaşması için gerekli ısı ortamın sıcaklık derecesine göre 2255-2498 J arasında değişir. Doğadaki su kütlelerinin buharlaşması için gerekli enerji güneşten gelen ışınlarla sağlanır. Güneşten doğrudan doğruya gelen enerji yanında karalarda ve sularda depolanmış olan rüzgarlarla çevreden taşınan ısı enerjisi de buharlaşmada rol oynar.

Hava basıncı: Havanın basıncı azaldıkça buharlaşma artar. Ancak bu etki diğerleri yanında önemsizdir (Bayazıt, 1999).

Güneş radyasyonu: Buharlaşma, güneşişiğinin olduğu saatlerde ve hatta geceleri de kesintiye uğramadan devam eder. Suyun sıvı halden gaz haline geçmesi enerji gerektirdiğinden, direkt güneş radyasyonu altında bu işlem çok aktiftir. Bulutlar, güneş radyasyonu spektrumunun yeryüzüne tam olarak ulaşmasını engellediği için enerji girişi azalır ve dolayısıyla buharlaşma da az olur.

Nisbi nem: Havanın nemi arttıkça su buharı emme gücü azalır ve dolayısıyla buharlaşma yavaşlar.

Sıcaklık: Buharlaşma olayı, hava ve yer sıcaklığının yüksek olması halinde, sıcaklığın düşük olmasına göre daha hızlı olur. Hava sıcaklığı arttıkça havanın su buharı emme kapasitesi de artacağından, buharlaşma olayı üzerinde iki kat etkiye sahiptir (Wilson, 1990).

3.1.1.3.2. Coğrafik ve topografik faktörler

Enlem: Serbest yüzeylerden olan buharlaşma enlem derecelerine göre değişir. Bunun nedeni farklı enlemlerin farklı güneş radyasyonu almış olmalarıdır.

Yükseklik(=Rakım): Diğer faktörlerin değişmediği kabul edilirse yükseklikle hava basıncı azalacağından buharlaşma artar. Yükseklikle hava sıcaklığı da azalacağından buharlaşma da azalır. Fakat bu azalma hava basıncının düşmesinden ileri gelen artmayı karşılayamayacağından yükseklikle buharlaşmanın artacağı kabul edilir.

Yamaç: Güneye bakan yamaçlardaki sular güneş ışınlarına daha fazla maruz kaldıklarından kuzeye bakan yamaçlardakinden fazla buharlaşırlar (Kılınç, 1999).

3.1.1.3.3. Buharlaşan yüzeyin özelliği

Tuzluluk: Suda erimiş tuzlar buharlaşmayı azaltır. Bu azalma % 1 tuz eriyiği için % 1 kadardır. Denizlerden buharlaşma tatlı sulara oranla % 2-3 civarında daha azdır (Özbek, 1989).

Derinlik: Su derinliğinin de mevsimlik buharlaşma üzerine etkisi olmaktadır. Derin su kütleleri hava sıcaklığındaki değişmelere daha geç uyabilirler. Bu nedenle derin sularda buharlaşma sığ su kütlelerine göre yazın daha az, kışın daha çok olur (Bayazıt, 1999). Bundan sonraki bölümde buharlaşmanın meydana geldiği yüzeyler hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1.1.4. Buharlaşmanın Meydana Geldiği Yüzeyler

3.1.1.4.1. Kar Yüzeyinden Buharlaşma

Kar ve buz katı halden doğrudan doğruya buhar haline geçebilir. Süblimasyon denen bu olayın meydana gelebilmesi için havanın çığleşme noktası (mevcut buhar basıncında doymuş hale geçeceği sıcaklık derecesi) kar yüzeyinin sıcaklığından az olmalıdır. Kardan buharlaşma çok rüzgarlı havalarda günde 5 mm ye varabilir, fakat genellikle ayda 5-30 mm kadardır. Bu değer aynı şartlarda su yüzeyinden buharlaşmanın 1/5-1/4 ü kadardır (Bayazıt, 1999).

Kar yüzeyinden oluşan buharlaşmanın belirlenmesinde enerji dengesi yaklaşımı kullanılmaktadır. Enerji dengesi, su veya ıslak yüzeylerden buharlaşmaya benzer tarzda kar yüzeyinden buharlaşmaya da uygulanabilir. Buharlaşma enerjisi Bowen oranı yardımıyla aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\frac{H}{\lambda E} = \beta = 0.61 \left(\frac{T_s - T_a}{e_s - e_a} \right) \frac{P_a}{1000} \quad (3.1)$$

Burada, T_s ve T_a kar ve havanın sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), e_s ve e_a kar ve havanın buhar basıncı (kPa), P_a atmosfer basıncı (kPa) ve λ suyun buharlaşma ısısidir. H 'nin belirlenmesi için, net radyasyon ve toprağın ısı iletimi ölçülmek veya hesaplanmak zorundadır. Kış aylarında kar örtüsünün kapladığı kutupsal enlemlerde, alınan net kısa dalga radyasyonu küçüktür ve hatta nadiren uzun dalga radyasyonunu dengeler. Böylece, enerjinin büyük girdisi, kar yüzeyi üzerinde akan ılık havadan türbülans transferi ile olur. Enerji dengesi yaklaşımından başka aşağıda verilen denklemlerde kar yüzeyinde meydana gelen buharlaşmanın belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bunlardan ilki Kuzmin denklemi olarak bilinen denklem aşağıdaki gibidir;

$$E = (0.18 + 0.098 u_{10})(e_{os} - e_2) \quad (3.2)$$

Burada, E kar yüzeyinden buharlaşma (mm/gün), u_{10} 10 m yükseklikteki ortalama günlük rüzgar hızı (m/sn), e_{os} yüzey sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı (kPa) ve e_2

2 m yükseklikte doymun buhar basıncı (kPa) dır. İkinci denklem Central Sierra Snow Laboratory denklemi ise şöyledir;

$$E = 0.0063 (z_a z_b)^{-1/6} (e_{os} - e_a) u_b \quad (3.3)$$

Burada, E mm/gün, u_b yerden z_b (m) yükseklikte rüzgar hızı (m/sn) ve e_a yerden z_a (m) yükseklikte buhar basıncı (kPa) dır (Raudkivi, 1979).

3.1.1.4.2. Zeminden Buharlaşma

Zemin yüzeyinden buharlaşma su yüzeyinden buharlaşmaya benzer. Ancak, özellikle az geçirimli zeminlerde, su moleküllerinin yenmeleri gereken direnç daha büyüktür. Zeminin üst kısmında yeterli su varsa (arazi kapasitesi değerinde) zeminden buharlaşma su yüzeyinden buharlaşmaya eşit olur. Aksi halde zeminden buharlaşma zeminde mevcut su miktarı ile sınırlıdır, kuruma noktasına düşüldüğünde buharlaşma tamamen durur. Bu bakımdan zeminin üst tabakalarındaki nem ve zeminin su iletim kapasitesi önemli rol oynar. Pratikte yeraltısu yüzeyi yeryüzünden 1-3 m den daha aşağıda olursa zemindeki buharlaşma çok azalır (Bayazit, 1999).

3.1.1.4.3. Terleme ve Tutma

Bitkilerin suyu kökleriyle zeminden çekip yaşamaları için gerekli işlemlerde faydalandıktan sonra yapraklarından buhar halinde havaya vermelerine terleme (transpirasyon) denir. Terleme bitkilerin büyümesi ile ilgili olduğundan sadece büyüme mevsiminde gündüz saatlerinde görülür. Bitkiler topraktan aldıkları suyun çok küçük bir kısmını fotosentez için içlerinde tutar, büyük bir kısmını kullandıktan sonra atmosfere geri verirler. Terleme kaybı bitki cinsine göre günde 0.1 ile 7 mm arasındadır.

Bir bitkinin büyümesi sırasında terlediği suyun ağırlığının, kökleri hariç kendi ağırlığına oranına terleme oranı denir, bu oran bitki cinsine, zemine ve iklime göre çok değişir. İğne yapraklı ağaçlar için 100 ile 200 arasında değişen bu oran diğer ağaçlarda 1000 e kadar çıkabilir, tarım bitkilerinde 200-2000 arasında değerler alır.

Zemin nemi ile ilişkili olan gerçek terleme miktarının belirlenmesi güçtür. Ancak hidrolojide sadece terlemeyi değil bitkilerle kaplı topraktan toplam buharlaşma ve terleme kayıplarını belirlemek daha yararlı olur. Esasen zeminden buharlaşma ile terleme birbirini karşılıklı olarak etkiler. Terlemeyi ölçmek için fitometre denen kaplarda istenen bitki yetiştirilir. Zemin yüzeyinden buharlaşmayı önleyerek kabın ağırlığındaki değişmeden terleme hesaplanır (Bayazıt, 1999).

Terleme, buharlaşmayı etkileyen bütün faktörlerden ayrıca bitki ile ilgili faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörleri fiziksel ve fizyolojik faktörler olarak sınıflandırmak mümkündür.

Fiziksel faktörler: Bunlar atmosferin buharlaştırma gücü, meteorolojik etmenler ve zemin nemi olarak üç alt gruba ayrılabilir. Atmosferin buharlaştırma gücü, havanın sıcaklığı, nispi nemi ve rüzgar hızına bağlı bir faktördür. Meteorolojik etkenler ısı, ışık ve havanın nemine bağlı olarak yapraklardaki gözeneklerin açılıp kapanmasını etkileme şeklinde terlemeyi düzenler. Topraktaki kullanılabilir nem miktarı terlemeyi doğrudan etkileyen en önemli faktördür.

Fizyolojik faktörler: Terlemeyi etkileyen başlıca fizyolojik etkenler bitki çeşidi, yaşı, yaprak gelişimi ve kök derinliğidir (Özer, 1990).

Bitkilerin buharlaşma kayıpları üzerine etkileri tutma şeklinde de olur. Tutma bitkiler tarafından alıkonan ve yer yüzeyine hiç varamayan yağış olarak tanımlanır. Tutma kaybı bitki ile örtülü alanın yüzdesine ve bitkilerin tutma kapasitesine bağlıdır. Bitkiler tarafından tutulan suyun büyük bir kısmı bir süre sonra buharlaşacağı için tutma kayıplarına uzun bir süre içinde buharlaşma kayıpları gözüyle bakılabilir. Ancak tutma kapasitesine varılınca tutulan suyun bir kısmı bir süre sonra dal ve yapraklardan damlayarak, yada ağacın gövdesinden süzülerek zemine iner, bunlar tutma kayıpları arasında düşünülmemelidir. Tutma miktarı yağışın başlangıcında daha fazladır, bitkiler ıslandıkça azalır. Tutma miktarı bitkilerin tutma kapasitesine bağlı olduğu için hafif yağışlarda yağışın daha büyük bir yüzdesi (% 40 a kadar) tutulur. Bu bakımdan tutma kayıpları bitki örtüsü sık, yağışları kısa süreli ve düşük şiddetli olan bölgelerde önem kazanır. Tutma kapasitesi bitki cinsine göre değişir, iğne yapraklı ağaçlarda daha büyüktür, ağaç cinsine göre 0.7-3.0 mm arasında

değişir. İğne yapraklı ağaçlar yıl boyunca üzerlerine düşen yağışın % 25-30 unu, yaprak döken ağaçlar ise % 10-15 ini tutarlar. Ormanlık bölgelerde tutma kayıpları yıllık yağışın 1/3 üne erişebilir (Bayazıt, 1999).

3.1.1.4.4. Evapo-transpirasyon (Buharlaşma-Terleme)

Bitki örtülü zeminlerde veya kısmen çıplak bitki örtüsü olan ortamlarda, su yüzünden çıplak araziden buharlaşma (*E*) şeklinde bitkilerden terleme (*T*) şeklinde, bitki örtülü kısımlarda hem buharlaşma hem terleme (*ET*) şeklinde atmosfere dönen suya evapo-transpirasyon kayıpları denir. Hidrolojik çevrimde buharlaşma ve terleme iki ayrı eleman olarak tanımlanırken hidrolojik bütçe analizlerinde ve sulama mühendisliğinde evapo-transpirasyon değerleri daha çok kullanılmaktadır.

Evapo-transpirasyonun belirlenmesinde zemindeki nem durumu çok önemlidir. Eğer zeminde her zaman evapo-transpirasyon için yeterli su var ise bu durumda potansiyel evapo-transpirasyon tanımını kullanmak daha uygun olabilir. Ancak toprakta her zaman evapo-transpirasyon değerinin maksimumunda seyredebileceği nem bulunmayabilir. Böylece ne kadar nem var ise o kadar evapo-transpirasyon kaybı olur ve bu değer gerçek evapo-transpirasyon olarak tanımlanabilir.

Türkiye’de ortalama yağış miktarı 679 mm olup, bunun ortalama olarak % 32 sinin akışa geçtiği kabul edilirse, yaklaşık olarak yağış miktarının % 67 sinin yani 455 mm.nin evapo-transpirasyon kayıpları olarak atmosfere döndüğü yapılan hesaplamalarla belirlenmiştir.

Evapo-transpirasyonu etkileyen faktörler, gerek buharlaşmayı, gerekse terlemeyi etkileyen faktörlerin toplamı şeklinde özetlenebilir.

Gerçek evapo-transpirasyonun belirlenmesi pek çok faktörlere bağlı olduğundan oldukça zordur. Bununla birlikte, gerçek evapo-transpirasyonun belirlenmesinde kullanılan metotlar direkt ölçüm ve meteorolojik parametrelere dayalı olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Direkt ölçüm olarak lizimetre ile ölçüm yönteminde, çap 0.1-1 m arasında, derinliği 1-2 m arasında değişen toprak ile dolu özel tanklarda bitki yetiştirilir. Tanktaki

sızma, yağış, kap ağırlığında meydana gelen değişim ölçülerek, su bütçesi yöntemi uygulanır ve evapo-transpirasyon miktarı belirlenir (Özer, 1990).

Meteorolojik parametrelere bağlı olarak geliştirilen yöntemler aşağıdaki gibi verilebilir.

3.1.1.4.5. Su Yüzeyinden Buharlaşma

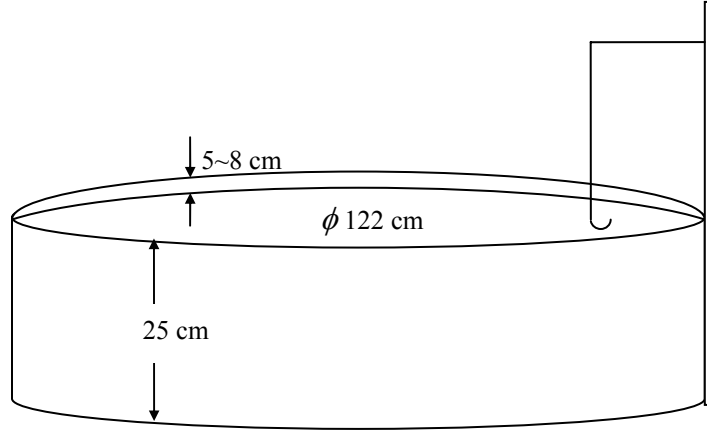
Su yüzeyinden buharlaşmanın hesabı, olayı etkileyen faktörlerin çokluğu nedeniyle güçtür. Buharlaşan su miktarı doğrudan doğruya ölçülemez. Ya küçük kaplarda ölçülen buharlaşmaya, ya da su (enerji) dengesi veya su buharı transferinde ölçülebilen diğer büyüklüklere bağlı olarak belirlenir. Bu iş için çeşitli metotlar kullanılabilir (Bayazıt, 1999). Bu metotlar direkt ve meteorolojik parametrelere dayalı olan indirekt metotlar olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilirler. Serbest su yüzeyinden buharlaşmayı belirlemede kullanılan direkt yöntemlerden biri tava metodudur. Bunların çeşitli tipleri vardır.

Gömme tavalar: Bunlar yüzeysel tavalara çok benzerler. Okunuşları, yağışların hesaba katılması yüzeysel tavalarda olduğu gibidir. Bu tavalar yere silindirik bir çukur açılarak oturtulur. Nivelmanla yataylığı sağlanır. Cidarlarla toprak arasında ısı alışverişi azdır. Bunu daha da önemsiz kılmak için geniş tavalalar kullanılır. Bunları inşa etmek zordur. Eğer sızmalar varsa veya sonradan olursa gözle görülemez. Bulup tamir edilinceye kadar vakit geçer. Bitkiler tava içine kadar uzanabilir.

Yüzer tavalar: Yüzer tavalar bir sal veya kayık üzerine oturtulmuş tavalardır. Su yüzündeki buharlaşma tespit edilmek istendiğine göre, buharlaşma ölçülerini suda yüzen bir tavada yapmakla duruma yaklaşılmış olunur. Bazen dalgalarla su tava içine sıçrayabilir ve ufak hatalara sebep olabilir. Güneşten ısınan cidarların suyu ısıtıp fazla buharlaşmaya sebep olduğu da gerçektir (Ulugür, 1972).

Yüzeysel tavalar: Türkiye dahil olmak üzere birçok ülkelerde en çok kullanılan tip olan A sınıfı tavanın alanı 1 m^2 , derinliği 25 cm.dir (Şekil 3.3). Tava 20 cm derinlikte su ile doldurulup su yüzeyindeki alçalma bir limnimetre ile ölçülerek buharlaşma belirlenir. Yağışlı günlerde yağış yüksekliği de ayrıca ölçülerek hesaba katılmalıdır.

Tava yerden 15 cm yükseğe yerleştirilmeli, tavadaki su yüzeyinin tavanın üst kenarından uzaklığı 5-8 cm arasında kalacak şekilde her gün su eklenmelidir (Bayazıt, 1999). A sınıfı buharlaşma tavasının termal davranışı incelendiğinde, su sıcaklığının günlük çevrim boyunca aşağı yukarı homojen kaldığı görülmüştür. Bu da tava içerisindeki suyun iyi karıştığını gösterir (Jacobs vd., 1998). Ancak tavadan buharlaşma geniş bir su kütlesinden (bir hazneden yada bir glden) buharlaşma ile aynı olmaz. Bunun başlıca nedeni tavadaki suyun kütlesi az olduğu için hava sıcaklığındaki değişmeleri daha kolay izleyebilmesidir. Ayrıca tavadan ısı yansımaları, tava cidarından ısı alışverişi ve çevrenin az nemli olması da buharlaşmayı etkiler. Aradaki farkı azaltmak için çeşitli tedbirler düşünülmüştür. Örneğin BPI tavasının çapı 2 m, derinliği 60 cm olduğu için su kütlesi çok fazladır. Young tavasının üstüne 6 mm aralıklı elek teli konmuştur. Bugünkü durumda en çok denenmiş olan A sınıfı tavanın kullanılması ve göldeki buharlaşmaya geçmek için tavadaki okumanın tava katsayısı ile çarpılması tavsiye edilmektedir (Bayazıt, 1999). Jacobs vd., (1998)'de belirtildiği gibi sabit tek bir tava katsayısı yoktur. A sınıfı tavada yıllık buharlaşma için katsayı 0.7 kabul edilebilir. Bu değerin değişme sınırları 0.6-0.8 dir. 0.7 kabul edilmesi ile yapılacak hata % 15 in altında kalır. Buna göre tavadan yıllık buharlaşma yksekliliğinin % 70 inin tava yakınındaki bir glden yıllık buharlaşmana eşit olacağı kabul edilebilir. Aylık buharlaşma hesabında ise tava katsayısı daha geniş sınırlar arasında değişir, sonbaharda yüksek, ilkbaharda düşük değerler alır. En az 5000 km² ye bir tava yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir. Türkiye'de buharlaşma lmleri Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılmaktadır. Ölçümlerde ıslak filtre kağıdından buharlaşmayı dönen şerit üzerine kaydeden ve standart tavalara benzer sonuçlar veren yazıcı ölçekler (evaporograf) da kullanılmaktadır (Bayazıt, 1999).



Şekil 3.3. A sınıfı buharlaşma tavası

Meteorolojik parametrelere bağlı olarak serbest su yüzeyinden buharlaşmanın belirlenmesinde aşağıdaki ampirik bağıntılardan yararlanılmaktadır.

a) Su dengesi metodu

Bir su kütleline süreklilik denklemi uygulanırsa:

$$E = P + X - Y - Z - \Delta S \quad (3.4)$$

Böylece belli bir zaman aralığındaki E buharlaşma miktarı, aynı zaman aralığındaki P yağışı, X ve Y kütleyle giren ve çıkan akış miktarları, Z yeraltına sızan su miktarı ve kütleline hacmindeki ΔS değişmesi cinsinden elde edilmiş olur. Ancak, bu metodun başarıyla uygulanabilmesi için denklemin sağındaki büyüklüklerin prezisyonlu olarak ölçülmeleri gerekir, aksi halde E nin hesabında yapılan hata büyük olur. Pratikte bu büyüklüklerin özellikle Z değerinin belirlenmesi çok güç olduğundan ancak uzun süreli (aylık, yıllık) buharlaşma miktarları bu şekilde hesaplanabilir. Bu metotla hesaplanacak buharlaşma miktarındaki hata en iyi şartlarda % 10 kadardır.

b) Enerji dengesi metodu

Su kütleline enerjinin korunumu ilkesi uygulanırsa;

$$H_e = H_i - H_o - H_c - \Delta H \quad (3.5)$$

Burada H_i kütleye giren ısı (güneş ısı ile giren akımların getirdiği ısının toplamı), H_o kütleden çıkan akımların ısı ile yansıyan ısının toplamı, H_c su yüzeyinden atmosfere kondüksiyon ile kaybolan ısı, H_e buharlaşmada kullanılan enerji, ΔH su kütlesinin sıcaklığındaki değişme için gerekli ısıdır. Kütleye giren ve çıkan akımların taşıdığı ısı genellikle ihmal edilebilir. Gelen güneş ısı ile yansıyan ısının farkı ($H_i - H_o$) piranometre, aktinometre ve radyometreler ile ölçülür. H_c 'nin ölçülmesi mümkün olmadığından H_e 'ye bağlı olarak ifade edilmesi yoluna gidilmektedir.

Su yüzeyinden ısı transferi ile su buharı transferinin birbirine benzer olaylar olduğu düşünülerek buharlaşmada kullanılan H_e ısı ile kondüksiyonla atmosfere geçen H_c ısısının orantılı olduğu kabul edilebilir.

$$H_c = \beta \times H_e \quad (3.6)$$

Burada β Bowen oranı adını alır ve şu şekilde hesaplanır:

$$\beta = 6 \times 10^{-1} P_a \left(\frac{T_s - T_a}{e_s - e_a} \right) \quad (3.7)$$

Bu denklemde P_a kg/cm² biriminde atmosfer basıncı, T_s ve T_a °C biriminde suyun ve havanın sıcaklığı, e_s ve e_a kg/cm² biriminde suda ve havadaki buhar basınçlarıdır. Bowen oranının değeri genellikle 0.2 ve 0.3 arasında kalır. Öte yandan, λ suyun buharlaşma ısı, E buharlaşan suyun hacmi olduğuna göre buharlaşma için gerekli enerji;

$$H_e = \lambda \times E \quad (3.8)$$

olur, λ değeri normal atmosfer basıncında 2469 J/cm³ alınabilir. Bu ifadeler denklem (3.5)'de yerine konursa,

$$E = \frac{H_i - H_o - \Delta H}{\lambda(1 + \beta)} \quad (3.9)$$

Bu metot prensip bakımından doğru ise de, (3.9) denkleminin sağ tarafındaki büyüklüklerin ölçülmesi güç olduğundan seyrek olarak kullanılabilir. İtinalı ölçmeler

yapılması şartıyla hafta veya daha uzun zaman sürelerindeki buharlaşma bu metotla belirlenebilir. Hata en iyi şartlarda % 10-20 olur (Bayazıt, 1999).

c) Kütle transferi metodu

Sınır tabakası teorisini, türbülansın karışım uzunluğu ve türbülanslı difüzyon kavramlarını kullanarak su yüzeyinden havaya su moleküllerinin iletimi olayı için yapılan teorik analizler sonunda buharlaşmanı su yüzeyinden iki farklı yükseklikte ölçülen nem, sıcaklık ve rüzgar hızı cinsinden veren formüller ileri sürülmüştür. Bunlara bir örnek Thornthwaite-Holzman formülüdür:

$$E = \frac{K(e_{a1} - e_{a2})(u_2 - u_1)}{T_a \cdot \ln(z_2 / z_1)^2} \quad (3.10)$$

Bu formülde E saatlik buharlaşma, e_{a1} ve e_{a2} yerden z_1 ve z_2 yükseklikte havanın buhar basıncı, u_1 ve u_2 aynı yüksekliklerde rüzgar hızı, T_a havanın ortalama sıcaklık derecesidir. K bir sabiti göstermektedir. Yapılması gereken ölçümlerin çok oluşu ve hesaplanan değerlerdeki hatanın fazla oluşu yüzünden bu gibi formüller fazla kullanılmamaktadır (Bayazıt, 1999).

d) Meteorolojik parametrelere göre geliştirilen buharlaşma metotları

John Dalton 1802'de, su yüzeyinden buharlaşma oranının, su sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı ile havanın buhar basıncı arasındaki farkla orantılı olacağını göstermiştir. Dalton kanununa göre buharlaşma,

$$E = C (e_s - e_a) \quad (3.11)$$

şeklindedir. Buharlaşmanın, su yüzeyinde ve havadaki e_s ve e_a buhar basınçlarının farkıyla orantılı olduğunu ifade eden bu difüzyon denklemindeki C katsayısını etkileyen faktörlerin en önemlisi rüzgar hızıdır. Yıllarca Dalton kanununa bağlı birçok denklem geliştirilmiştir (Hjelmfelt ve Cassidy, 1975).

e) Penman metodu

Tava rasatlarının güçlüğü, rasatlardan elde edilen sonuçlarla meteorolojik faktörler arasında bir korelasyon yapılmasına zorlanmıştır. 1948'de Penman, meteorolojik

verileri kullanarak buharlaşma tahmini için bir teori ve formül ileri sürmüştür. Bu teoride, buharlaşmanın devam edebilmesi için iki gereksinim bulunmaktadır. Bunlar, buharlaşma latent ısısı için gerekli enerjinin sağlanması ve buharı uzaklaştıran bir mekanizmanın olmasıdır. Bunlara bağlı olarak, Penman denklemi aşağıdaki gibidir:

$$E = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (R_n - A_h) + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \frac{1}{\lambda} [6.43 (1 + 0.536 u_2) (e_s - e_a)] \quad (3.12)$$

E : buharlaşma (mm/gün),

Δ : doygun buhar basınç eğrisi eğimi (kPa/°C),

γ : psikometrik sabit (kPa/°C),

R_n : net radyasyon (W/m²),

A_h : su kütlesine yatay enerji transferi (W/m²),

λ : latent ısısı (°C),

u_2 : 2 m yükseklikteki günlük ortalama rüzgar hızı (m/sn),

e_s : doygun buhar basıncı (kPa/°C),

e_a : gerçek buhar basıncı (kPa/°C),

$e_s - e_a$: buhar basınç farkı (kPa/°C).

$$\Delta = 4090 \frac{e_s}{(237.3 + T_a)^2} \quad (3.13)$$

$$\gamma = 0.00163 P_a / \lambda \quad (3.14)$$

$$\lambda = 2.501 - 0.002361 T_s \quad (3.15)$$

T_a : günlük ortalama hava sıcaklığı (°C),

P_a : günlük ortalama atmosfer basıncı (kPa),

T_s : günlük ortalama su sıcaklığı (°C).

Güneşlenme saatleri esnasında yeryüzüne ulaşan kısa dalga radyasyonunun ölçülebilir bir miktarı vardır. Bu miktar enleme, mevsime, saate ve bulutluluk derecesine bağlıdır. Kısa dalga boylu radyasyon (R_c) (W/m²) aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$R_c = R_A [0.20 + 0.48 (n/D)] \quad (3.16)$$

R_A : bir noktada beklenen toplam radyasyon (W/m^2),

n/D : gerçek / max güneşlenme süresi.

Bu formüldeki katsayılar Penman tarafından Güney İngiltere için $[0.18 + 0.55(n/D)]$ olarak verilmiştir. Hollanda'da bulunan P.J. Rijkooft of The Royal Meteorological Institute tarafından bir çalışma grafiği hazırlanmış ve çalışmada bu grafikten elde edilen 3.16 denklemindeki katsayılar kullanılmıştır.

Tamamen bulut kaplı günlerde ($n/D=0$), güneş radyasyonu yaklaşık % 20 yeryüzüne ulaşırken, bulutsuz günlerde yaklaşık % 70 civarında ulaşır.

$$R_I = R_C(1 - \alpha) = R_A[0.20 + 0.48(n/D)](1 - \alpha) \quad (3.17)$$

R_I : net kısa dalga boylu radyasyon (W/m^2),

α : albedo, yüzey yansıtma katsayısı (0.08).

Özellikle gece, hava kuru ve açık olduğu zaman, R_I 'nin bir kısmı, uzun dalga boylu radyasyon olarak yeryüzünden tekrar yansır. Bu, uzun dalga boylu radyasyon (R_B) şöyle yazılabilir:

$$R_B = [0.2 + 0.8(n/D)](0.47 - 0.077\sqrt{e_a})\sigma T_a^4 \quad (3.18)$$

σ : Lummer ve Pringsheim sabiti (489.53×10^{-12} kgJ/cm²/gün).

Böylece net radyasyon (R_n),

$$R_n = R_I - R_B \quad (3.19)$$

olarak hesaplanır (Wilson, 1990).

Buharlaştırma, sıcaklık ile belirlenen buharlaştırma oranı ve buhar basıncı ile belirlenen yoğunlaştırma oranı arasındaki farktır. Eğer moleküller yüzeyden dağılırsa, buhar basıncı düşük kalır ve bu iki oran arasındaki fark pozitifdir, böylece buharlaştırma devam eder. Diğer taraftan, su yüzeyindeki hava termal olarak tecrit edilir ve çevresi

sarılsa, buharlaşma ve yoğunlaşma oranları eşitleninceye kadar buhar basıncı artar ve buharlaşma durur. Havanın doymuş olduğu söylenir. Verilen bir sıcaklıkta, bu denge özel bir buhar basıncı (e_s) için meydana gelir. Bu özel buhar basıncı, doymuş buhar basıncı olarak adlandırılır ve sıcaklıkla ilgilidir. Aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$e_s = 0.6108 \exp \left[\frac{(17.27 T_a)}{(237.3 + T_a)} \right] \quad (3.20)$$

e_s doymuş buhar basıncı (kPa) ve T_a hava sıcaklığı (°C) dir. Havanın gerçek buhar basıncı (e_a),

$$e_a = R_h \times e_s \quad (3.21)$$

ile hesaplanır. Burada R_h nisbi nem (%) dir. (Erdemir, 1999).

f) Priestley-Taylor metodu

1972’de Priestley ve Taylor, potansiyel buharlaşma için Penman kombinasyon denkleminin basitleştirilmiş bir şeklini önermişlerdir. Bu denklemde, Penman denkleminde bulunan aerodinamik bileşen silinmiştir ve enerji bileşeni α katsayısı ile çarpılmıştır. α katsayısı, yüzeyin yapısına, hava sıcaklığına ve günün bir saatine bağlıdır ve 1.05 ile 1.38 arasında değişir. Priestley ve Taylor, bu katsayıyı geniş ıslak yüzeyler için ortalama 1.26 olarak bulmuşlardır (Xu ve Singh, 2000).

$$ET = \alpha \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (R_n - G) \frac{1}{\lambda} \quad (3.22)$$

Burada ET potansiyel buharlaşma (mm/gün) ve G kütleye giren ısı akışı (W/m^2) dır. Diğer simgeler ve birimler denklem (3.12)’deki gibidir.

g) Brutsaert-Stricker metodu

1979’da Brutsaert ve Stricker, potansiyel evapo-transpirasyonun (mm/gün) tahmini için aşağıdaki denklemi önermişlerdir (Winter vd., 2002).

$$ET = (2\alpha - 1) \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (R_n - G) - \left(\frac{\gamma}{\gamma + \Delta} \right) [0.26 (1 + 0.86 u_2) (e_s - e_a)] \quad (3.23)$$

h) Makkink metodu

Potansiyel evapo-transpirasyonun (mm/gün) tahmini için Makkink 1957'de aşağıdaki denklemi önermiştir (Xu ve Singh, 2002).

$$ET = 0.61 \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{R_C}{\lambda} - 0.12 \quad (3.24)$$

i) de Bruin metodu

de Bruin 1978'de Priestley-Taylor ve Penman denklemlerini birleştirerek buharlaşma tahmini için basit bir ifade elde etmiştir. Bu denklem,

$$E = [\alpha / (\alpha - 1)] \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) (2.9 + 2.1 u_2) (e_s - e_a) \frac{1}{\lambda} \quad (3.25)$$

şeklindedir (de Bruin, 1978).

j) Hamon metodu

Hamon 1961'de ortalama hava sıcaklığına bağlı olan bir potansiyel evapo-transpirasyon metodu geliştirmiştir.

$$ET = 13.97 D^2 Pt \quad (3.26)$$

Burada ET potansiyel evapo-transpirasyon (mm/gün), D verilen bir gün için gümüşüğü saati (12 saatlik birimde) ve Pt doymuş su buharı yoğunluğu terimidir ve şöyle hesaplanır (Xu ve Singh, 2001).

$$Pt = \frac{4.95e^{(0.062T_a)}}{100} \quad (3.27)$$

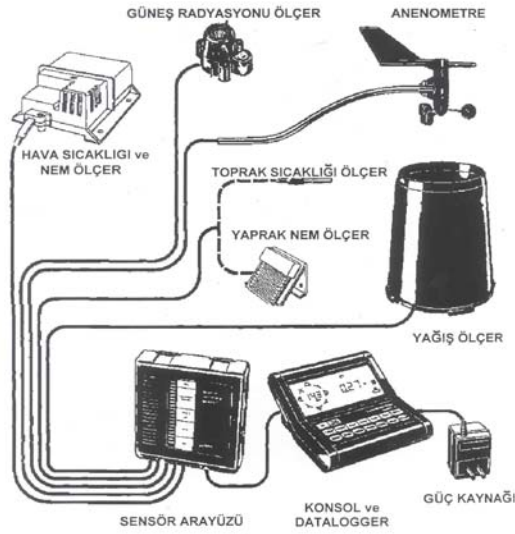
3.1.2. Otomatik Meteorolojik Ölçüm İstasyonu

Bir gölde meydana gelebilecek buharlaşma tahmini için direk ve indirek buharlaşma tahmin metotları kullanılır. Bilindiği üzere ülkemizde ve dünyada su yüzeyinde meydana gelebilecek olan buharlaşmanın belirlenmesinde direk yöntem olarak

bilinen A sınıfı buharlaşma tavaşı kullanılır. Buharlaşma tahmininde kullanılan diğer bir yöntem olan indirek yöntemler meteorolojik parametrelere bağlıdır. Çalışma alanı olarak dikkate alınan Eğirdir Gölü'ne ait buharlaşmanın tahmini için mevcut buharlaşma modelleri (indirek yöntemler) ve son zamanlarda mühendislikte uygulama alanı oldukça yaygınlaşan yapay sinir ağları modelleri kullanılmıştır. Bu modeller için gerekli olan meteorolojik parametrelerin ölçümleri için (saatlik bazda) Eğirdir Gölü kenarına (36S 0312297, UTM 4194978) Şekil 3.4'de gösterilen otomatik GroWeather meteorolojik istasyonu ODTÜ desteği ile kurulmuştur. İstasyon Ağustos 2000'den itibaren ikişer saatlik aralıklarla meteorolojik parametreleri datalogger'a (veri depolayıcı) kaydetmeye başlamıştır. Toplanan veriler aylık periyotlarda bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.5'de bağlantı sistemi gösterilen otomatik GroWeather meteorolojik istasyonu aracılığı ile hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı ve yönü, nisbi nem, güneş radyasyonu meteorolojik parametreleri ölçülmektedir. Şekil 3.4'den görüleceği üzere otomatik GroWeather meteorolojik istasyonu, tek bir taşıyıcı üzerinde çeşitli sensörlerden oluşmaktadır. Taşıyıcı ayakların yaklaşık 2 m. üst kısmına yerleştirilmiş olan bu sensörler tarafından meteorolojik parametreler ikişer saatlik aralıklarla ölçülmektedir.



Şekil 3.4. Otomatik GroWeather Meteorolojik İstasyonu



Şekil 3.5. Otomatik GroWeather Meteorolojik İstasyonunun bağlantı sistemi

Şekil 3.5’den görüldüğü gibi sensörlerden gelen sinyaller, sensör arayüzü adı verilen ara birimde toplandıktan sonra tek kablo ile kaydedilmek üzere datalogger’a ulaşmaktadır. Konsol, ölçümü yapılan parametrelerin ekranda görünmesini sağlayan bir ünitedir. Konsola bağlı bulunan datalogger ise hafıza görevi gören, yani ölçülen değerleri kaydeden bir parçadır. Sistemin enerji ihtiyacı, taşıyıcı üzerinde bulunan 10 wattlık güneş panelinden elde edilmektedir.

Datalogger, amaca uygun olarak hazırlanmış olan bir yazılımla birlikte kullanılmaktadır. Bilgisayara bağlanan datalogger, istenen ayarlamalar yapılmak sureti ile programlanarak istasyona bağlandıktan sonra belirlenen aralıklarla verileri kayıt etmektedir. Alet sınırlı kayıt etme kapasitesine sahip olduğundan dolayı, belli bir periyotta datalogger’daki toplanmış olan veriler bilgisayara sağılmaktadır (Keskin vd., 2002).

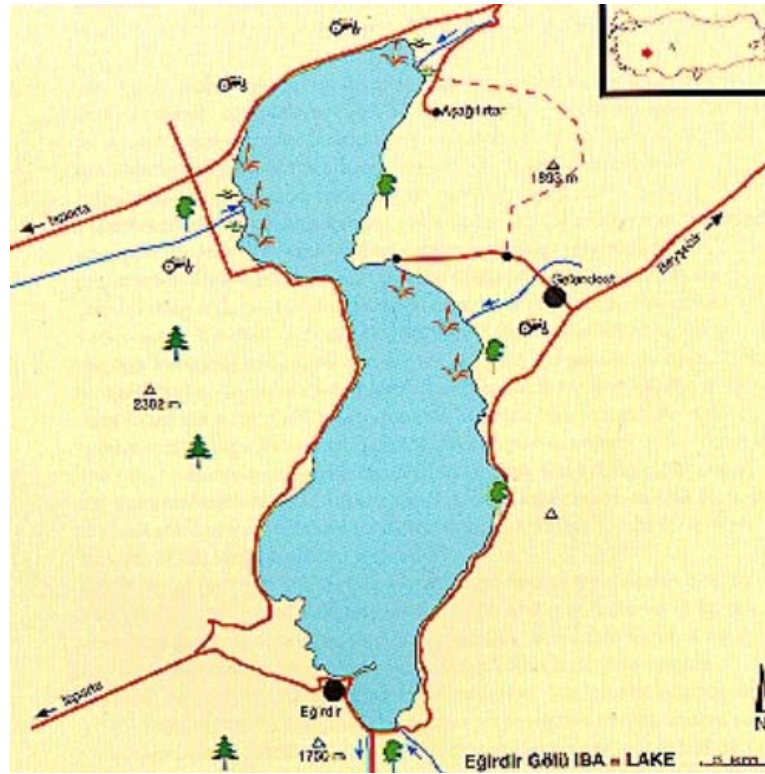
3.1.3. Eğirdir Gölü

3.1.3.1. Coğrafik konumu ve topoğrafyası (Havzanın tanımı)

Göller bölgesinde yer alan Eğirdir Gölü, Türkiye’nin ikinci büyük tatlı su gölüdür. Aynı zamanda Türkiye’nin dördüncü büyük gölü de olan Eğirdir Gölü, Eğirdir İlçe’sinin kuzeyinde, kuzey-güney doğrultusunda uzanan tektonik bir göldür. Göl 38°

18' ve 31° 22' doğu boylamları ile 37° 48' ve 38° 26' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 3.6) (Anonim, 1999).

Eğirdir Gölü'nün derinliği ortalama 7 ile 15 m arasında değişir, en derin yeri Barla Kasabası önlerinde ve 15 m dir. Eğirdir Gölü'nün yüzey alanı maksimum 919.16 m kotunda 482 km² dir. Kuzey güney doğrultusunda uzunluğu 50 km olan göl, orta kısmında doğu-batı doğrultusunda daralma göstererek 3 km genişlikte bir boğaz ile iki kısma ayrılır. Bu boğazın güneyinde kalan kesimine Eğirdir Gölü, kuzeyinde kalan daha küçük kesimine ise Hoyran Gölü denir. Eğirdir Gölü'nde kıyılar genellikle dik bir meyille inerler. Gölün güneyinde Eğirdir ilçesinin üzerine yerleştiği yarımadanın bir uzantısı olan iki ada vardır ve bu adalar bir dolgu yolla ilçeye bağlanmıştır (Tokgözlü, 1996).



Şekil 3.6. Eğirdir Gölü haritası

Gölün kıyıları sığ ve sazlarla kaplıdır. Hoyran Gölü'nün kuzeydoğu ucunda, Yalvaç yönünden gelen Akçay'ın ağzında geniş bir sazlık yer almaktadır.

Eğirdir Gölü'nü çevreden inen küçük çaylar ve dereler beslemektedir. Bunlardan başlıcaları; Uluborlu yöresinden gelen Pupa Çayı, Hoyran Ovasından inen Değirmen Çayı ve Yalvaç'tan gelen Akçay'dır. Buna karşılık, gölleri besleyen ana kaynak yeraltısularıdır. Kuzeyde bulunan Karamık Gölü'nün sularını boşaltan düden, Hoyran Gölü'nün kuzeyinde Tırtar altından çıkarak göle karıştığı tahmin edilmektedir. Batısında Gençali Köyü'nün altından çıkan Kalınpalamut Pınarı ve daha güneyde çıkan Karaot Avlağı Pınarı ile Havutlu Pınar gölü besleyen başlıca pınarlardır. Göl suları güney ucundaki Irmak suyu ile Kovada Gölü'ne ve Kuradere'den Aksu Irmağı'na akarak Akdenize ulaşır. Eğirdir Gölü çevresindeki en büyük yerleşim birimi Eğirdir İlçesi'dir (Anonim, 1999).

Eğirdir Gölü'nün etrafı batı Toros sistemindeki dağların kuzey kesimlerini içine alır. Bu yüzden gölün etrafı yüksek ve sarp dağlarla çevrilmiştir. Bölgede dağlar ve ovalar birbirini takip ederler. Gölün kuzeydoğu tarafında Sultan dağları, batıda Barla dağı, kuzeybatıda Sandıklı dağı, Kapı ve Gelincik tepeleri, güneybatı tarafında Davras dağı, Çirişli dağı, güneydoğuda Dedegöl dağı, havzanın en yüksek belli başlı yükseltileridir. Bunlar da gösteriyor ki Eğirdir Gölü'nün kuzey ve güney kısımlarının açık olması bir boğaz görünümünde olduğunun bir göstergesidir.

Eğirdir Gölü'nün çevresinde 50 000 hektarı aşan tarım alanları mevcuttur. Belli başlı geniş ovalar Atabey, Gönen, Gelendost, Senirkent, Uluborlu, Yalvaç, Boğazova, Hoyran, Barla, Keçiborlu ovalarıdır. Bu ovalar sulamaya elverişli tarım alanlarıdır (Tokgözlü, 1996).

3.1.3.2. İklim

Eğirdir Gölü, Güney Anadolu ile Orta Anadolu'nun ortasında bulunması nedeniyle bu iki bölgenin ikliminin tesiri altında bulunmaktadır. Yani bulunduğu mevki itibariyle ılıman Akdeniz iklimi ile karasal İç Anadolu iklimi arasında bir geçiş teşkil eder. Buna göre yazları sıcak ve az yağışlı, kışları ise soğuk ve yağışlıdır. İlk ve sonbahar ayları ılıman ve yağışlı bir iklim karakterine sahiptir.

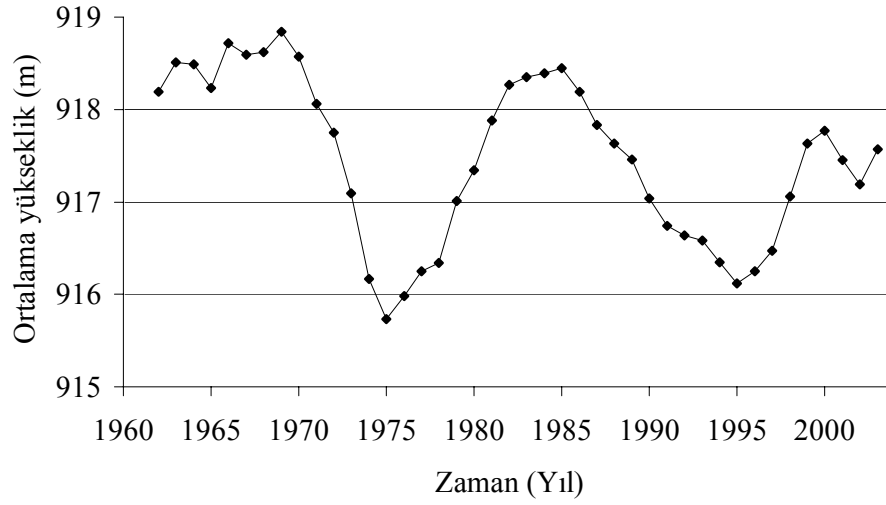
Eğirdir Gölü yağış alanında; orografik, depresyonik, konvektif yağışlar olmaktadır. Yazın konvektif, kışın depresyonik yağışlar hakimdir. Proje sahasının ortalama

yağışı 569.99 mm civarındadır. Yağışın mevsimlere göre dağılışı ise Isparta meteoroloji istasyonuna göre ilkbaharda %29, yazın %10, sonbaharda %17 ve kışın %44 dür (Tokgözlü, 1996). Eğirdir İlçesi'nin göle yakınlığı bu bölgede yıllık ortalama yağış ve nem oranının yüksek olmasında önemli bir etken teşkil etmektedir. Yıllık yağış en yüksek 748 mm, en düşük 512 mm ve ortalama nem % 68'dir. Hemen hemen bütün yıl boyunca bölgede kuzey ve güney yönlerindeki rüzgarlar hakimdir (Güneş, 2001).

Eğirdir Gölü'nden buharlaşma yoluyla önemli miktarda su kaybı olmaktadır. Serbest su yüzeyinden olan buharlaşma kaybını ölçmek amacıyla DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğü'ne ait ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonda A sınıfı tava kullanılmaktadır. Bu istasyonda ölçülen buharlaşma değerleri tava katsayısı olan 0.7 ile çarpılarak gerçek buharlaşma değeri bulunmaktadır (Tokgözlü, 1996).

3.1.3.3. Göl seviyesindeki değişimler

Eğirdir Gölü'nün 1962-2003 yılları arasındaki 42 yıllık gözlem periyodunda denizden yüksekliği ortalama aylık 917.5 m dir (Şekil 3.7). Eşel kot seviyesine göre rasat süresi boyunca ortalama olarak göl seviyesinin fazla değişmediği görülmektedir. Bu gözlem periyodunda gölde maksimum ve minimum göl seviyeleri arasındaki oynama 3.11 m dir. Gölde minimum seviyeler yaz aylarında gözlenirken, maksimum seviyelere ise ilkbahar ve sonbahar aylarında ulaşılmaktadır. Eğirdir Gölü'nde 10 yıllık periyotlarda göl seviyesindeki değişim incelendiğinde seviyenin Aralık ayından itibaren artmaya ve Haziran ayından itibaren de düşmeye başladığı görülmektedir. 10 yıllık periyotlar boyunca göl seviyesindeki maksimum azalmalar Eylül-Ekim aylarında görülmüştür. Ancak 1985 yılında göl seviyesindeki artış Eylül ayı ile başlayıp Haziran ayına kadar devam etmiştir. 42 yıllık rasat süresindeki ortalama göl seviyesinin altına 1975-1995 yıllarındaki periyotlarda düşüş olmuştur.



Şekil 3.7. Yıllara göre göl seviye değişimi

Eğirdir bölgesinde, uzun yıllar yağış değerleri kullanıldığında, göl seviyesindeki değişim yağışla orantılı bir değişkenlik göstermiştir. Yağışın fazla olduğu 1979-1981 yılları arasında göl seviyesinde 0.5 m.lik bir artış görülürken, bundan sonraki yıllarda yağıştaki azalmaya bağlı olarak göl seviyesinde de düşüş gözlenmeye başlanmıştır. Yağışın 900 mm civarında olduğu 1996 yılında ise göl seviyesi yaklaşık 916 m seviyesine düşmüştür. Bu değişimler göl seviyesinde 32 yıllık gözlem periyodu boyunca yağışla doğrudan bağlantılı olarak artış ve azalmalar olduğunu göstermektedir.

Göl seviyesinin sıcaklık ile değişiminin değerlendirilebilmesi amacıyla Eğirdir'in uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık değerleri ile göl seviyesindeki uzun yıllar aylık ortalama (1953-1996) değerleri kullanılmıştır. Mevsimsel olarak bakıldığında yaz aylarında göl seviyesinin düştüğü ve sonbahar ayından başlayarak Mayıs ayına kadar göl seviyesinin yükseldiği görülmüştür. Ancak ilkbahar mevsimiyle sıcaklığın artmasıyla göl seviyesinde de bir artış olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, göl seviyesinin doğrudan yağışla değil aynı zamanda sıcaklık ile orantılı olarak değiştiğini göstermektedir. Sıcaklık ve buharlaşma özellikle yaz aylarında göl seviyesinde değişimlere neden olmaktadır. Mayıs ayından itibaren Ekim ayına kadar göl seviyesinde düşüşler meydana gelmektedir. Gölden su kaybı buharlaşma ve sulama ile gerçekleşmektedir. Bu su kullanımı da Mayıs–Eylül aylarında

gerçekleşmektedir. Sonbahar ve ilkbahar aylarındaki değişim ise yağışla doğru orantılı olarak farklılık göstermektedir (Anonim, 1999).

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insanlar tarafından gerçekleştirilmiş örnekleri (gerçek beyin fonksiyonlarının ürünü olan örnekleri) kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretebileceğini belirleyen bilgisayar sistemleridir.

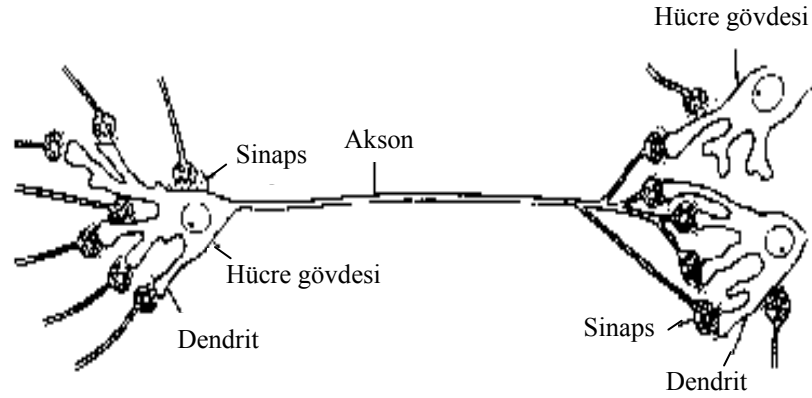
Yapay sinir ağlarının genel karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için örnekleri eğitip test edebilmeleri,
- Örnekleri ilişkilendirebilme ve sınıflandırma yapabilme yeteneği,
- Hata toleransına sahip olabilmeleri.

Yapay sinir ağlarının yukarıda belirtilen bir çok avantajlı özelliklerinin yanında bazı dezavantajları da vardır. Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yanılma yolu ile yapılmaktadır. Bazı ağlarda ağın parametre değerlerinin (öğrenme katsayısı, her tabakada olması gereken işlem elemanı sayısı, tabaka sayısı vb.) belirlenmesinde de bir kural olmaması diğer bir problemdir. Yapay sinir ağları sadece sayısal bilgiler ile çalışmaktadırlar. Problemin sayısal gösterime dönüştürülmesi gerekmektedir. Ağın eğitiminin ne zaman bitirileceğine karar vermek için de geliştirilmiş bir yöntem yoktur. Bütün bu dezavantajlarına rağmen yapay sinir ağları, her problem için değişik şekillerde çözüm üretebilmekte ve başarılı uygulamalar oluşturabilmektedir.

3.2.1.1. Biyolojik Sinir Hücresi

Biyolojik sinir ağları beynimizde bulunan bir çok sayıda sinir hücresinin bir koleksiyonudur. Bir sinir ağı milyonlarca sinir hücresinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Sinir hücreleri birbirleri ile bağlanarak fonksiyonlarını yerine getirirler. Beynimizde 10^{10} adet sinir hücresi ve bunlarında 6×10^{13} ten fazla sayıda bağlantısının olduğu bilinmektedir (Öztemel, 2003). Şekil 3.8’de biyolojik bir sinir hücresi verilmiştir. Biyolojik sinir hücresi, bir çekirdek, gövde ve iki uzantıdan oluşmaktadır. Bunlardan kısa ve dallanmış olan dentrit giriş bilgilerini alır, uzun ve tek olan akson ise çıktı bilgilerini diğer sinir hücrelerine taşır. Akson ve dentritin birleşim yerine sinaps adı verilir. Bunlar sinir hücrelerinden aldığı sinyalleri değerlendirirler ve eşik değeri üzerinde bir girdi varsa bir sonraki hücreye iletirler (Baylar vd., 1999).



Şekil 3.8. Biyolojik sinir hücresi

3.2.1.2. Yapay Sinir Hücresi

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi yapay sinir ağlarının da yapay sinir hücreleri vardır. Yapay sinir hücreleri mühendislik biliminde işlem elemanları olarak da adlandırılmaktadır. Bir yapay sinir hücresi, girdiler, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş ana kısımdan oluşur. Girdiler, diğer hücrelerden yada dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bunlar ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Ağırlıklar, girdi seti veya kendinden önceki bir tabakadaki başka bir işlem elemanının bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. Şekil 3.9’da ağırlık, girdinin hücre

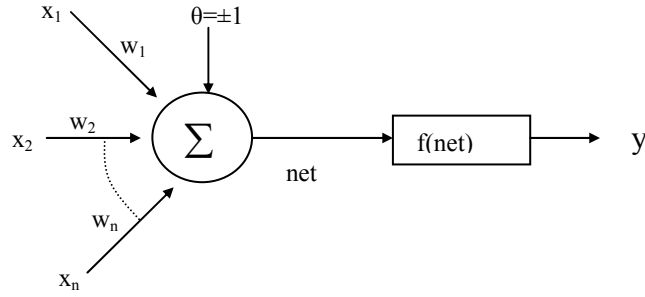
üzerindeki etkisini göstermektedir. Toplam fonksiyonu girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olan ağırlıklı toplamı bulmaktır. Hücreye taşınan her bir bilgi, girdi değerleri ve bağlantı ağırlık değerlerinin çarpılmasıyla elde edilir. Hücrede toplanan girdinin tümü net ise,

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + \theta \quad (3.28)$$

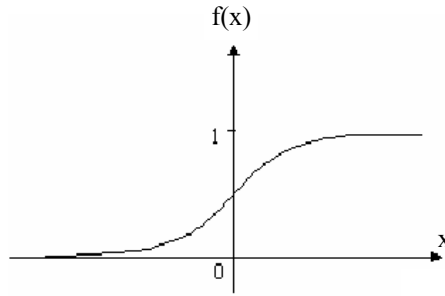
olarak elde edilebilir. Burada x_i girdi, w_i ağırlık, n bir hücreye gelen toplam girdi sayısı ve Σ toplam fonksiyonudur. Hücre modellerinde, net girdiyi artıran +1 yada azaltan -1 değerli eşik girişleri (θ) bulunabilir. Aktivasyon fonksiyonu ise toplam fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek hücre çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Toplam fonksiyonunda da olduğu gibi, aktivasyon fonksiyonu olarak da çıktıyı hesaplamak için değişik formüller kullanılmaktadır ve işlem elemanlarının hepsinin aynı fonksiyonu kullanması gerekmez. Bazı elemanlar aynı fonksiyonu diğerleri farklı fonksiyonları kullanabilir. Bir problem için en uygun aktivasyon fonksiyonu da yine tasarımcının denemeleri sonucunda belirleyebileceği bir durumdur. Genel olarak çok tabakalı algılayıcı modelinde aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon aşağıdaki formül ile gösterilmektedir.

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (3.29)$$

Burada net , işlem elemanına gelen toplam fonksiyonunu kullanarak belirlenen net girdi değerini göstermektedir. Sigmoid fonksiyonu Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılan diğer fonksiyonlar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen değer, çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi işlem elemanlarının birçok girdisi ve tek çıktısı olabilir (Öztemel, 2003; Aydoğan vd., 2000).



Şekil 3.9. Yapay sinir hücre yapısı



Şekil 3.10. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

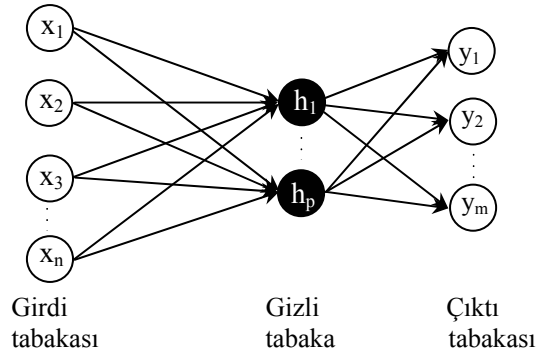
Çizelge 3.1. Aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonu	Açıklama
Lineer fonksiyon $f(net) = net$	Gelen girdiler olduğu gibi hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.
Step fonksiyonu $f(x) = \begin{cases} 1 & net > \theta \\ 0 & net \leq \theta \end{cases}$	Gelen net girdi değerinin belirlenen bir eşik değerinin (θ) altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerlerini alır.
Sinus fonksiyonu $f(net) = Sin(net)$	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.
Eşik değer fonksiyonu $f(net) = \begin{cases} 0 & net \leq 0 \\ net & 0 < net < 1 \\ 1 & net \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilgilerini 0 veya 1'den büyük veya küçük olmasına göre bir değer alır. 0 ve 1 arasında değerler alabilir. Bunların dışında değerler almaz.
Hiperbolik tanjant fonksiyonu $f(net) = (e^{net} + e^{-net}) / (e^{net} - e^{-net})$	Gelen net girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanır.

3.2.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir ağları bağlantılı olan birçok sinir hücresi içerir. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rasgele olmaz. Genel olarak hücreler üç tabaka halinde ve her tabaka içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar. Girdilerin uygulandığı tabaka girdi tabakası, çıktının elde edildiği tabaka çıktı tabakasıdır. Bu girdi ve çıktı tabakaları arasında gizli tabakalar bulunmaktadır. Çıktıları direkt olarak gözlenemediği için bu şekilde adlandırılan gizli tabakalar bir veya daha fazla olabilirler (Kartalopoulos, 1996).

Girdi tabakasındaki sinir hücreleri dış dünyadan aldıkları bilgileri gizli tabakalara gönderirler. Gizli tabakalar, girdi tabakasından gelen bilgileri işleyerek çıktı tabakasına gönderirler. Çıktı tabakasındaki sinir hücreleri, gizli tabakadan gelen bilgileri işleyerek ağı girdi tabakasından sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir. Bu üç tabakanın her birinde bulunan sinir hücreleri ve tabakalar arası ilişkiler şematik olarak Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Basit bir yapay sinir ağı

Yapay sinir ağlarında sinir hücrelerinin bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine ağı eğitilmesi denir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rasgele olarak atanmaktadır. Ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerleri bulununcaya kadar bu ağırlık değerleri değiştirilir. Ağı doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme

yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine ağıın öğrenmesi denir. Ağırlıkların değışmesi belirli kurallara göre yürütölmektedir. Bu kurallara öğrenme kuralları denir.

Yapay sinir ağılarında öğrenme olayının iki aşaması vardır. Birinci aşamada ağı gösterilen örnek için ağıın üreteceğı çıktı belirlenir. Bu çıktı değerinin doğruluk derecesine göre ikinci aşamada ağıın bağlantılarının sahip olduğı ağırlıklar değıştirilir. Ağıın çıktısının belirlenmesi ve ağırlıkların değıştirilmesi öğrenme kuralına bağılı olarak farklı şekillerde olmaktadır.

Ağıın eğitimi tamamlandıktan sonra öğrenip öğrenmediğini ölçmek için yapılan denemelere ise ağıın test edilmesi denmektedir. Test etmek için ağıın öğrenme sırasında görmediğı örnekler kullanılır. Test etme sırasında ağıın ağırlık değeri değıştirilmez. Test örnekleri ağı gösterilir. Ağı eğitim sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak görmediğı bu örnekler için çıktılar üretir. Elde edilen çıktıların doğruluk değeri ağıın öğrenmesi hakkında bilgiler verir. sonuçlar ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir. Eğitimde kullanılan örnek setine eğitim seti, test için kullanılan sete ise test seti denir. Yapay sinir ağılarının bu şekilde bilinen örneklerden belirli bilgileri çıkartarak bilinmeyen örnekler hakkında genelleme yapabilme yeteneğine adaptif öğrenme denir (Öztemel, 2003).

3.2.1.4. Yapay Sinir Ağlarının Öğrenme Stratejilerine ve Yapılarına Göre Sınıflandırılması

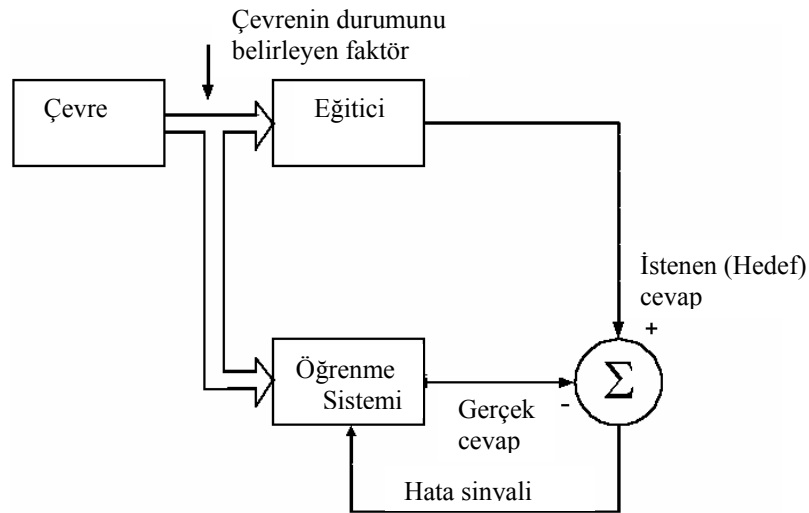
Yapay sinir ağıları, genel olarak birbirleri ile bağlantılı sinir hücrelerinden oluşmaktadırlar. Her bir sinir hücresi arasındaki bağlantıların yapısı, ağıın yapısını belirler. Kullanılan bir öğrenme kuralına göre, hatayı sıfıra indirecek şekilde ağıın ağırlıkları değıştirilir. Günümüzde hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli yapay sinir ağı modelleri geliştirilmiştir.

Yapay sinir ağıları gibi örneklerden öğrenen sistemlerde değışik öğrenme stratejileri kullanılmaktadır. Öğrenmeyi gerçekleştirecek olan sistem ve kullanılan öğrenme

algoritması bu stratejilere bağılı olarak değişmektedir. Genel olarak dört öğrenme stratejisi uygulanmaktadır.

i) Eğitici öğrenme

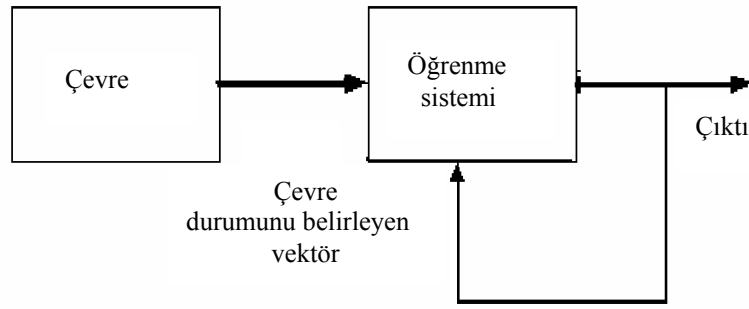
Bu tür stratejide öğrenen sistemin olayı öğrenebilmesine bir eğitici yardımcı olmaktadır. Eğitici sisteme öğrenilmesi istenen olay ile ilgili örnekleri Girdi/Çıktı seti olarak verir. Yani, her örnek için hem girdiler hem de girdiler karşılığında oluşturulması gereken çıktılar sisteme gösterilirler. Sistemin görevi girdileri eğiticinin belirlediği çıktılara haritalamaktır. Bu sayede olayın girdileri ile çıktıları arasındaki ilişkiler öğrenilmektedir. Çok katmalı algılayıcı bu stratejiyi kullanan ağlara örnek olarak verilebilir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Eğitici öğrenme

ii) Eğitici öğrenme

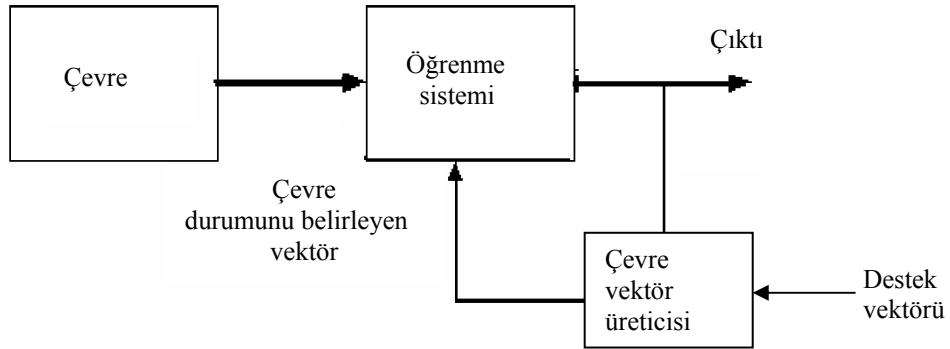
Bu tür stratejide sistemin öğrenmesine yardımcı olan herhangi bir eğitici yoktur. Sisteme sadece girdi değerleri gösterilir. Örneklerdeki parametreler arasındaki ilişkileri sistemin kendi kendisine öğrenmesi beklenir. Bu, daha çok sınıflandırma problemleri için kullanılan bir stratejidir. Yalnız sistemin öğrenmesi bittikten sonra çıktıların ne anlama geldiğini gösteren etiketlenmenin kullanıcı tarafından yapılması gerekmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Eğitici-siz öğrenme

iii) Destekleyici öğrenme

Bu tür stratejide de öğrenen sisteme bir eğitici yardımcı olur. Fakat eğitici her girdi seti için üretilmesi gereken çıktı setini sisteme göstermek yerine sistemin kendisine gösterilen girdilere karşılık çıktısını üretmesini bekler ve üretilen çıktının doğru veya yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretir. Sistem, eğiticiden gelen bu sinyali dikkate alarak öğrenme sürecini devam ettirir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Destekleyici öğrenme

iv) Karma stratejiler

Yukarıdaki üç stratejiden birkaçını birlikte kullanarak öğrenme gerçekleştiren ağlarda vardır. Burada kısmen eğitici, kısmen ise eğitici-siz olarak öğrenme yapan ağlar kastedilmektedir. Radyal tabanlı yapay sinir ağları ve olasılık tabanlı ağlar buna örnek olarak verilebilir (Öztemel, 2003).

Bir yapay sinir ağında sinir hücrelerinin bağlanması sonucu oluşan topoloji, sinir hücrelerinin sahip oldukları toplam ve aktivasyon fonksiyonları, öğrenme stratejisi ve kullanılan öğrenme kuralı ağın modelini belirlemektedir. Günümüzde çok sayıda

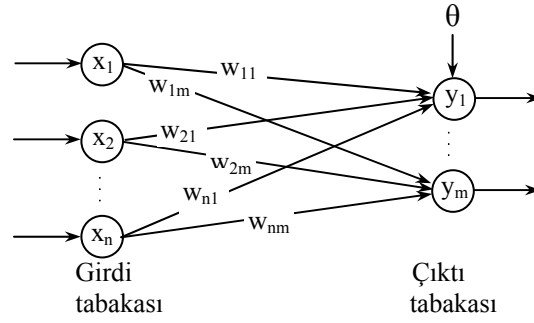
model geliştirilmiştir. Bu modellerden tek tabakalı ve çok tabakalı algılayıcı ağları aşağıda anlatılmıştır.

i) Tek tabakalı algılayıcı yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar tek tabakalı yapay sinir ağları ile başlamıştır. Tek tabakalı yapay sinir ağları sadece girdi ve çıktı tabakalarından oluşur. Her ağın bir veya daha fazla girdisi ve çıktısı vardır. Çıktı nöronları bütün girdi nöronlarına bağlanmaktadır (Öztemel, 2003). Şekil 3.15’de görüldüğü gibi tek tabakalı ağda, girdi nöronları çıktı nöronları ile tamamen bağlıdır fakat diğer girdi nöronları ile bağlantılı değildir ve çıktı nöronları da diğer çıktı nöronları ile bağlantılı değildir (Fausett, 1994). Her bağlantının bir ağırlığı vardır. Tek tabakalı bir ağa örnek vermek gerekirse Şekil 3.15’deki ağ n girdi ve m çıktıdan oluşmaktadır. Bu ağlarda sinir hücrelerinin değerlerinin ve dolayısıyla ağ çıktısının sıfır olmasını önleyen bir eşik değeri (θ) vardır. Eşik değerinin girdisi daima birdir. Ağın çıktısı ağırlıklandırılmış girdi değerlerinin eşik değeri ile toplanması sonucu bulunur. Bu girdi değeri bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek ağın çıktısı hesaplanır. Şu formülle verilebilir.

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + \theta\right) \quad (3.30)$$

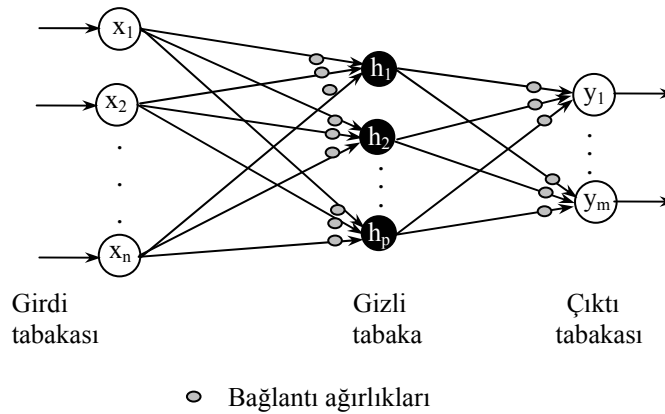
Tek tabakalı algılayıcılarda çıktı fonksiyonu doğrusal fonksiyondur. Yani ağa gösterilen örnekler iki sınıf arasında paylaştırılarak iki sınıfı birbirinden ayıran doğru bulunmaya çalışılır. Bu yüzden eşik değer fonksiyonu kullanılmaktadır. Burada ağın çıktısı 1 veya -1 değerlerini (bazen 1 ve 0 değerlerini) almaktadır. 1 ve -1 sınıfları temsil etmektedir. Eğer ağın çıktıları 1 ise birinci sınıfta -1 ise ikinci sınıfta kabul edilmektedir (Öztemel, 2003).



Şekil 3.15. Tek tabakalı yapay sinir ağı

ii) Çok tabakalı algılayıcı yapay sinir ağları

Çok tabakalı bir algılayıcı ağı girdi tabakası, hesaplama yapan sinir hücreleri olan bir veya daha fazla gizli tabaka ve çıktı tabakasından oluşur (Sajikumar ve Thandaveswara, 1999). Şekil 3.16'dan görüldüğü üzere iki komşu tabaka arasında ileriye doğru ağırlıklı bağlantılar vardır. Yapay sinir ağlarında tek tabakalı algılayıcı modelinin çözüm üretilmediği doğrusal olmayan ilişkiler söz konusu olduğunda çok tabakalı algılayıcılara ihtiyaç vardır. Çok tabakalı algılayıcı ağlarının eğitilmesi çok zor olabildiği gibi bazı durumlarda eğitim çok başarılı olabilir. Tek tabakalı ağlarda çözümü zor veya mümkün olmayan problemler çok tabakalı ağlarda kolaylıkla çözülebilmektedir (Fausett, 1994).



Şekil 3.16. Çok tabakalı sinir ağı

Çok tabakalı algılayıcı ağları eğitici öğrenme stratejisine göre çalışır. Çok tabakalı algılayıcı ağının öğrenme kuralı en küçük kareler yöntemine dayalı Delta Öğrenme

Kuralının genelleştirilmiş halidir. Bu yüzden öğrenme kuralına Genelleştirilmiş Delta Kuralı da denilmektedir. Ağın öğrenebilmesi için eğitim seti adı verilen ve örneklerden oluşan bir sete ihtiyaç vardır. Bu eğitim seti içinde her örnek için ağın hem girdiler hem de o girdiler için üretmesi gereken çıktılar belirlenmiştir. Genelleştirilmiş delta kuralı iki safhadan oluşur (Öztemel, 2003).

- İleri doğru hesaplama: Ağın çıktısını hesaplama safhasıdır.
- Geriye doğru hesaplama: ağırlıkları değiştirme safhasıdır.

İleri doğru hesaplama

İleri bildirim sırasında, her girdi hücresi (X_i) girdi sinyalini alır ve Z_1, \dots, Z_p gizli hücrelerinin her birine bu sinyalleri yayar. Her bir gizli hücre aktivasyonunu hesaplar ve çıktı hücresine sinyalini (z_j) gönderir. Ağın verilen girdi örneğine karşılık çıktıyı oluşturmak için her çıktı hücresi (Y_k) aktivasyonunu (y_k) hesaplar.

İleri beslemede, her girdi hücresi ($X_i, i=1, \dots, n$) girdi sinyalini (x_i) alır ve bu sinyali gizli hücrelere yayar. Her gizli hücre ($Z_j, j=1, \dots, p$) ağırlıklı girdi sinyallerini toplar,

$$net_h_j = b_{oj} + \sum_{i=1}^n x_i w_{ij}, \quad (3.31)$$

çıkı sinyalini hesaplamak için aktivasyon fonksiyonunu uygular,

$$h_j = f(net_x_j), \quad (3.32)$$

ve çıktı hücrelerine bu sinyali gönderir. Her çıktı hücresi ($Y_k, k=1, \dots, m$) ağırlıklı girdi sinyalleri toplar,

$$net_y_k = b_{ok} + \sum_{j=1}^p h_j w_{jk} \quad (3.33)$$

ve çıktı sinyalini hesaplamak için aktivasyon fonksiyonunu uygular.

$$y_k = f(net_y_k), \quad (3.34)$$

Geriye doğru hesaplama

Eğitim esnasında, hesaplanan çıktı (y_k) ile istenen çıktı (t_k) değeri karşılaştırılarak hata belirlenir. Bu hataya bağlı olarak, δ_k ($k=1, \dots, m$) faktörü hesaplanır. δ_k , çıktı hücreindeki (Y_k) hatayı gizli tabakadaki bütün hücelere geri dağıtmak ve çıktı ve gizli tabakalar arasındaki ağırlıkları da düzeltmek için kullanılır. Benzer olarak, δ_j ($j=1, \dots, p$) faktörü her gizli hücre Z_j için hesaplanır ve girdi tabakasına hatayı geri yaymak için değil, gizli ve girdi tabakaları arasındaki ağırlıkları düzeltmek için kullanılır.

δ faktörlerinin hepsi belirlendikten sonra, bütün tabakalardaki ağırlıklar eş zamanlı olarak ayarlanır. w_{jk} ağırlıklarını ayarlama (gizli hücre Z_j den çıktı hücresi Y_k ya) δ_k faktörüne ve gizli hücre Z_j nin z_j aktivasyonuna bağlıdır. v_{ij} ağırlıklarını ayarlama (girdi hücresi X_i den gizli hücre Z_j ye) δ_j faktörüne ve girdi hücresinin x_i aktivasyonuna bağlıdır.

Hatanın geriye yayılması yönteminde, her çıktı birimi (y_k , $k=1, \dots, m$) girdi eğitim örneğine tekabül eden hedef örneğini alarak hata terimini hesaplar,

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(net_{-} y_k), \quad (3.35)$$

ağırlık düzeltme terimini (daha sonra w_{jk} yı yenilemek için kullanılan) hesaplar,

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k h_j, \quad (3.36)$$

bias düzeltme terimini (daha sonra b_{ok} yı yenilemek için kullanılan) hesaplar,

$$\Delta b_{ok} = \alpha \delta_k, \quad (3.37)$$

ve aşağıdaki tabakadaki hücelere δ_k yı gönderir. Her gizli hücre (Z_j , $j=1, \dots, p$) delta girdilerini toplar (yukarıdaki tabakadaki hücrelerden),

$$net_{-} \delta_j = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk}, \quad (3.38)$$

hata terimini hesaplamak için aktivasyon fonksiyonunun türevi ile çarpılır,

$$\delta_j = net_ \delta_j f'(net_ h_j), \quad (3.39)$$

ağırlık düzeltme terimini (daha sonra w_{ij} yi yenilemek için kullanılan) hesaplar,

$$\Delta w_{ij} = \alpha \delta_j x_i, \quad (3.40)$$

ve bias düzeltme terimini (daha sonra b_{oj} yi yenilemek için kullanılan) hesaplar,

$$\Delta b_{oj} = \alpha \delta_j. \quad (3.41)$$

Ağırlıkları ve biasları yenilemek için, her çıktı hücresi (y_k , $k=1, \dots, m$) bias ve ağırlıkları ($j=0, \dots, p$) :

$$w_{jk}(yeni) = w_{jk}(eski) + \Delta w_{jk}. \quad (3.42)$$

şeklinde yeniler. Her gizli hücre (Z_j , $j=1, \dots, p$) bias ve ağırlıkları ($i=0, \dots, n$):

$$w_{ij}(yeni) = w_{ij}(eski) + \Delta w_{ij}. \quad (3.43)$$

şeklinde hesaplanır (Fausett, 1994).

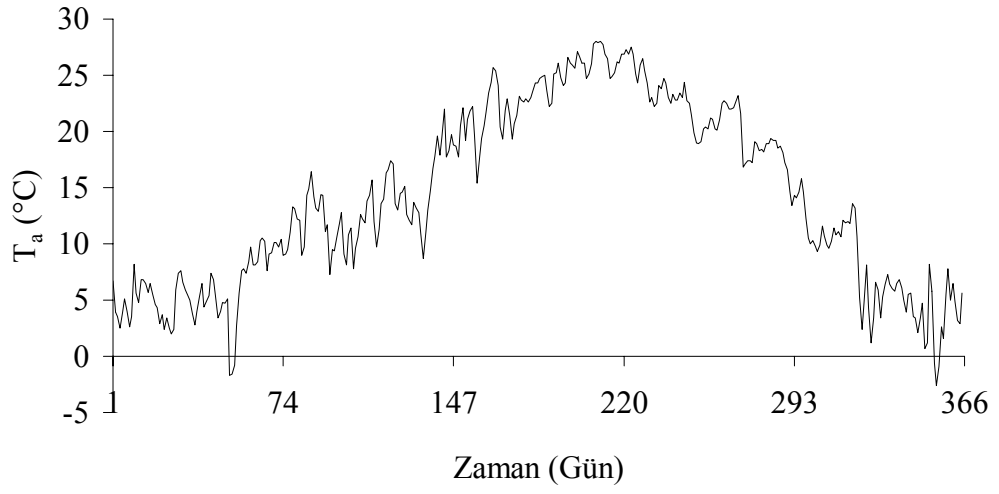
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Hidrolojik çevrimin önemli parametrelerinden biri olan buharlaşmanın belirlenmesinde kullanılan metotlar, direkt ve direkt olmayan metotlar olmak üzere ikiye ayrılır. Meteorolojik parametrelere bağlı olarak elde edilen direkt olmayan metotlar içerisinde en yaygın olarak kullanılan ve diğer metotların da temelini oluşturan metot Penman metodudur. Eğirdir Gölü kenarına kurulan Otomatik Meteorolojik İstasyon tarafından ölçülen ve günlük değişimleri Şekil 4.1’de verilen hava sıcaklığı, T_a , su sıcaklığı, T_s , güneş radyasyonu, R_c , hava basıncı, P_a , rüzgar hızı, u_2 , nisbi nem, R_h meteorolojik parametreleri, Bölüm 3’de açıklanan Penman denkleminde kullanılarak, 2001 ve 2002 yılları için günlük bazda buharlaşmalar hesaplanmıştır. Daha az parametrelili ve Penman metoduna alternatif buharlaşma modelleri geliştirmek için metotta kullanılan parametrelerin buharlaşma değerleri üzerindeki ağırlık yüzdelerini belirlemek amacıyla Şekil 4.2’de meteorolojik parametreler ile Penman buharlaşma değerleri arasında saçılma diyagramları çizilmiştir. Her bir saçılma diyagramı için korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Penman buharlaşması üzerine etken parametrelerin ağırlık yüzdeleri aşağıdaki bağıntı ile belirlenmiştir.

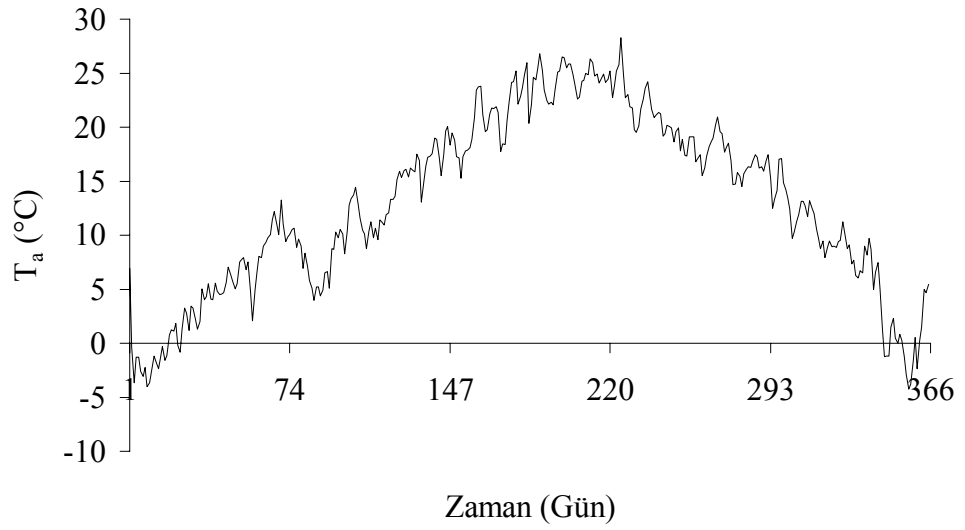
$$EP_i(\%) = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (4.1)$$

Burada, EP_i : parametre ağırlık yüzdesi ve R_i : parametre korelasyon sayısıdır.

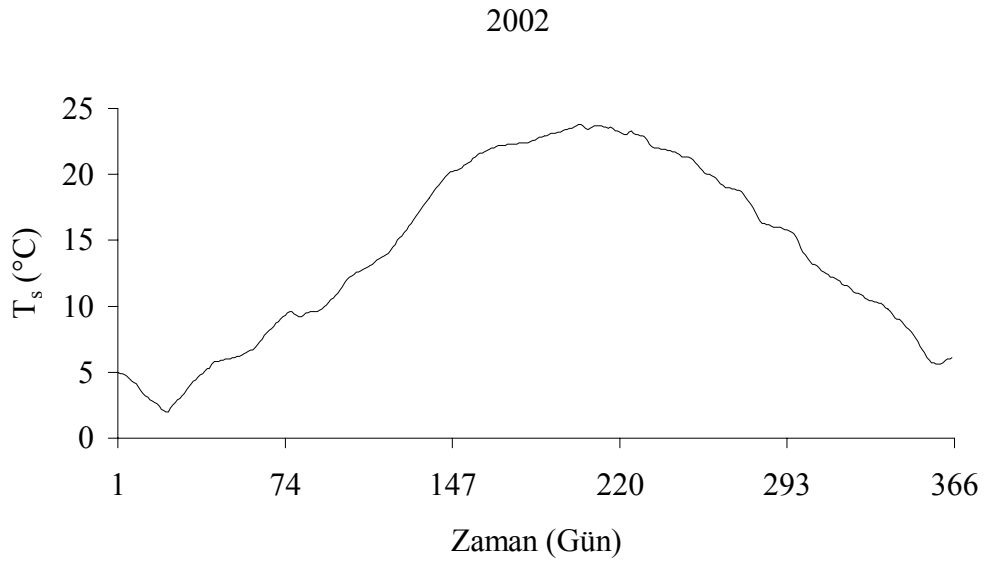
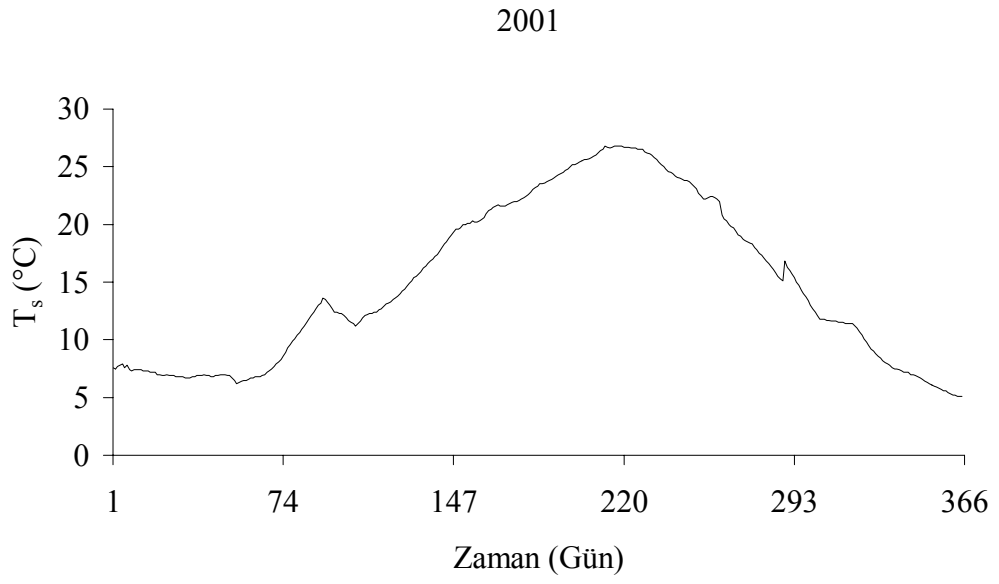
2001



2002

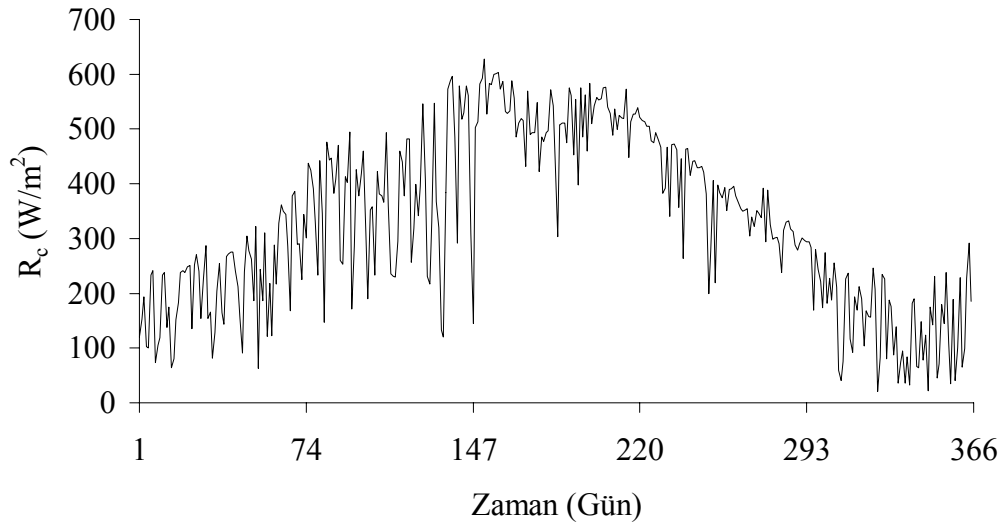


Şekil 4.1. Meteorolojik parametrelerin günlük değişimleri

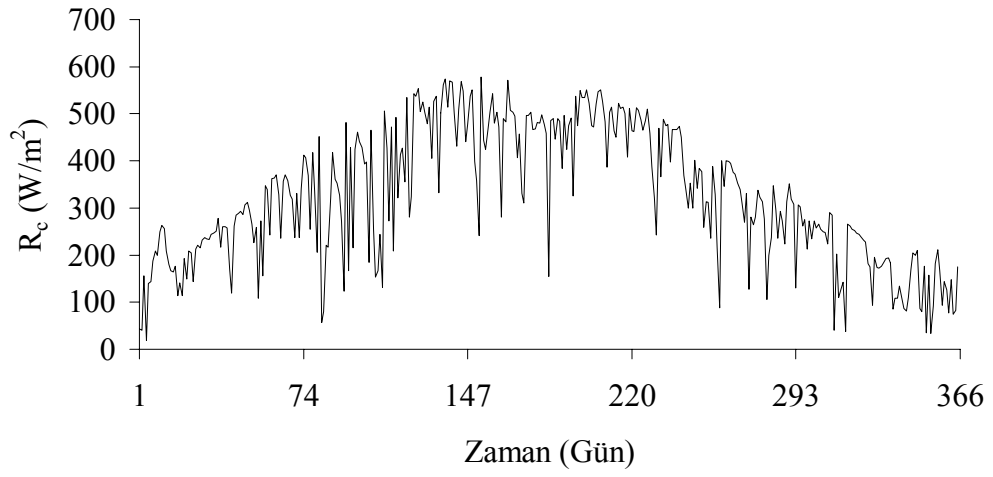


Şekil 4.1. Meteorolojik parametrelerin günlük değişimleri (devam)

2001

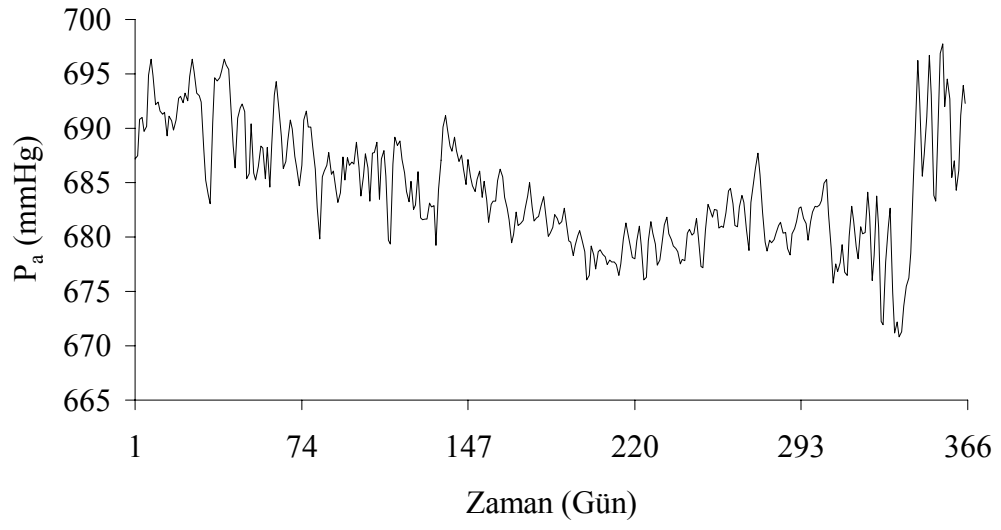


2002

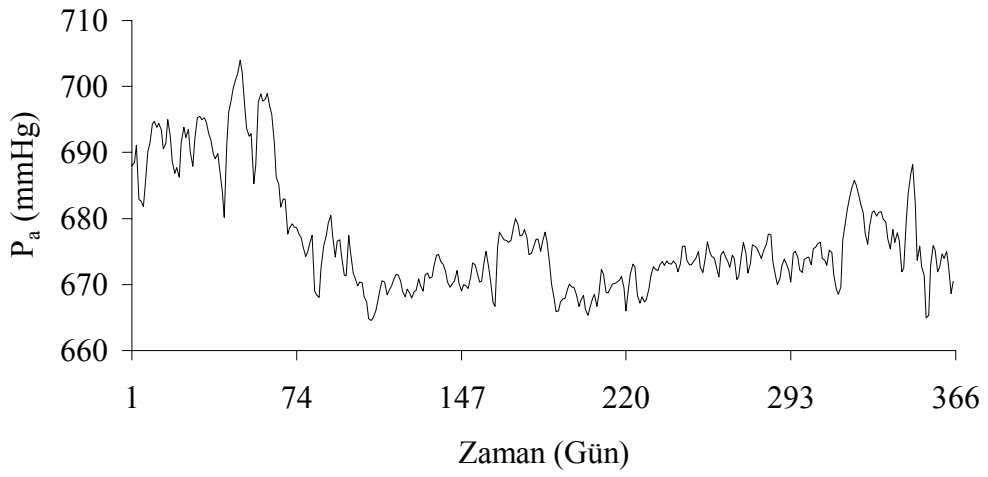


Şekil 4.1. Meteorolojik parametrelerin günlük değişimleri (devam)

2001

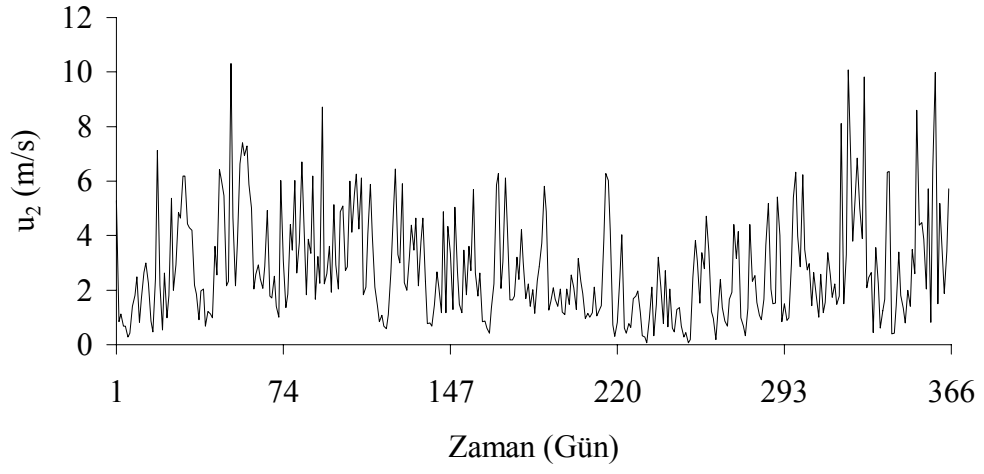


2002

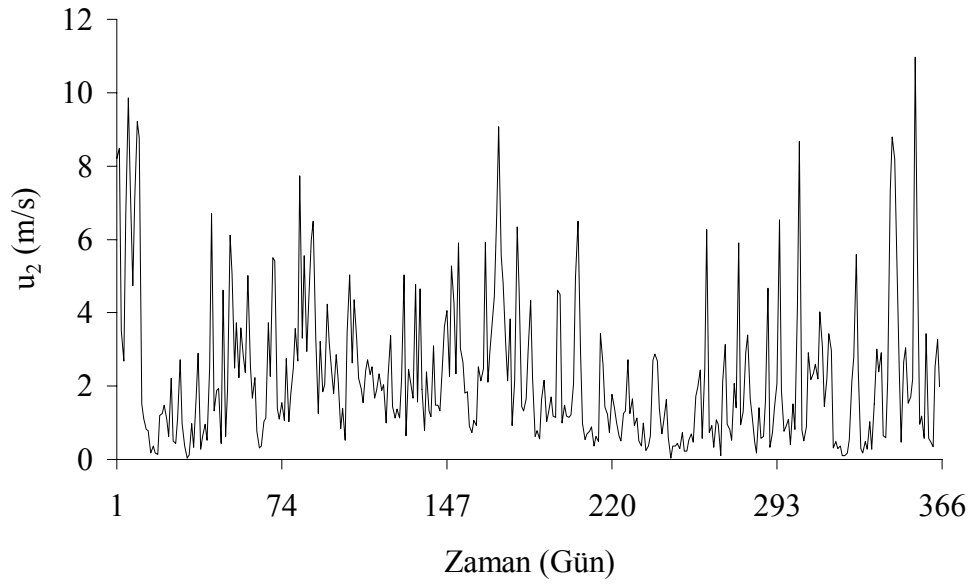


Şekil 4.1. Meteorolojik parametrelerin günlük değişimleri (devam)

2001

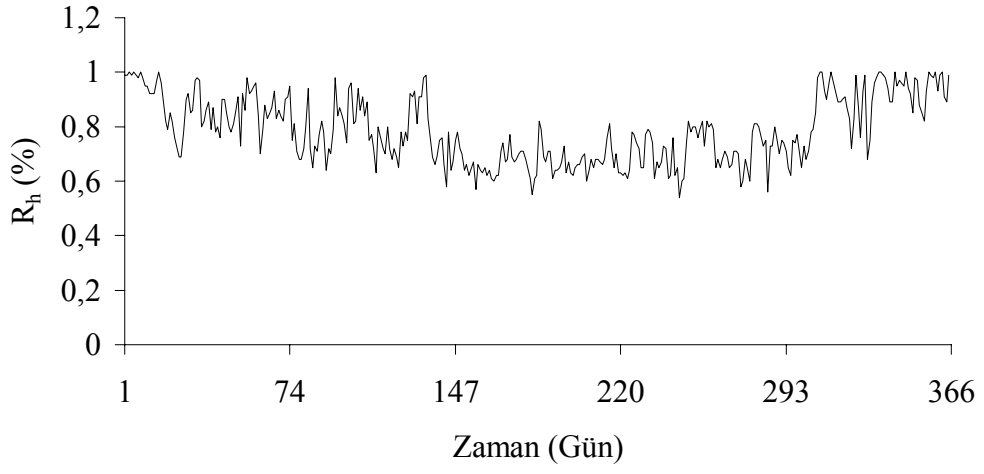


2002

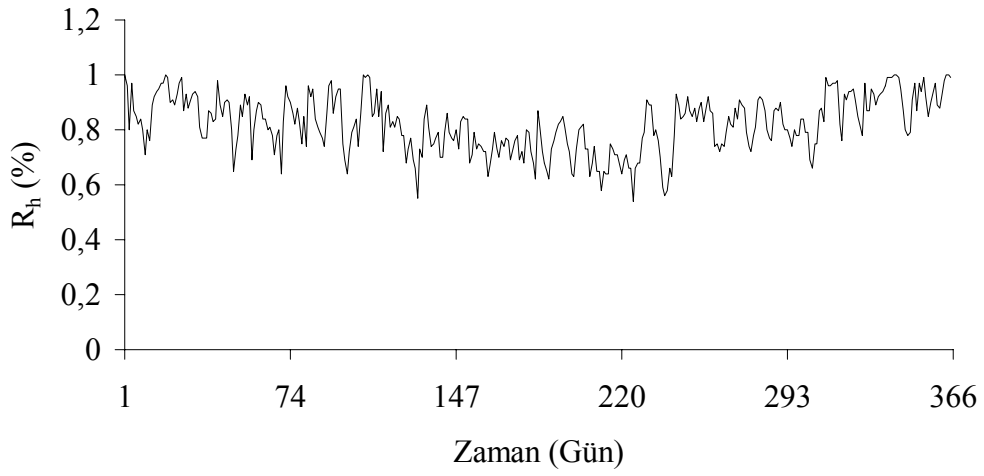


Şekil 4.1. Meteorolojik parametrelerin günlük değişimleri (devam)

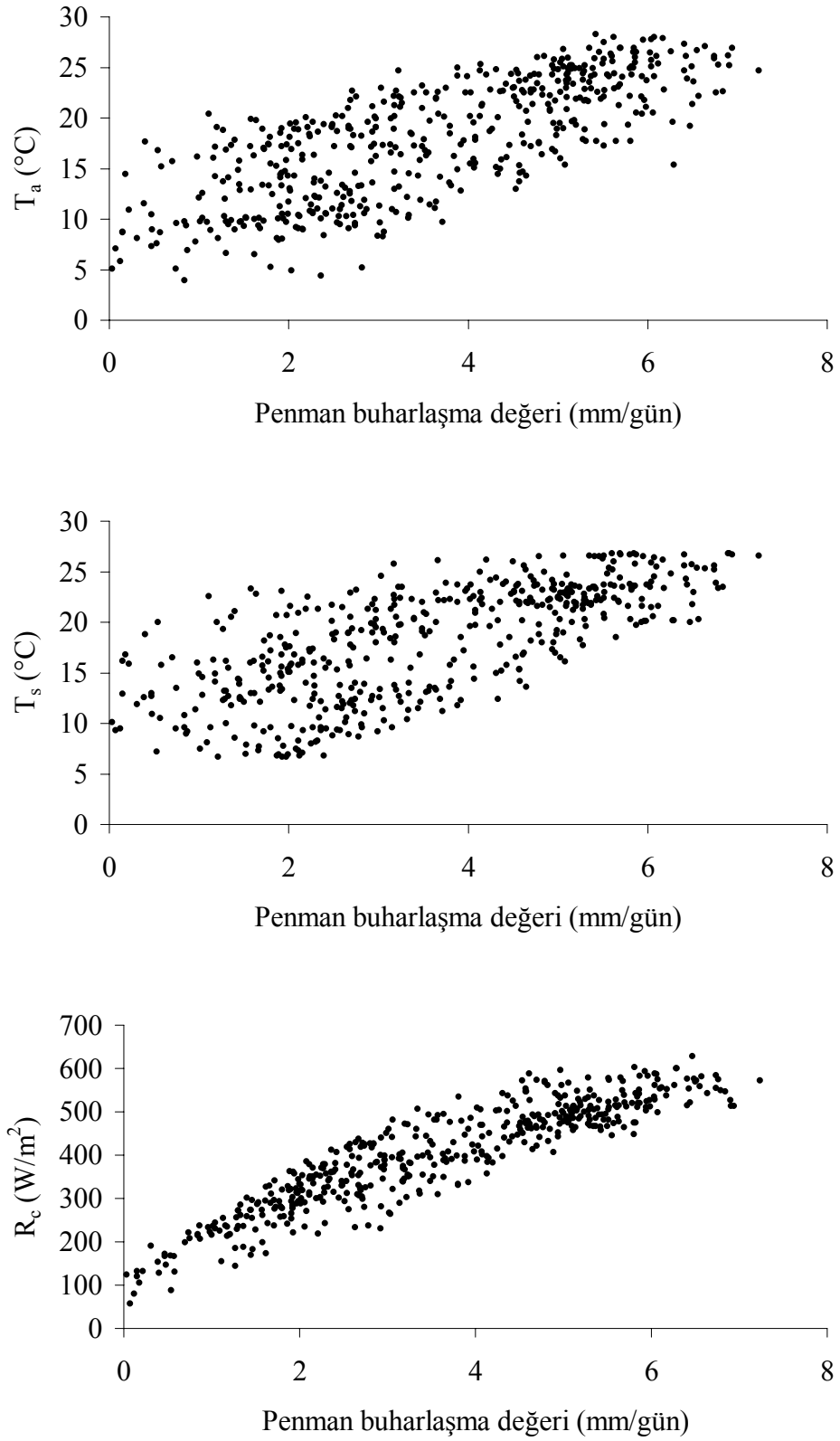
2001



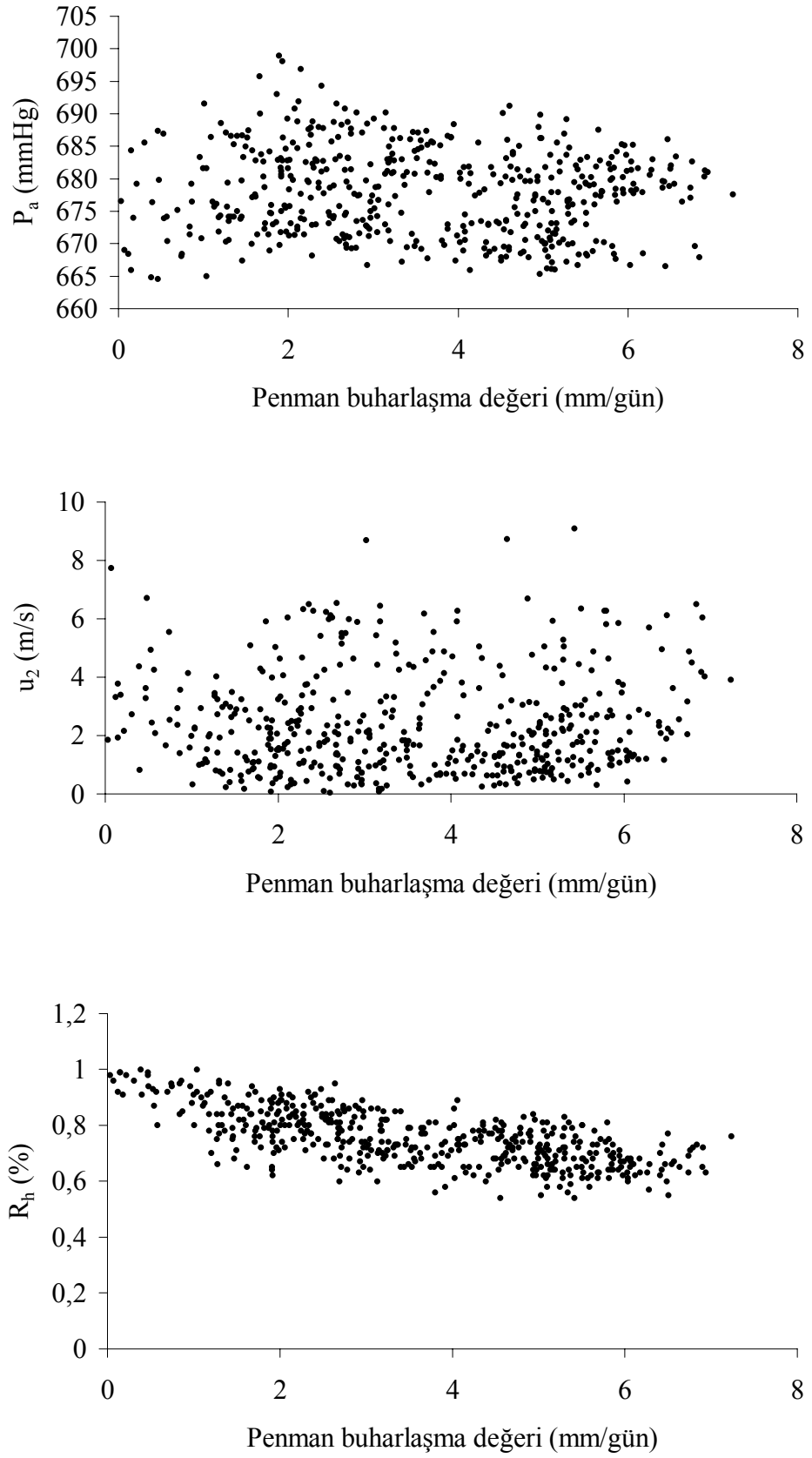
2002



Şekil 4.1. Meteorolojik parametrelerin günlük değişimleri (devam)



Şekil 4.2. Penman buharlaşma değerleri ile meteorolojik parametreler arasındaki saçılma diyagramları



Şekil 4.2. Penman buharlaşma değerleri ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki diyagramları (devam)

Denklem 4.1 yardımıyla belirlenen korelasyon katsayıları ve ağırlık yüzdeleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1’den de görüldüğü üzere, buharlaşma üzerinde etken parametreler, güneş radyasyonu (R_c), hava sıcaklığı (T_a), su sıcaklığı (T_s), nisbi nem (R_h), hava basıncı (P_a) ve rüzgar hızı (u_2) olarak tespit edilmiştir. P_a ve u_2 parametrelerinin buharlaşma üzerinde ağırlık yüzdelerinin az olmalarından dolayı, geliştirilecek olan buharlaşma modellerinde bu parametreler ihmal edilmişlerdir.

Çizelge 4.1. Meteorolojik parametrelerin Penman buharlaşma değerleri ile olan korelasyon katsayıları ve ağırlık yüzdeleri (2001-2002)

Meteorolojik parametre	Korelasyon katsayısı (R_i)	Ağırlık yüzdesi (%) (EP_i)
R_c	0.84	0.35
T_a	0.58	0.24
T_s	0.51	0.21
R_h	0.47	0.20
P_a	0.007	0.003
u_2	0.0002	0.00008
Toplam	2.4072	1.00

Son zamanlarda, hidrolojinin pek çok alanında oldukça yaygın olarak uygulanan yapay sinir ağı (YSA) modelleri günlük buharlaşmanın tahmininde kullanılmıştır. Yapay sinir ağı modelleri, genellikle YSA(i,j,k) ağ mimarisi ile gösterilir. Burada i , girdi tabakasındaki nöron sayısı, j gizli tabakadaki nöron sayısı, k ise çıktı tabakasındaki nöron sayısıdır. Geliştirilen yapay sinir ağı modellerinde, girdi tabakası nöronu $i=2, 3$ ve 4 , çıktı tabakası nöronu $k=1$ olarak alınmış ve farklı gizli tabaka nöron sayıları denenerek buharlaşma olayını en iyi temsil eden nöron sayıları belirlenmiştir. Yapay sinir ağı modellerinde girdi ve çıktı tabakalarında kullanılan meteorolojik parametrelerin farklı birimlere sahip olmalarından dolayı, parametreleri boyutsuz büyüklükler cinsinden elde etmek için denklem 4.2 kullanılmıştır.

$$F = (F_i - F_{\min}) / (F_{\max} - F_{\min}) \quad (4.2)$$

Burada, F , herhangi bir boyutsuz değer, F_i , ölçümlerdeki i . değer, F_{\max} ve F_{\min} ölçümlerdeki maksimum ve minimum değerlerdir. Böylece veriler 0~1 arasına

indirgenmiş ve aynı zamanda değişkenler boyutsuz hale getirilerek aralarındaki benzerliğin rasgele seçilmiş olma etkisi de ortadan kaldırılmıştır.

Penman metodu sonuçlarına göre iki, üç ve dört girdili olmak üzere beş adet yapay sinir ağı Penman modelleri (YSA_P) kurulmuştur. Modeller kurulurken 2001 verileri eğitim seti ve 2002 verileri de test seti olarak kullanılmıştır. Ağ, eğitim seti ile dağıtılan bilgiyi öğrendikten sonra, test seti ile yapay sinir ağı modelinin doğruluğu ve geçerliliği değerlendirilmiştir. Kurulan YSA_P modellerinde, girdi tabakası nöronları YSA_{P1} modelinde R_c ve T_a, YSA_{P2} modelinde R_c ve T_s, YSA_{P3} modelinde R_c, T_a ve R_h, YSA_{P4} modelinde R_c, T_s ve R_h ve YSA_{P5} modelinde ise R_c, T_a, T_s ve R_h olarak dikkate alınmıştır. YSA_P modellerinde çıktı değerleri olarak Penman metodundan elde edilen buharlaşma değerleri kullanılmıştır. Modellerde sigmoid aktivasyon fonksiyonu, geriye yayımlı öğrenme algoritması ve bu algorithmada yakınsama hızını etkileyen parametreler olan öğrenme oranı 0.001 ve momentum 0.1 alınarak çeşitli gizli tabaka nöron sayıları denenmiştir. Çizelge 4.2’de geliştirilen YSA_P modelleri verilmiştir.

En iyi yapay sinir ağı modeli determinasyon katsayısı (R²) ve ortalama karesel hata (MSE) değerlerine göre belirlenmiştir. Determinasyon katsayısının 1’e ve ortalama karesel hatanın da 0’a yakınlığı buharlaşma tahmin modellerinin yeterliliğini göstermektedir. Determinasyon katsayısı (R²) ve ortalama karesel hata (MSE) aşağıdaki gibi verilebilir.

$$R^2 = (E_o - \hat{E}) / E_o \quad (4.3)$$

$$E_o = \sum_{i=1}^n (E_{i(\text{ölçüm})} - E_{ort})^2 \quad (4.4)$$

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^n (E_{i(\text{ölçüm})} - E_{i(\text{tahmin})})^2 \quad (4.5)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_{i(\text{ölçüm})} - E_{i(\text{tahmin})})^2 \quad (4.6)$$

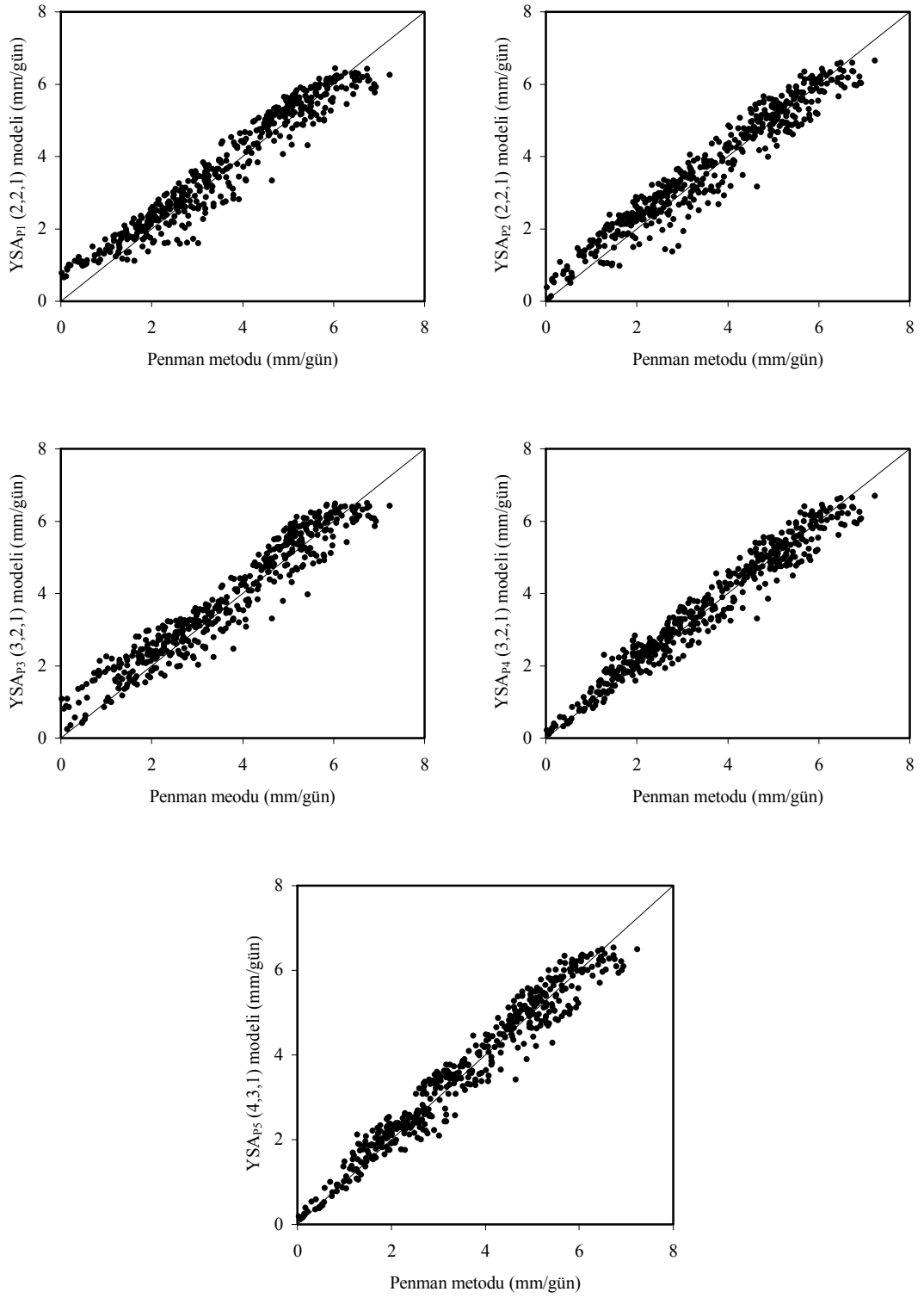
Burada, n gözlenmiş verilerin sayısı, $E_{i(ölçüm)}$ Penman metodundan hesaplanan buharlaşma, $E_{i(tahmin)}$ tahmin edilen buharlaşma değeri ve E_{ort} Penman metodundan elde edilen buharlaşma değerlerinin ortalamasıdır.

Çizelge 4.2. Geliştirilen çeşitli YSA_P modelleri

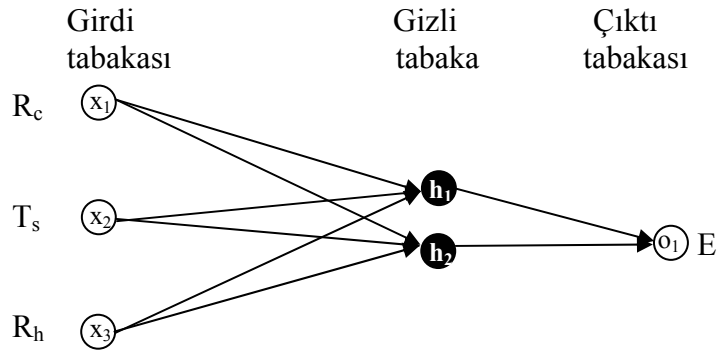
Modeller	Eğitim		Test	
	MSE	R ²	MSE	R ²
R_c-T_a				
YSA _{P1} (2,2,1)	0.185	0.937	0.211	0.921
YSA _{P1} (2,3,1)	0.170	0.942	0.233	0.913
YSA _{P1} (2,4,1)	0.169	0.943	0.235	0.912
YSA _{P1} (2,5,1)	0.167	0.943	0.245	0.908
YSA _{P1} (2,6,1)	0.148	0.949	0.232	0.913
YSA _{P1} (2,7,1)	0.164	0.944	0.384	0.857
R_c-T_s				
YSA _{P2} (2,2,1)	0.198	0.933	0.223	0.917
YSA _{P2} (2,3,1)	0.185	0.937	0.239	0.911
YSA _{P2} (2,4,1)	0.183	0.938	0.236	0.912
YSA _{P2} (2,5,1)	0.183	0.938	0.229	0.914
YSA _{P2} (2,6,1)	0.168	0.943	0.292	0.891
YSA _{P2} (2,7,1)	0.163	0.945	0.262	0.902
R_c-T_a-R_h				
YSA _{P3} (3,2,1)	0.153	0.948	0.337	0.874
YSA _{P3} (3,3,1)	0.148	0.950	0.427	0.840
YSA _{P3} (3,4,1)	0.129	0.956	0.924	0.655
YSA _{P3} (3,5,1)	0.139	0.953	0.389	0.855
YSA _{P3} (3,6,1)	0.127	0.957	0.477	0.822
YSA _{P3} (3,7,1)	0.124	0.958	0.468	0.825
R_c-T_s-R_h				
YSA _{P4} (3,2,1)	0.150	0.949	0.124	0.954
YSA _{P4} (3,3,1)	0.148	0.950	0.127	0.952
YSA _{P4} (3,4,1)	0.131	0.956	0.145	0.946
YSA _{P4} (3,5,1)	0.135	0.954	0.146	0.946
YSA _{P4} (3,6,1)	0.116	0.961	0.934	0.651
YSA _{P4} (3,7,1)	0.122	0.958	0.164	0.939
R_c-T_a-T_s-R_h				
YSA _{P5} (4,2,1)	0.179	0.939	0.166	0.938
YSA _{P5} (4,3,1)	0.137	0.953	0.127	0.953
YSA _{P5} (4,4,1)	0.128	0.956	0.132	0.951
YSA _{P5} (4,5,1)	0.129	0.956	0.149	0.945
YSA _{P5} (4,6,1)	0.118	0.960	0.780	0.708
YSA _{P5} (4,7,1)	0.107	0.964	0.197	0.926

Çizelge 4.2'den de görüldüğü üzere, en küçük ortalama karesel hataya (MSE) ve en yüksek determinasyon katsayısına (R²) sahip YSA_P modelleri, YSA_{P1}(2,2,1), YSA_{P2}(2,2,1), YSA_{P3}(3,2,1), YSA_{P4}(3,2,1) ve YSA_{P5}(4,3,1) modelleridir. Yapay sinir ağı modelleri karşılaştırıldığında bütün modeller benzer şekilde performans göstermiştir. Modeller arasındaki tek fark girdi parametre sayılarıdır. YSA_{P4}(3,2,1)

modeli R_c , T_s ve R_h parametrelerini içerirken $YSA_{P5}(4,3,1)$ modeli bu parametrelerle birlikte T_a 'yı da içermektedir. Bu durum $YSA_{P4}(3,2,1)$ modelinin bir parametre eksik olması ile buharlaşma tahmin performansını etkilememektedir. Aynı zamanda $YSA_{P4}(3,2,1)$ modeli 2002 yılına ait buharlaşmayı % 95 oranında tahmin etmesi Penman buharlaşma değerine % 95 oranında bir yaklaşım sağladığını ifade eder. Bu sonuç, sınırlı veri olması durumunda, Penman metodunun yerine, yapay sinir ağı modellerinin buharlaşma tahmininde kullanılabilirliğini göstermektedir. Model performansını detaylı görmek için, Şekil 4.3'de YSA_P modellerinin sonuçları ile Penman sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 4.3'den görüldüğü üzere bütün noktalar 45° lik doğru etrafında dağılım göstermektedir. Bu durum sonuçların uyum içerisinde olduğunun göstergesidir. Şematik olarak ağı mimarisi Şekil 4.4'de verilen YSA_{P4} modeli, Penman metoduna göre daha az parametre, hesaplama bakımından daha az süre gerektirdiği ve ölçümü kolay olan parametreler ile geliştirilebildiği için buharlaşma tahminlerinde kullanım kolaylığı sağlamıştır.



Şekil 4.3. Penman ve YSA_P modelleri arasında çizilen saçılma diyagramları



Şekil 4.4. Seçilen $YSA_{p4}(3,2,1)$ modelinin şematik gösterimi

Aynı zamanda geliştirilen YSA_p modellerinde kullanılan ve korelasyon matrisi Çizelge 4.3’de verilen parametreler dikkate alınarak iki, üç ve dört girdili beş adet lineer ve nonlinear buharlaşma tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Çizelge 4.3. R_c , T_a , T_s ve R_h parametrelerinin korelasyon matrisi

	R_c	T_a	T_s	R_h
R_c	1	0.31	0.26	0.31
T_a	0.31	1	0.87	0.34
T_s	0.26	0.87	1	0.22
R_h	0.31	0.34	0.22	1

Lineer buharlaşma tahmin modelleri (BTM_p) daha iyi yaklaşım sağladığı için burada sadece bu modeller ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Lineer buharlaşma tahmin modellerine ait bağıntılar (E_{BTMP}) ve standartlaştırılmış şekilleri ($(E_{ST})_{BTMP}$) aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$E_{BTMP_1} = -2.34 + 0.00999 R_c + 0.1136 T_a \quad (4.7)$$

$$(E_{ST})_{BTMP_1} = 0.686 R_c + 0.386 T_a \quad (4.8)$$

ve

$$E_{BTMP_2} = -2.38 + 0.01043 R_c + 0.1059 T_s \quad (4.9)$$

$$(E_{ST})_{BTM_{P2}} = 0.717 R_C + 0.358 T_s \quad (4.10)$$

Burada E_{BTM} = buharlaşma (mm/gün),

R_C = güneş radyasyonu (W/m^2),

T_a = hava sıcaklığı ($^{\circ}C$),

T_s = su sıcaklığı ($^{\circ}C$) dir.

Diğer taraftan, en iyi üç parametrelili modeller,

$$E_{BTM_{P3}} = -0.972 + 0.00974 R_C + 0.10194 T_a - 1.4504 R_h \quad (4.11)$$

$$(E_{ST})_{BTM_{P3}} = 0.669 R_C + 0.347 T_a - 0.078 R_h \quad (4.12)$$

ve

$$E_{BTM_{P4}} = -0.035 + 0.00978 R_C + 0.0923 T_s - 2.5205 R_h \quad (4.13)$$

$$(E_{ST})_{BTM_{P4}} = 0.672 R_C + 0.312 T_s - 0.135 R_h \quad (4.14)$$

olarak belirlenmiştir. Burada R_h nisbi nem (%) dir. Dört parametrelili model ise,

$$E_{BTM_{P5}} = -0.638 + 0.009671 R_C + 0.05257 T_a + 0.04937 T_s - 1.873 R_h \quad (4.15)$$

$$(E_{ST})_{BTM_{P5}} = 0.665 R_C + 0.179 T_a + 0.167 T_s - 0.100 R_h \quad (4.16)$$

şeklinindedir. 2001 ve 2002 yıllarına ait meteorolojik veriler kullanılarak BTM_P ler ile günlük buharlaşmalar hesaplanmıştır. BTM_P 'nin performansını ortaya koymak için literatürdeki klasik buharlaşma metotlarından seçilen, Priestley-Taylor, Brutsaert-Stricker, deBruin, Makkink ve Hamon metotları kullanılarak günlük buharlaşma değerleri belirlenmiştir. 2001 ve 2002 yılları için elde edilen sonuçlar ile birlikte çeşitli istatistiksel parametreler Çizelge 4.4'de verilmiştir. Çizelge 4.4'den görüldüğü üzere BTM_P modelleri, klasik metotlardan daha küçük ortalama mutlak hatalara ve

daha yüksek determinasyon katsayılarına sahiptir. Klasik metotlar arasında Priestley-Taylor metodu en yüksek R^2 (2001 yılı için 0.886 ve 2002 yılı için 0.919) ve de Bruin metodu da en düşük R^2 (2001 yılı için 0.085 ve 2002 yılı için 0.125) değerine sahiptir. Bununla birlikte, klasik metotlar ve buharlaşma tahmin modelleri arasında en yüksek R^2 (2001 yılı için 0.937 ve 2002 yılı için 0.932) ve en düşük ortalama mutlak hataya sahip model BTM_{P5} elde edilmiştir. Sonuçta, bu geliştirilen BTM_P modellerinin, istatistiksel olarak (ortalama, standart sapma vb.) literatürdeki klasik metotlardan ayırt edilemez olduğu da görülmüştür.

Klasik metotlar ve buharlaşma tahmin modelleri için ortalama aylık buharlaşma değerleri ve Penman metodu ile olan yüzde hataları hesaplanmıştır ve Çizelge 4.5'de verilmiştir. Penman buharlaşma değerlerine göre geliştirilen metotlar arasındaki aylık hatalar 2001 yılı için BTM_{P5} en iyi tahminle % 0 ve Makkink metodu en kötü tahminle % 23.93 olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, 2002 yılı yıllık hata miktarlarına göre, Priestley-Taylor metodunun % 3.70 hata ile en iyi tahmine ve Hamon metodu da % 27.38 hata ile en kötü tahmine sahip olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, Çizelge 4.5'den görüldüğü gibi buharlaşma tahmin modelleri klasik metotlarla karşılaştırıldığında, BTM_P modellerinin hataları % 10 dan küçüktür. Bu ise geliştirilen modellerin kullanılabilirliğinin göstergesidir.

Çizelge 4.4. Lineer buharlaşma modelleri ile klasik metotların istatistiksel analizi

Metotlar	2001						2002					
	Ortalama (mm/gün)	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Penman ile karşılaştırmalar		Ortalama (mm/gün)	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık	Penman ile karşılaştırmalar	
					Ort. Mutlak Hata	R ²					Ort. Mutlak Hata	R ²
Pen	3.8385	1.718	0.001	-1.08	-	-	3.3178	1.640	-0.04	-1.13	-	-
P-T	3.4580	1.812	0.022	-1.20	0.458	0.866	3.1936	1.684	-0.120	-1.18	0.329	0.919
B-S	4.0267	2.162	0.020	-1.19	0.607	0.800	3.7502	2.002	-0.124	-1.17	0.643	0.770
deBruin	3.9411	1.969	0.584	-0.02	1.268	0.085	2.8016	1.891	1.105	0.91	1.219	0.125
Mak	2.9233	1.015	-0.121	-1.08	0.973	0.505	2.7505	0.971	-0.281	-0.94	0.721	0.677
Ham	4.4549	2.548	0.502	-0.96	1.190	0.154	4.225	2.342	0.414	-0.93	1.162	0.176
BTM _{p1}	3.8404	1.656	-0.275	-0.93	0.365	0.930	3.5317	1.602	-0.406	-0.69	0.420	0.909
BTM _{p2}	3.8402	1.649	-0.227	-1.13	0.383	0.922	3.5901	1.543	-0.443	-0.77	0.447	0.893
BTM _{p3}	3.8402	1.659	-0.295	-0.87	0.353	0.934	3.4656	1.615	-0.409	-0.66	0.370	0.928
BTM _{p4}	3.8406	1.659	-0.260	-1.03	0.352	0.934	3.465	1.580	-0.442	-0.73	0.352	0.931
BTM _{p5}	3.8404	1.662	-0.271	-0.98	0.344	0.937	3.4696	1.596	-0.421	-0.71	0.355	0.932

Pen = Penman metodu; P-T = Priestley-Taylor metodu; B-S = Brutsaert-Stricker metodu; deBruin = deBruin metodu; Mak = Makkink metodu; Ham = Hamon metodu; BTM_{p1} = denk. (4.7); BTM_{p2} = denk. (4.9); BTM_{p3} = denk. (4.11); BTM_{p4} = denk. (4.13); BTM_{p5} = denk. (4.15); R² = determinasyon katsayısı.

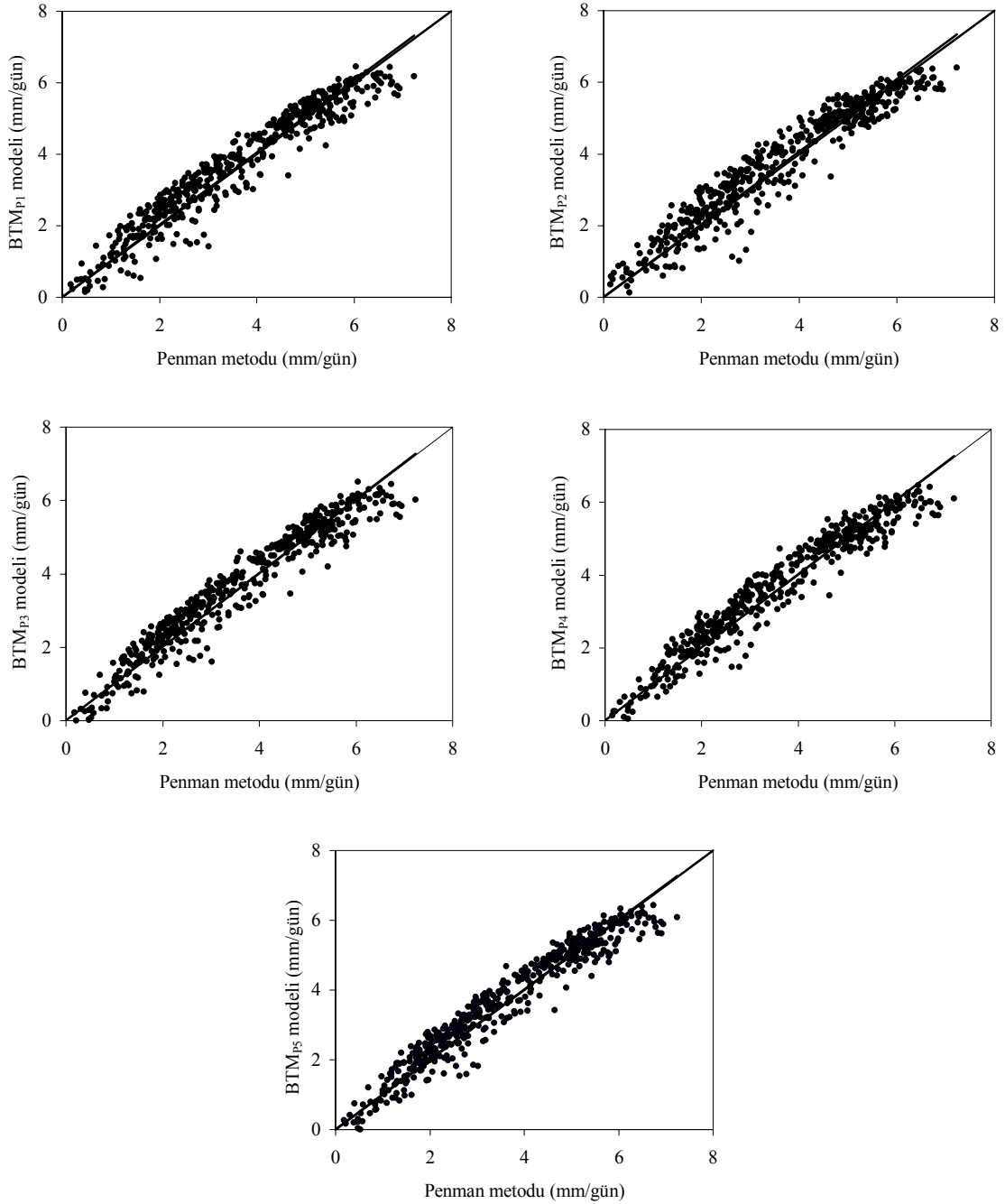
Çizelge 4.5. Penman metodu ile geliştirilen BTM_p modelleri ve klasik metotlar arasındaki ortalama aylık buharlaşmalar (mm/gün) ve hatalar

Aylar	Pen	P-T		B-S		deBruin		Makkink		Hamon		BTM _{p1}		BTM _{p2}		BTM _{p3}		BTM _{p4}		BTM _{p5}	
	Buh	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)	Buh.	Hata (%)
Mart	2.27	1.88	-17.18	2.16	-4.85	2.85	25.55	2.05	-9.69	1.97	-13.22	2.27	0.00	2.12	-6.61	2.27	0.00	2.11	-7.05	2.16	-4.85
Nisan	2.47	2.12	-14.17	2.45	-0.81	2.9	17.41	2.24	-9.31	2.92	18.22	2.6	5.26	2.68	8.50	2.58	4.45	2.61	5.67	2.58	4.45
Mayıs	3.56	3.27	-8.15	3.81	7.02	3.51	-1.40	2.85	-19.94	4.14	16.29	3.64	2.25	3.76	5.62	3.61	1.40	3.67	3.09	3.63	1.97
Haziran	5.63	5.16	-8.35	6.03	7.10	5.53	-1.78	3.97	-29.48	7.1	26.11	5.45	-3.20	5.45	-3.20	5.49	-2.49	5.51	-2.13	5.49	-2.49
Temmuz	5.83	5.6	-3.95	6.57	12.69	4.93	-15.44	4.06	-30.36	8.4	44.08	5.72	-1.89	5.64	-3.26	5.7	-2.23	5.63	-3.43	5.68	-2.57
Ağustos	5.24	5.07	-3.24	5.96	13.74	4.32	-17.56	3.63	-30.73	5.15	-1.72	5.13	-2.10	5.22	-0.38	5.09	-2.86	5.17	-1.34	5.15	-1.72
Eylül	3.43	3.02	-11.95	3.52	2.62	3.64	6.12	2.67	-22.16	3.75	9.33	3.67	7.00	3.68	7.29	3.67	7.00	3.7	7.87	3.7	7.87
Ekim	2.29	1.54	-32.75	1.72	-24.89	3.85	68.12	1.9	-17.03	2.23	-2.62	2.25	-1.75	2.19	-4.37	2.33	1.75	2.34	2.18	2.33	1.75
Yıllık-2001	30.72	27.66	-9.96	32.22	4.88	31.53	2.64	23.37	-23.93	35.66	16.08	30.73	0.03	30.74	0.07	30.74	0.07	30.74	0.07	30.72	0.00
Mart	1.82	1.6	-12.09	1.86	2.20	1.98	8.79	1.81	-0.55	1.47	-19.23	1.77	-2.75	1.83	0.55	1.76	-3.30	1.76	-3.30	1.73	-4.95
Nisan	2.1	2.12	0.95	2.5	19.05	1.51	-28.10	2.09	-0.48	2.04	-2.86	2.28	8.57	2.49	18.57	2.2	4.76	2.28	8.57	2.23	6.19
Mayıs	4.22	4.23	0.24	4.99	18.25	3.11	-26.30	3.39	-19.67	4.49	6.40	4.45	5.45	4.61	9.24	4.39	4.03	4.47	5.92	4.42	4.74
Haziran	4.73	4.33	-8.46	5.04	6.55	4.75	0.42	3.42	-27.70	6.5	37.42	4.66	-1.48	4.75	0.42	4.61	-2.54	4.66	-1.48	4.64	-1.90
Temmuz	5.05	5.03	-0.40	5.93	17.43	3.77	-25.35	3.71	-26.53	7.47	47.92	5.18	2.57	5.05	0.00	5.1	0.99	4.94	-2.18	5.04	-0.20
Ağustos	4.55	4.48	-1.54	5.28	16.04	3.47	-23.74	3.48	-23.52	6.02	32.31	4.83	6.15	4.77	4.84	4.79	5.27	4.73	3.96	4.78	5.05
Eylül	2.37	2.43	2.53	2.87	21.10	1.52	-35.86	2.29	-3.38	3.36	41.77	2.98	25.74	3.1	30.80	2.83	19.41	2.83	19.41	2.86	20.68
Ekim	1.68	1.32	-21.43	1.51	-10.12	2.27	35.12	1.8	7.14	2.43	44.64	2.08	23.81	2.11	25.60	2.04	21.43	2.03	20.83	2.04	21.43
Yıllık-2002	26.52	25.54	-3.70	29.98	13.05	22.38	-15.61	21.99	-17.08	33.78	27.38	28.23	6.45	28.71	8.26	27.72	4.52	27.70	4.45	27.74	4.60

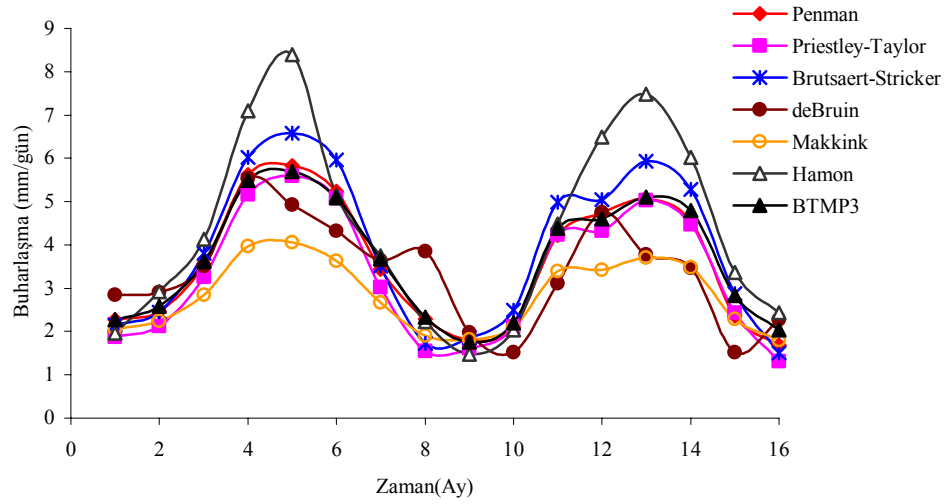
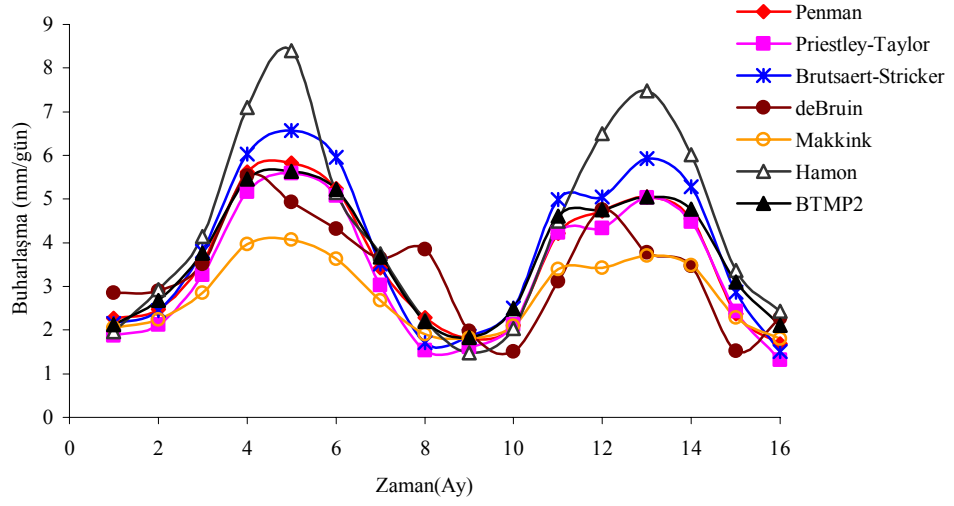
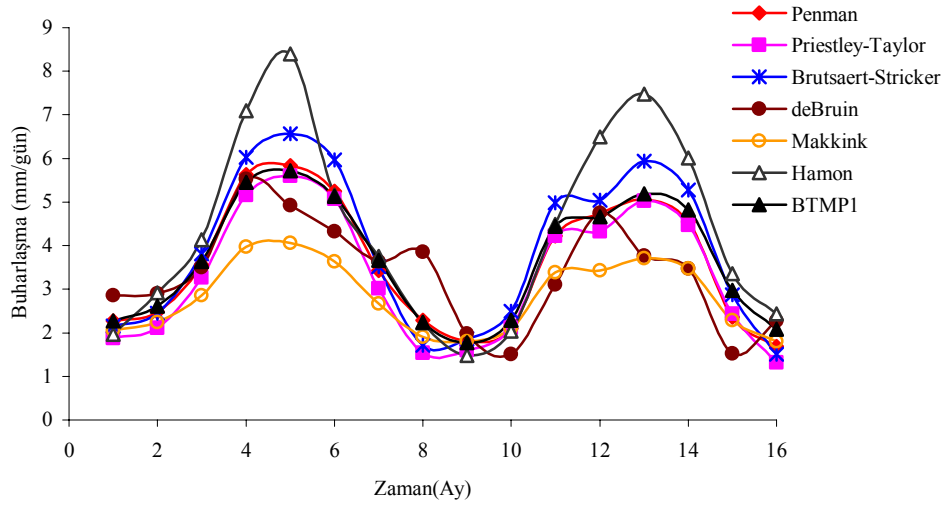
Pen = Penman metodu; P-T = Priestley-Taylor metodu; B-S = Brutsaert-Stricker metodu; BTM_{p1} = denk. (4.7); BTM_{p2} = denk. (4.9); BTM_{p3} = denk. (4.11); BTM_{p4} = denk. (4.13); BTM_{p5} = denk. (4.15).

*Yüzde hata = $100 \times [(E_{tahmin} - E_{ölçüm}) / E_{ölçüm}]$

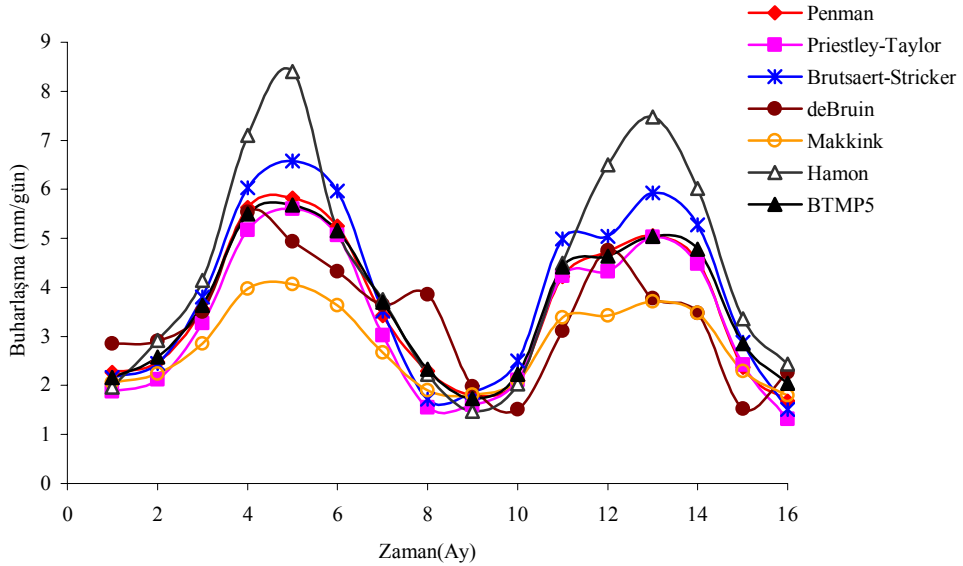
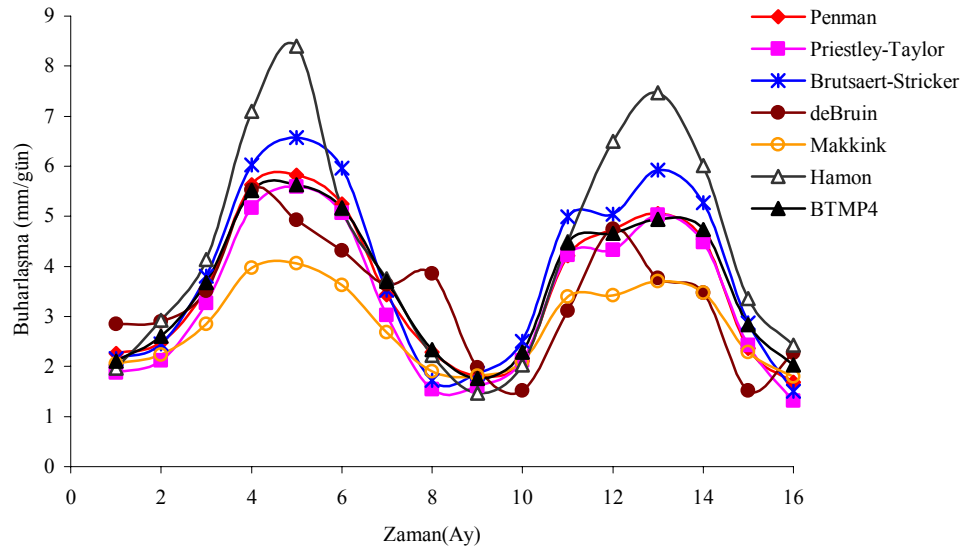
BTM_plerin performansını ortaya koymak için Şekil 4.5’de verilen saçılma diyagramlarında noktalar 45° lik doğrular etrafında dağılıma sahiptir. Bu ise, sonuçların uyum içerisinde olduğunun göstergesidir.



Şekil 4.5. Penman metodu ile buharlaşma tahmin modelleri arasındaki saçılma diyagramları



şekil 4.6. Buharlaşma tahmin modelleri ve klasik metotlar arasında ortalama aylık buharlaşma zaman serileri



Şekil 4.6. Buharlaşma tahmin modelleri ve klasik metotlar arasında ortalama aylık buharlaşma zaman serileri (devam)

Geliştirilen modeller ve klasik metotlar arasındaki aylık ortalama buharlaşma zaman serileri Şekil 4.6’da verilmiştir. Geliştirilen modeller ve Priestley-Taylor metodunun, Penman metodu ile hemen hemen aynı trendleri izlediği görülmüştür. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında Hamon metodu yukarıda tahminler verirken, Makkink metodu düşük tahminler vermektedir. de Bruin metodu, Haziran ayında maksimum buharlaşma değerleri vererek farklı trendler izlerken, diğerleri Temmuz ayında maksimum değerler verir. Geliştirilen buharlaşma tahmin modelleri ve Penman

metodu arasında, diğerlerinden daha iyi bir uyuma olduğunu da karşılaştırmalar göstermiştir. Sonuç olarak, Şekil 4.6'dan görüldüğü üzere Penman metoduna alternatif olarak geliştirilen BTM_P modellerinin sınırlı meteorolojik parametre durumlarında uygulamaya yönelik olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, Çizelge 4.6'da hem YSA_P hem de BTM_P modellerine ait R^2 ve MSE değerleri verilmiştir. Çizelge 4.6'dan görüldüğü üzere YSA_{P4} ve BTM_{P5} modellerinin, Penman metodunun alternatifi olduğu ve sınırlı parametre durumunda kullanılabilirliği söylenebilir.

Çizelge 4.6. BTM_P ve YSA_P modelleri

Model	Eğitim seti (2001)		Test seti (2002)		Model	Eğitim seti (2001)		Test seti (2002)	
	MSE	R^2	MSE	R^2		MSE	R^2	MSE	R^2
YSA_{P1}	0.185	0.937	0.211	0.921	BTM_{P1}	0.204	0.931	0.242	0.909
YSA_{P2}	0.198	0.933	0.223	0.917	BTM_{P2}	0.228	0.922	0.286	0.893
YSA_{P3}	0.153	0.948	0.337	0.874	BTM_{P3}	0.194	0.934	0.192	0.928
YSA_{P4}	0.150	0.949	0.124	0.954	BTM_{P4}	0.193	0.934	0.186	0.931
YSA_{P5}	0.137	0.953	0.127	0.953	BTM_{P5}	0.185	0.937	0.183	0.932

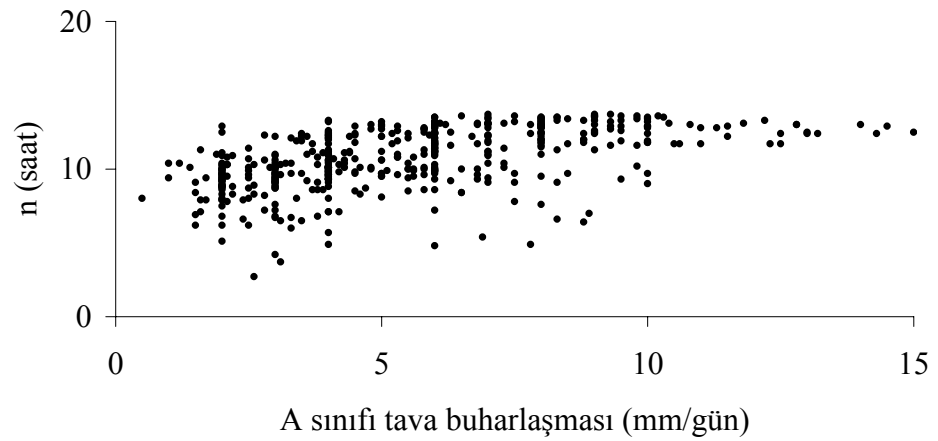
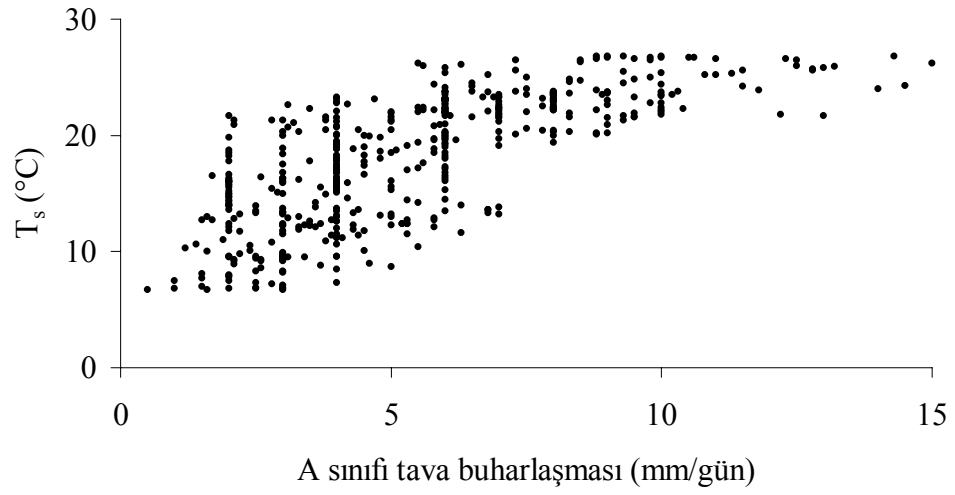
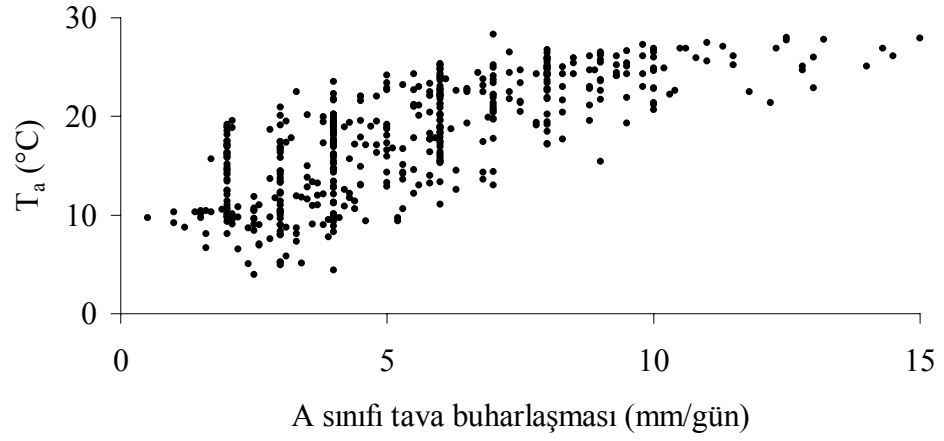
Su yüzeyinden meydana gelen buharlaşmanın belirlenmesinde kullanılan ikinci metot ise direkt metotlardır. Direkt metotlar arasında dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yaygın kullanıma sahip olan metot tava metodudur. Tava yönteminin kullanımı basit olmasına karşın sistemde meydana gelen arızalar ve iklim şartlarındaki olumsuzluklar nedeniyle veri kayıpları meydana gelebilmektedir. Bu ve benzeri olumsuzlukları en aza indirmek için mevcut hidrolojik metotlara ilaveten, hidrolojik uygulamalarda ve son zamanlarda yaygın olarak kullanılan Penman buharlaşma tahmininde de oldukça iyi performans gösteren yapay sinir ağları metodunun, tava buharlaşması tahmininde kullanılabilirliği gösterilmiştir. Çalışmanın bu kısmında ise, daha az parametreye ihtiyaç duyan tava buharlaşması yapay sinir ağları (YSA_T) modellerinin geliştirilmesi için birinci adım olarak, Eğirdir Gölü kenarına kurulan Otomatik Meteorolojik İstasyon vasıtasıyla ölçülen meteorolojik parametreler ile DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen tava buharlaşma değerleri arasında Şekil 4.7'de saçılma diyagramları çizilmiştir. Tava buharlaşmasına etken parametreleri belirlemek için, parametreler ile tava buharlaşma değerleri arasında istatistiksel yöntemler kullanılarak tava buharlaşması üzerinde

yüzdesele ağırlığa sahip olan parametreler hava sıcaklığı (T_a), su sıcaklığı (T_s), güneş radyasyonu (R_c), hava basıncı (P_a), güneşlenme saati (n), nisbi nem (R_h) ve rüzgar hızı (u_2) olarak sırasıyla belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Bundan önceki bölümde de belirtildiği gibi, yapay sinir ağı modelleri genellikle YSA(i,j,k) ağ mimarisi ile gösterilir. Burada i , girdi tabakasındaki nöron sayısı, j gizli tabakadaki nöron sayısı, k ise çıktı tabakasındaki nöron sayısıdır. Girdi tabaka nöron sayısı $i=2, 3, 4, 5, 6$ ve 7 , çıktı tabaka nöronu $k=1$ olarak alınmış ve farklı gizli tabaka nöron sayıları denenererek buharlaşma olayını en iyi temsil eden gizli tabaka nöron sayıları belirlenmiştir.

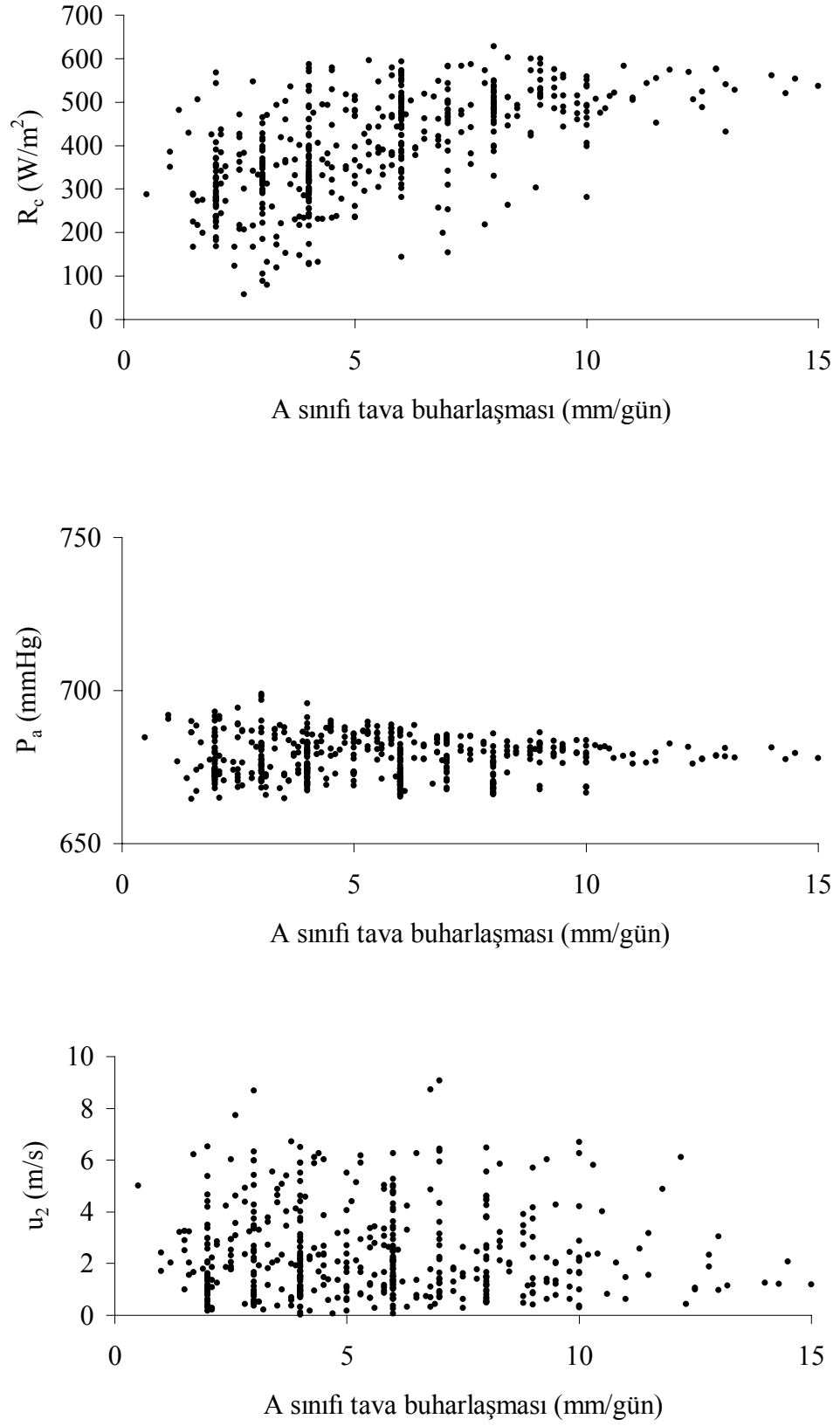
İkinci adım olarak olayı en iyi temsil edecek verilerin örneklenmesi için Anders ve Korn (1999)'da anlatıldığı gibi ve geliştirilen yapay sinir ağıları Penman buharlaşma modellerinde de kullanılan çapraz-doğrulama yaklaşımı dikkate alınarak eldeki mevcut veriler her biri n gözleme sahip M (çalışmada $M=5$) adet alt kümeyle ayrılmıştır. Her seferinde $M-1$ adet alt küme ağı eğitmek için kullanılmış ve eğitim bittikten sonra ayrılan alt küme ile ağı test edilmiştir. Bu yöntem M kez tekrarlanmış ve M adet alt kümeyle ait ortalama karesel hatalar (MSE) belirlenmiştir. Elde edilen MSE değerleri çapraz-doğrulama hataları olarak dikkate alınmıştır (Çizelge 4.8). Sonuçta, en az çapraz-doğrulama hatasına sahip olan YSA_T(2,5,1), YSA_T(3,6,1), YSA_T(4,3,1), YSA_T(5,2,1), YSA_T(6,2,1) ve YSA_T(7,2,1) modelleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Meteorolojik parametrelerin tava buharlaşmaları ile olan korelasyon katsayıları ve ağırlık yüzdeleri (2001-2002)

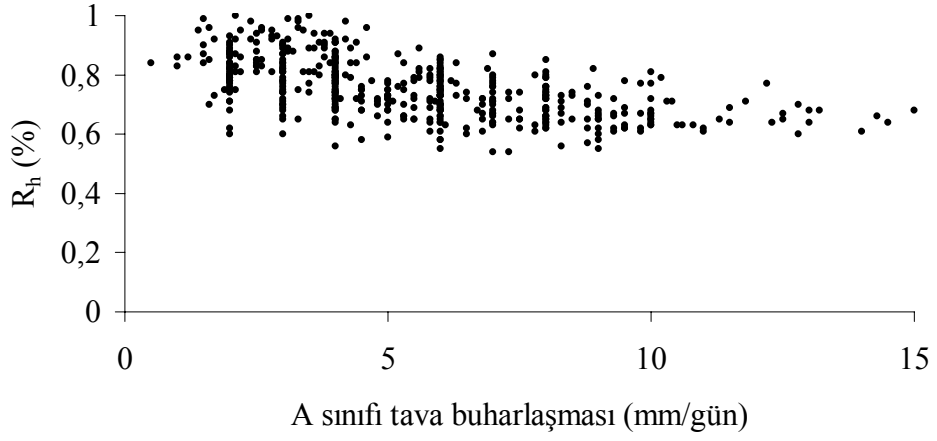
Meteorolojik Parametre	Korelasyon katsayısı (R_i)	Ağırlık yüzdesi (%) (EP_i)
T_a	0.81	0.20
T_s	0.79	0.20
R_c	0.64	0.16
P_a	0.56	0.14
n	0.53	0.13
R_h	0.50	0.12
u_2	0.18	0.05



Şekil 4.7. Meteorolojik parametreler ve tava buharlaşması arasında çizilen saçılma diyagramları



Şekil 4.7. Meteorolojik parametreler ve tava buharlaşması arasında çizilen saçılma diyagramları (devam)



Şekil 4.7. Meteorolojik parametreler ve tava buharlaşması arasında çizilen saçılma diyagramları (devam)

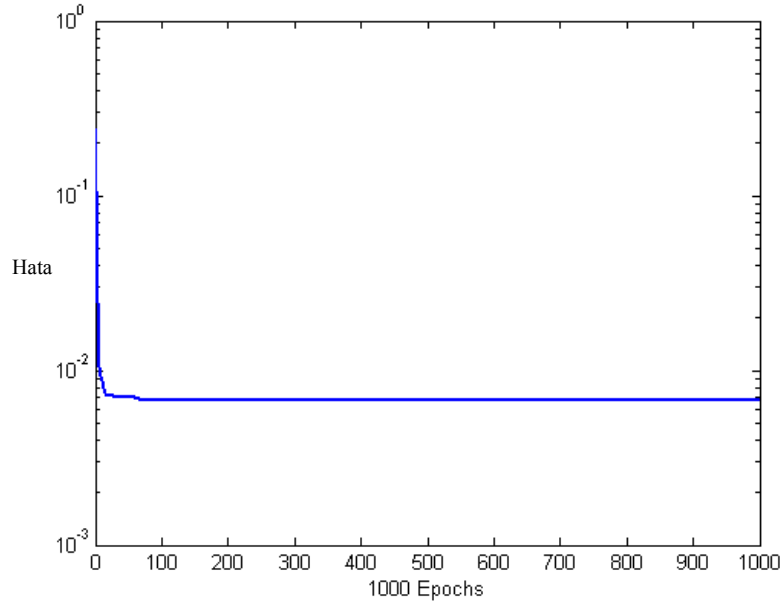
Çizelge 4.8. Farklı YSA mimarilerinin ortalama çapraz-doğrulama hataları

Ağ yapısı	Gizli nöronların sayısı	Ortalama çapraz-doğrulama MSE*	Ağ yapısı	Gizli nöronların sayısı	Ortalama çapraz-doğrulama MSE*
İki girdili (T_a, T_w)	2	0.012943	Beş girdili (T_a, T_s, R_c, P_a, n)	2	0.008282
	3	0.012334		3	0.009679
	4	0.011423		4	0.009235
	5	0.010157		5	0.009933
	6	0.012197		6	0.010927
	7	0.010376		7	0.012640
	8	0.010872		8	0.015955
	9	0.011785		9	0.012123
	10	0.012552		10	0.018392
	11	0.012968		11	0.018741
	12	0.011745		12	0.025287
	Üç girdili (T_a, T_s, R_c)	2		0.010999	Altı girdili ($T_a, T_s, R_c, P_a, n, R_h$)
3		0.010968	3	0.011238	
4		0.010485	4	0.011184	
5		0.010765	5	0.014222	
6		0.009803	6	0.020503	
7		0.011908	7	0.015718	
8		0.011669	8	0.015373	
9		0.011533	9	0.024594	
10		0.012603	10	0.018850	
11		0.015640	11	0.037630	
12		0.021028	12	0.027854	
Dört girdili (T_a, T_s, R_c, P_a)		2	0.013340	Yedi girdili ($T_a, T_s, R_c, P_a, n, R_h, U_2$)	
	3	0.010715	3		0.012123
	4	0.011631	4		0.011959
	5	0.019477	5		0.011016
	6	0.013970	6		0.018849
	7	0.014646	7		0.015697
	8	0.013387	8		0.026724
	9	0.016585	9		0.017987
	10	0.016227	10		0.025477
	11	0.020929	11		0.021583
	12	0.019538	12		0.026325

T_a : Hava sıcaklığı, T_s : Su sıcaklığı, R_c : Güneş radyasyonu, P_a : Hava basıncı, n : Güneşlenme saati, R_h : Nisbi nem, U_2 : Rüzgar hızı

*Ortalama çapraz-doğrulama ortalama karesel hataları boyutsuz değerler için hesaplanmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde de, YSA_T modellerinin geliştirilmesinde sigmoid aktivasyon fonksiyonu, geriye yayımlı öğretim algoritması ve bu algoritmanın yakınsama hızını etkileyen parametreler olan öğrenme oranı 0.001 ve momentum 0.1 olarak alınıp, 2001 yılı verileri eğitim ve model yapısı seçimi için kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen modeller 2002 verileri kullanılarak test edilmiştir. Aynı zamanda, aynı eğitim ve test veri seti ile günlük tava buharlaşmasını tahmin etmek için buharlaşma tahmin modelleri (BTM_T) geliştirilmiştir. Çizelge 4.9'da YSA_T ve BTM_T modellerine ait MSE ve determinasyon katsayısı (R^2) değerleri verilmiştir. Eğitim ve test veri setleri için YSA_T modellerinin BTM_T modellerinden daha yüksek R^2 ve daha düşük MSE değerlerine sahip olduğu ve YSA_T modelleri arasında $YSA_T(6,2,1)$ ve $YSA_T(7,2,1)$ modellerinin daha iyi olduğu Çizelge 4.9'dan görülmektedir. Bununla birlikte, $YSA_T(6,2,1)$, $YSA_T(7,2,1)$ ve $YSA_T(3,6,1)$ modelleri karşılaştırıldığında bu üç model benzer şekilde performans göstermiştir. Bu üç model arasındaki tek fark girdi parametreleridir. $YSA_T(3,6,1)$ modeli günlük ortalama hava sıcaklığı, su sıcaklığı ve güneş radyasyonu parametrelerine bağlıdır. $YSA_T(6,2,1)$ modeli, $YSA_T(3,6,1)$ modelinde bulunan parametrelere ilaveten hava basıncı, güneşlenme saati ve nisbi nem parametrelerini de içermektedir. $YSA_T(7,2,1)$ modelinde bu altı parametreyle birlikte rüzgar hızı da bulunmaktadır. Bu durum, buharlaşma tahmini için sadece hava sıcaklığı, su sıcaklığı ve güneş radyasyonu günlük değerlerini kullanmanın performansı önemli bir derecede azaltmadığını aynı zamanda meteorolojik değişkenlerden buharlaşma tahmini için veri gereksinimini önemli bir şekilde azaltmaya yardım edebileceğini göstermektedir. $YSA_T(3,6,1)$ modelinin performansı, yapay sinir ağları metodunu kullanarak mevcut verilerden buharlaşmanın kolaylıkla tahmin edilebileceğini göstermiştir. Bu sonuç, sınırlı verilerle hidrolojik bir modelin geliştirilebileceği durumlarda da öneme sahip olabilir. Şekil 4.8'de $YSA_T(3,6,1)$ modelinin performans grafiği verilmiştir.



Şekil 4.8. YSA_T(3,6,1) modelinin performans grafiği

Çizelge 4.9. YSA_T ve BTM_T modellerinin determinasyon katsayısı (R²) ve ortalama karesel hata (MSE) değerleri

Girdi nöronlarının sayısı	Eğitim seti				Test seti			
	YSA _T		BTM _T		YSA _T		BTM _T	
	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
2	2.523	0.684	3.442	0.569	2.601	0.629	2.696	0.616
3	2.123	0.734	3.129	0.608	1.612	0.770	2.178	0.689
4	1.970	0.753	2.899	0.637	1.898	0.729	2.175	0.690
5	1.933	0.758	2.866	0.641	1.632	0.767	2.117	0.698
6	1.866	0.766	2.773	0.652	1.488	0.787	2.083	0.703
7	1.817	0.772	2.615	0.672	1.487	0.788	1.834	0.739

Xu ve Singh (1998) tava buharlaşma değerleri ile en iyi uyuşan Penman metodu olduğunu belirtmişlerdir. Bu görüş doğrultusunda, buharlaşma metotlarının temelini oluşturan Penman metodu sonuçları ile de karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 4.9'da, YSA_T(3,6,1), BTM_{T7} (yedi girdili) modelleri ve Penman metodunun sonuçları, günlük tava buharlaşma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi, Penman metodu ve BTM_{T7} modelinin sonuçları 45°lik doğru etrafında sapmalara sahip iken, YSA_T(3,6,1) modeli sonuçlarının 45°lik doğru etrafında olması model

sonuçlarının ölçümlerle uyuytuğunu göstermektedir. $YSA_T(3,6,1)$, BTM_{T7} , Penman modelleri ve günlük tava ölçüm değerlerine ait zaman serileri Şekil 4.10'da verilmiştir. Buharlaşma değerlerinin, yüksek ve düşük buharlaşma periyotları arasında geniş varyasyonlarının olmasına rağmen, formülasyonu aşağıda verilen $YSA_T(3,6,1)$ modelinin sonuçları günlük tava buharlaşma değerlerine diğerlerinden daha yakın olmuştur.

$$net1 = -0.702853 * T_a - 13.135881 * T_s + 0.056352 * R_c + 324.942617 \quad (4.17)$$

$$f(net1) = 1 / (1 + e^{-net1}) \quad (4.18)$$

$$net2 = 2.120045 * T_a + 1.276542 * T_s + 0.016186 * R_c - 106.275037 \quad (4.19)$$

$$f(net2) = 1 / (1 + e^{-net2}) \quad (4.20)$$

$$net3 = 1.573643 * T_a + 0.200478 * T_s - 0.008184 * R_c - 14.263572 \quad (4.21)$$

$$f(net3) = 1 / (1 + e^{-net3}) \quad (4.22)$$

$$net4 = -0.04554 * T_a - 0.147154 * T_s + 0.000917 * R_c + 9.667998 \quad (4.23)$$

$$f(net4) = 1 / (1 + e^{-net4}) \quad (4.24)$$

$$net5 = -0.075005 * T_a - 0.588836 * T_s + 0.025668 * R_c + 2.587814 \quad (4.25)$$

$$f(net5) = 1 / (1 + e^{-net5}) \quad (4.26)$$

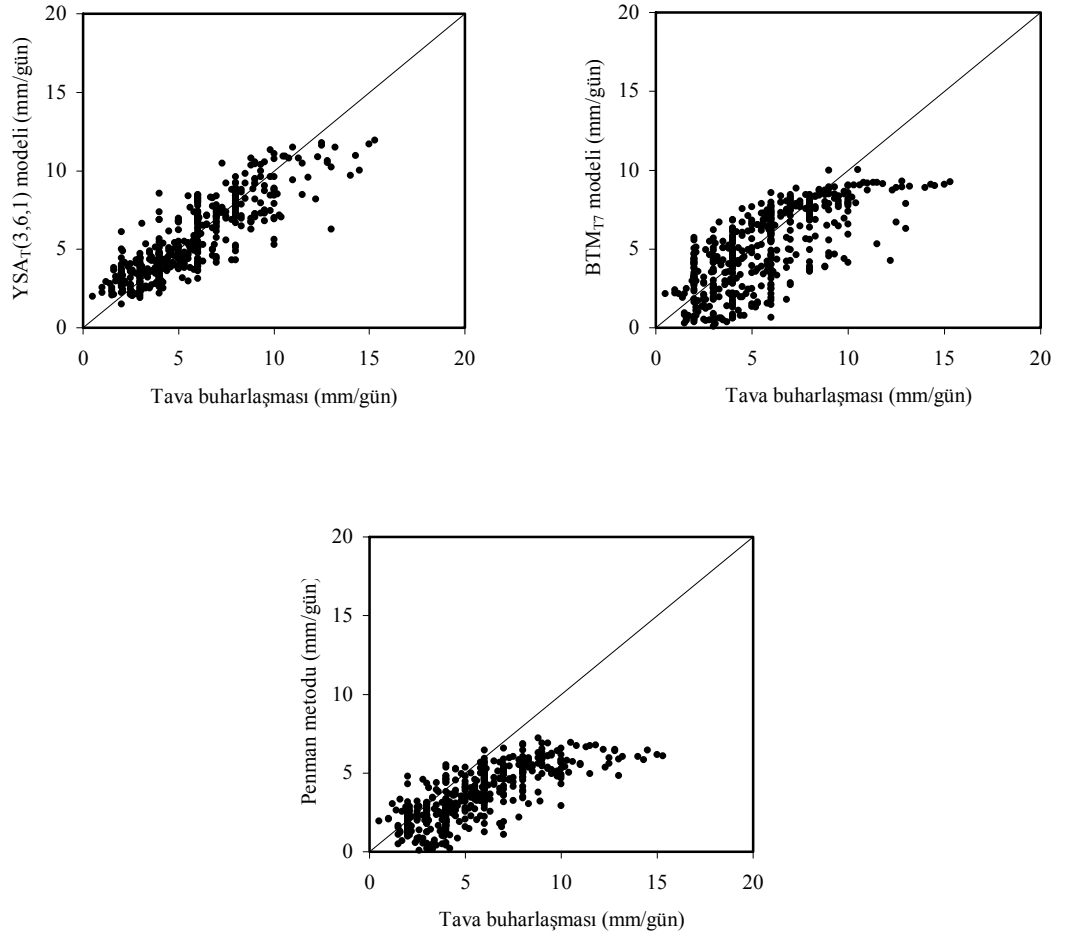
$$net6 = -1.586717 * T_a - 0.198179 * T_s + 0.00819 * R_c + 14.358368 \quad (4.27)$$

$$f(net6) = 1 / (1 + e^{-net6}) \quad (4.28)$$

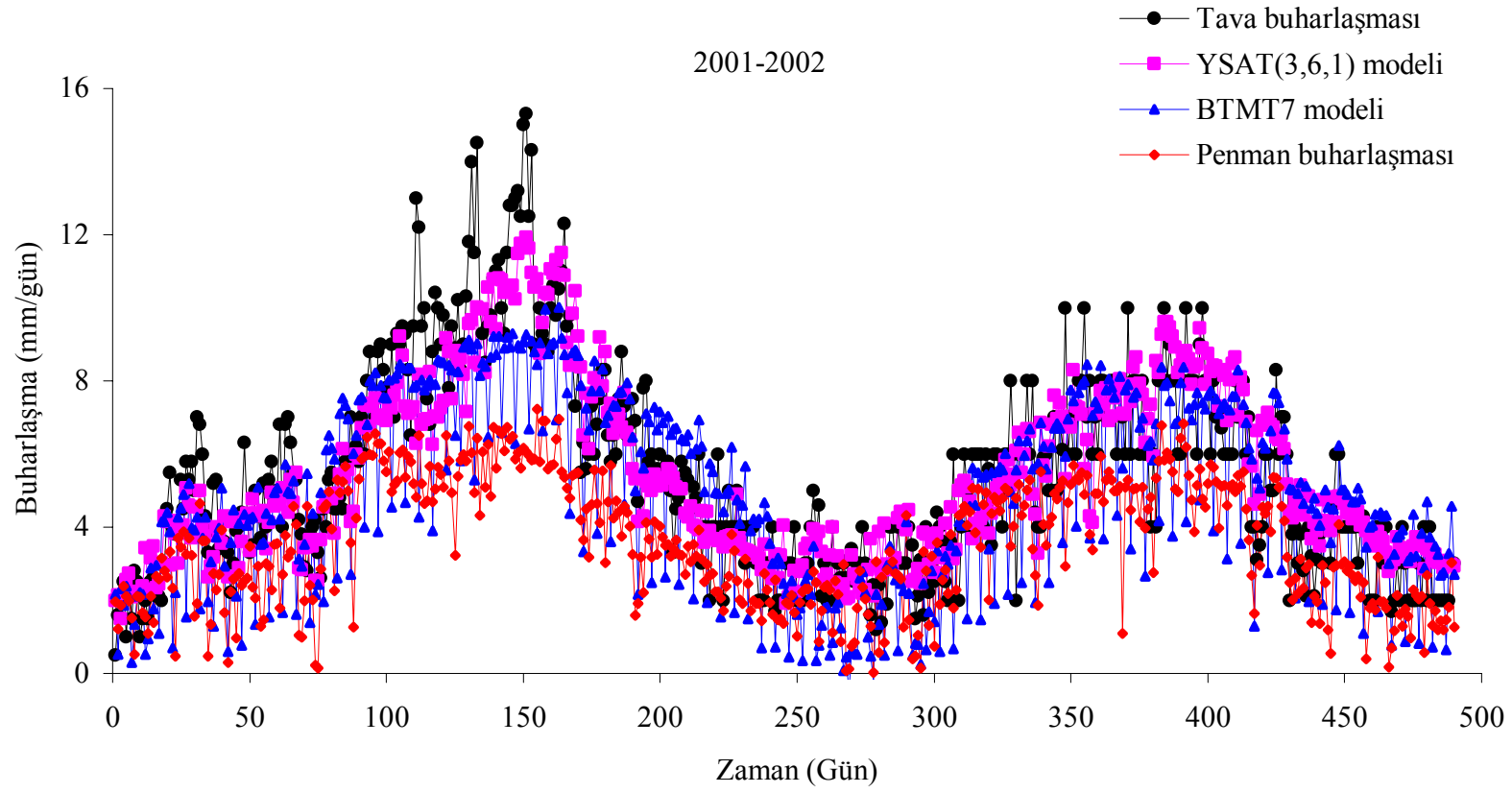
$$net7 = 0.9257 * f(net1) + 435.3953 * f(net2) + 189.1321 * f(net3) - 505.7667 * f(net4) + 1.0733 * f(net5) + 188.5513 * f(net6) + 313.3896 \quad (4.29)$$

$$E = (1 / (1 + e^{-net7}) + 0.033784) * 14.8 \quad (4.30)$$

Burada, $net1-7$ ve $f(net1-6)$ ve E denklemleri sırasıyla gizli tabakadaki her bir nöronun toplam ve aktivasyon fonksiyonlarıdır. Aynı zamanda E buharlaşma (mm) değeridir.



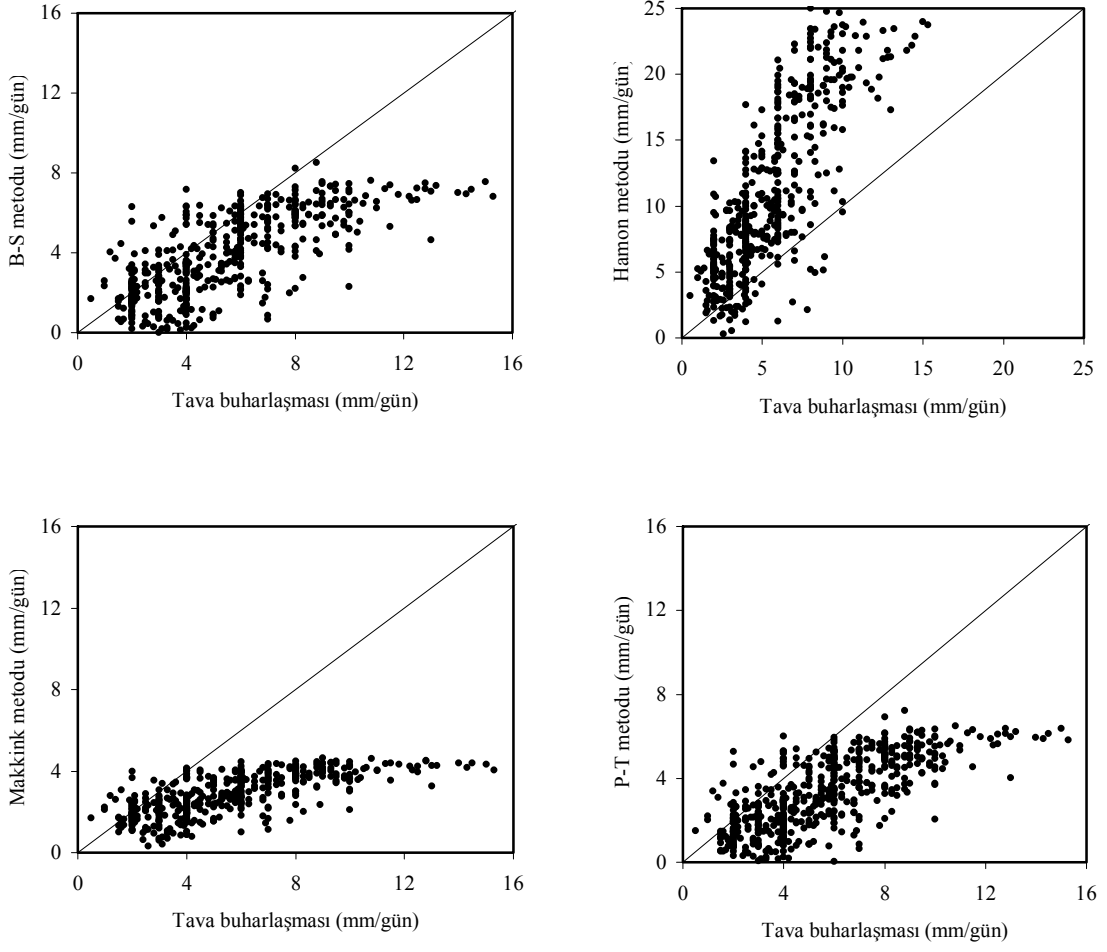
Şekil 4.9. YSA_T(3,6,1), BTM_{T7} modelleri ve Penman metodunun tava buharlaşma değerleri ile saçılma diyagramları



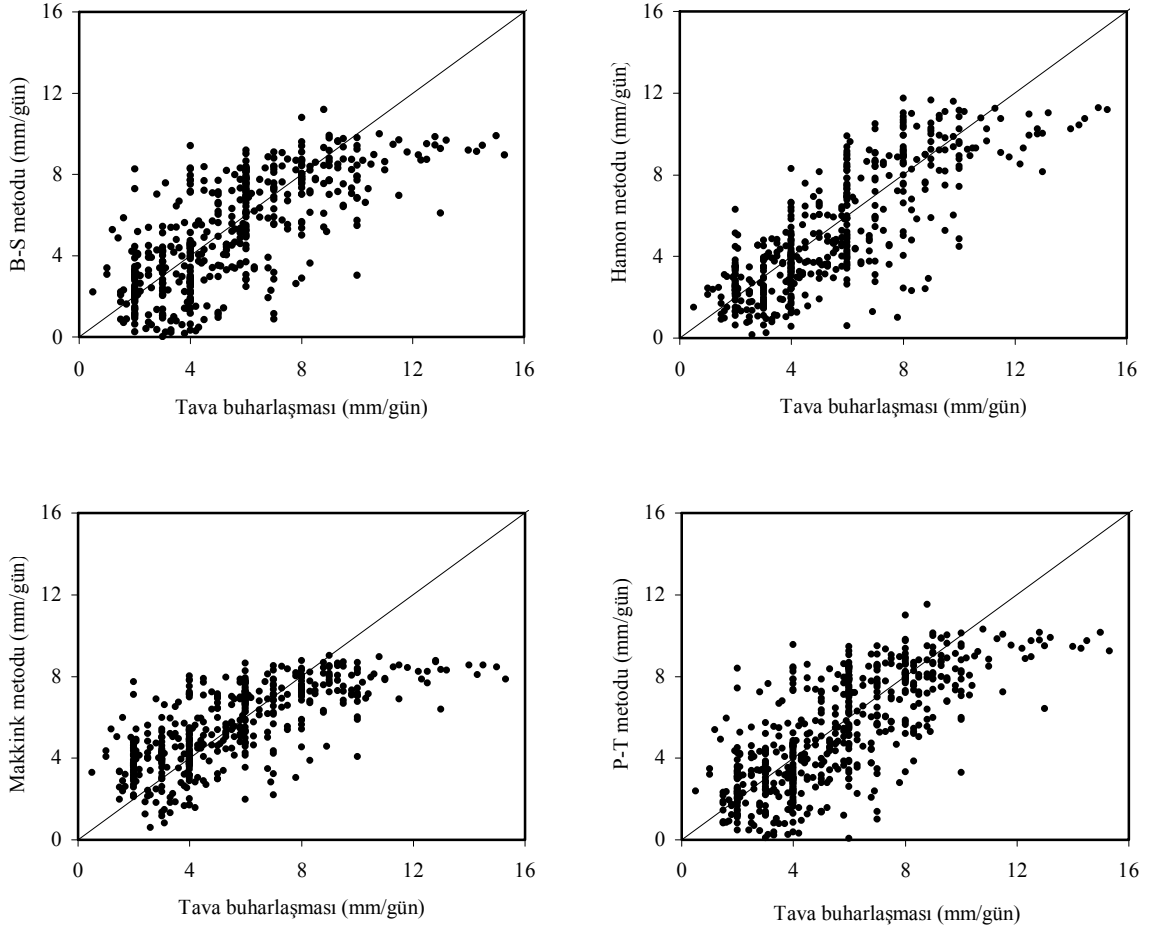
Şekil 4.10. 2001 ve 2002 yılları için modellenmiş ve ölçülmüş buharlaşma değerleri

Bununla birlikte, YSA_T modelinin performansını değerlendirmek için, orijinal sabit değerlere sahip Priestley-Taylor, Brutsaert-Stricker, Makkink ve Hamon metotları ile günlük buharlaşma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, orijinal sabit değerler optimizasyon tekniği kullanılarak Eğirdir Gölü için kalibre edilmiştir. Kalibre edilen sabit değerler kullanılarak günlük buharlaşmalar tekrar hesaplanmıştır.

Metotlardan hesaplanan buharlaşma değerleri ($y=mx+c$) doğrusal denklem dikkate alınarak tava buharlaşma değerleri ile analiz edilmiştir. Çizelge 4.10'dan da görüldüğü gibi orijinal sabit değerlere ait MSE değerleri 6.27'den 49.23'e değişirken, kalibre değerler için MSE değerleri 3.43'den 4.33'e değişmiştir. Hamon metodu orijinal değerler için en büyük MSE (49.23) değerine sahip iken kalibreden sonra en düşük MSE (3.43) değerine sahip olmuştur. Aynı zamanda orijinal sabit değerler için, buharlaşma metotlarına ait eğim (m) ve kesişme (c) değerleri 1 ve 0 dan farklıdır. Bununla birlikte, kalibre değerler için Priestley-Taylor, Makkink, Brutsaert-Stricker metotlarına ait eğim ve kesişme değerleri yine 1 ve 0 dan farklı iken, Hamon metoduna ait doğrusal denklemin eğim ve kesişme değerinde olumlu yönde bir değişim görülmüştür. Hem orijinal hem de kalibre edilen sabit değerler kullanılarak elde edilen sonuçlar ile tava buharlaşma değerleri arasında saçılma diyagramları çizilmiştir (Şekil 4.11 ve 4.12). Şekil 4.11'den görüldüğü gibi Priestley-Taylor, Makkink ve Brutsaert-Stricker metotları tava buharlaşma değerlerinden düşük değerler verirken, Hamon metodu yüksek değerler vermiştir. Kalibre edilen sabit değerler için çizilen saçılma diyagramlarında, değerlerin hemen hemen hepsi 45°lik çizgi etrafında olduğu tespit edilmiştir. Sonuçta, bu metotlar içerisinde, Hamon metodunun çalışma bölgesi için kalibre edilen sabit değerleri kullanılarak hesapların yapılabileceği görülmüştür.



Şekil 4.11. Orijinal sabit değerlere sahip Brutsaert-Stricker (B-S), Hamon, Makkink ve Priestley-Taylor (P-T) metotları ile günlük tava buharlaşma değerlerinin karşılaştırılması



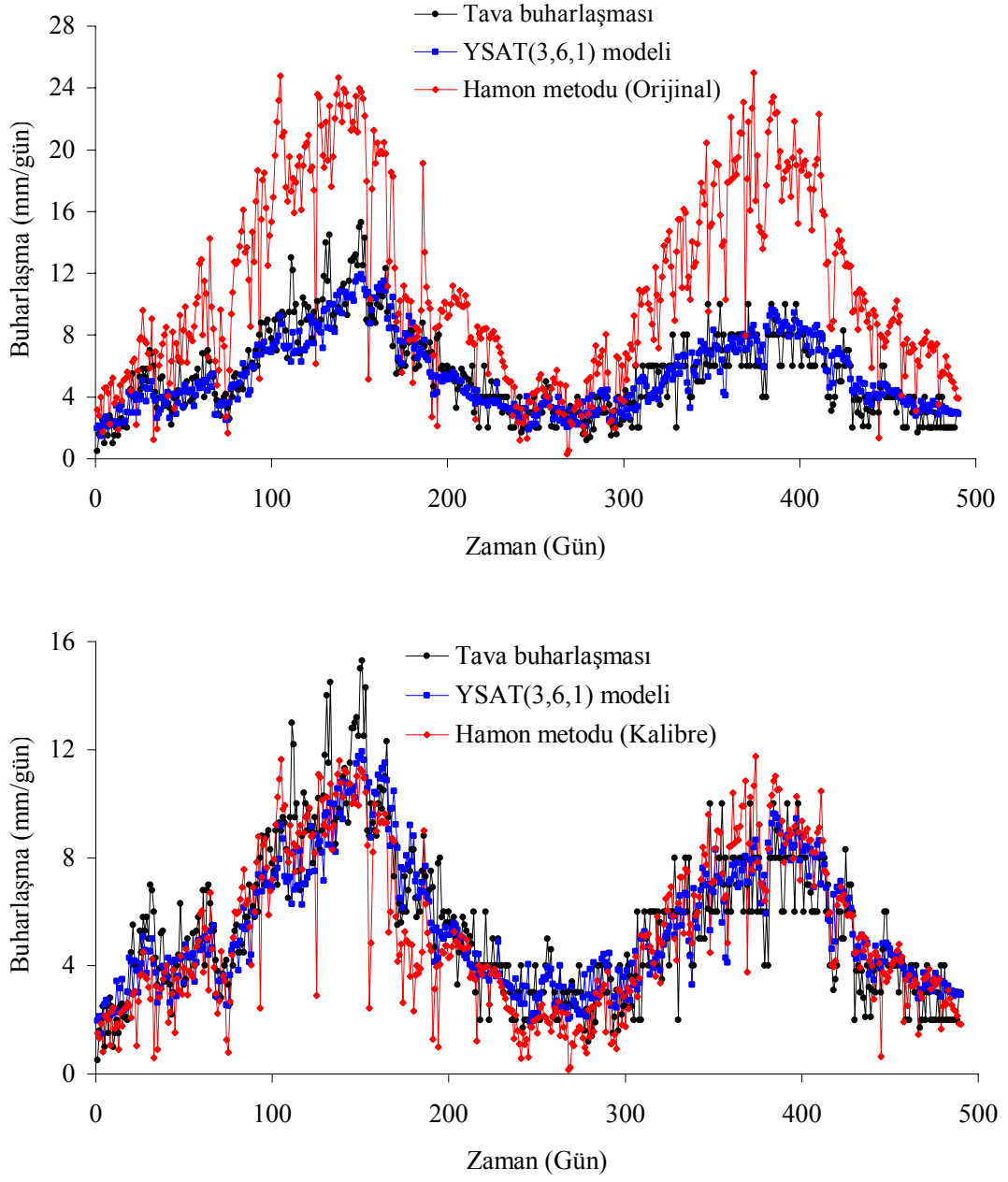
Şekil 4.12. Kalibre edilmiş sabit değerlere sahip Brutsaert-Stricker (B-S), Hamon, Makkink ve Priestley-Taylor (P-T) metotları ile günlük tava buharlaşma değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.10. Tava buharlaşması ve buharlaşma metotları arasındaki regresyon ilişkileri ve MSE değerleri

Metotlar	Orijinal denklem			Kalibre denklem		
	Eğim	Kesişim	MSE	Eğim	Kesişim	MSE
<i>Priestley-Taylor</i>	0.45	0.77	8.81	0.72	1.23	4.02
<i>Makkink</i>	0.25	1.44	11.92	0.49	2.80	3.84
<i>Hamon</i>	1.77	1.27	49.23	0.83	0.59	3.43
<i>Brutsaert-Stricker</i>	0.53	1.03	6.27	0.69	1.34	4.33

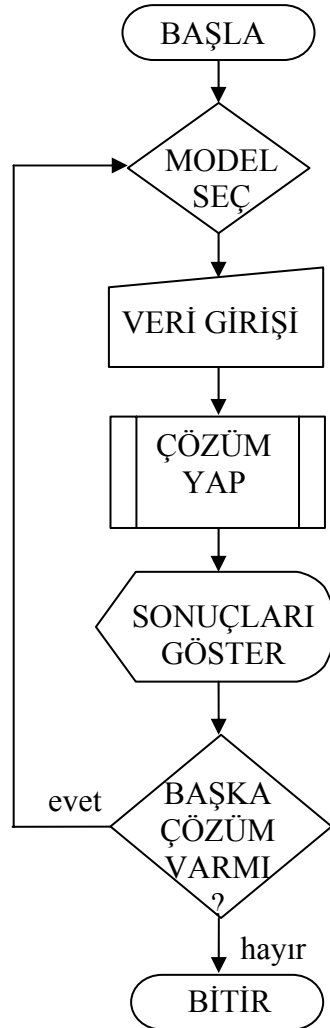
YSA_T(3,6,1) modelinin performansını ortaya çıkarmak için, Hamon metodu ve YSA_T(3,6,1) modeli Şekil 4.13'de günlük tava buharlaşma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta (i) YSA_T(3,6,1) modeli günlük tava buharlaşması ile aynı trendleri izlemekte (ii) Orijinal sabit değerler için, Hamon metodu buharlaşmayı yukarıda tahmin etmekte ve günlük tava buharlaşma ölçümleri ile farklı trendler izlemektedir. Kalibre sabit değerleri için, Hamon metodu günlük tava buharlaşma değerleri ile iyi uyuşmakta (iii) Test verileri için Hamon metodunun MSE ve R² değerleri sırasıyla 3.43 ve 0.56 iken YSA_T(3,6,1) modeli 1.90 ve 0.74 dir. Böylece YSA_T(3,6,1) modelinin Eğirdir Gölü için buharlaşma tahmininde yeterli güvenlikte kullanılabilirliği görülmüştür.

Sonuç olarak, geliştirilen YSA_T ve BTM_T modellerinin Penman metoduna göre daha az parametreye gereksinim duymaları, elde edilen çözüm sonuçlarına göre geliştirilen her iki modelinde Penman metodunun alternatifi olduğu ve sınırlı parametre mevcut olması durumunda kullanılabilirliği, tava buharlaşma değerlerine göre geliştirilen YSA_T modelinin mevcut klasik buharlaşma metotlarına göre yine daha az parametreye ihtiyaç duyması, hesaplama süresinin az olması ve hem Penman hem de tava buharlaşma değerleri için oldukça iyi performans göstermesinden dolayı buharlaşma hesaplarında kullanılabilirliği görülmüştür.



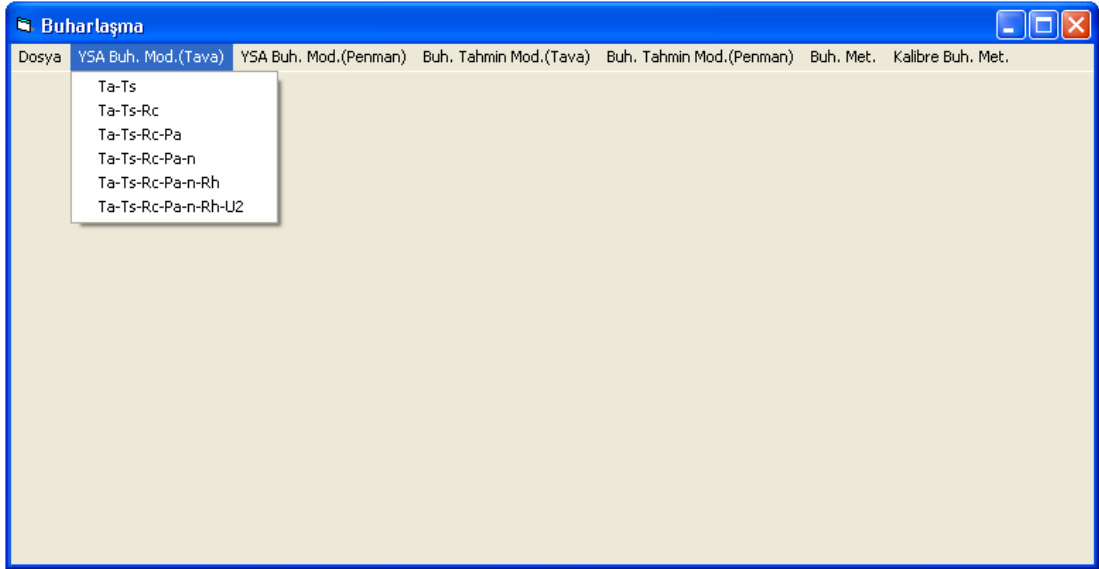
Şekil 4.13. Orijinal ve kalibre sabit değerlere sahip olan Hamon metodu, $YSA_T(3,6,1)$ modeli ile günlük tava buharlaşmasının zaman serisi

Eğirdir Gölü'ne ait buharlaşma değerlerini belirlemek amacıyla hem tava ölçüm değerleri hem de Penman buharlaşma değerleri dikkate alınarak geliştirilen yapay sinir ağı yaklaşımı ve buharlaşma tahmin modellerine ait Visual Basic programlama dili kullanılarak bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu programa ait akış şeması Şekil 4.14'de görülmektedir. Geliştirilen modellere ilaveten, konu ile ilgili literatürlerde sıkça karşılaşılan ve yaygın kullanıma sahip metotlar, bilgisayar programı ana menüsünde buharlaşma metotları olarak ve bu metotlarda bulunan orijinal katsayılar Eğirdir Gölü için kalibre edildikten sonra menüde kalibre buharlaşma metotları olarak verilmiştir.

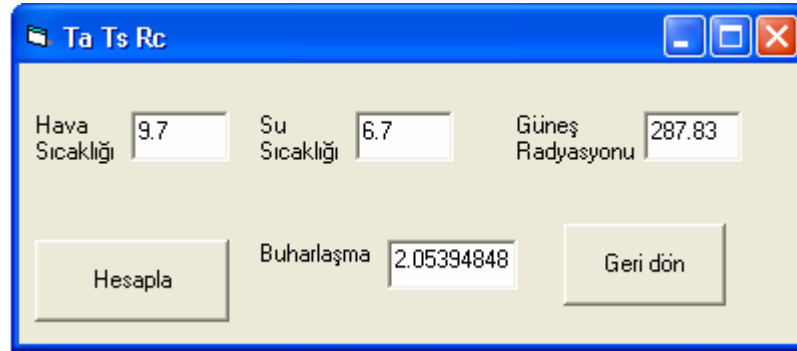


Şekil 4.14. Buharlaşma modelleri akış şeması

Şekil 4.15, tava ölçüm değerleri dikkate alınarak geliştirilen yapay sinir ağları buharlaşma modellerini göstermektedir. Şekil 4.15'den görüldüğü gibi, mevcut meteorolojik parametre sayısına göre istenilen yapay sinir ağı buharlaşma tahmin modeli seçilebilir. Örnek olarak, üç girdili yapay sinir ağı buharlaşma tahmin modelinin hesaplama alt penceresi Şekil 4.16'da verilmiştir.

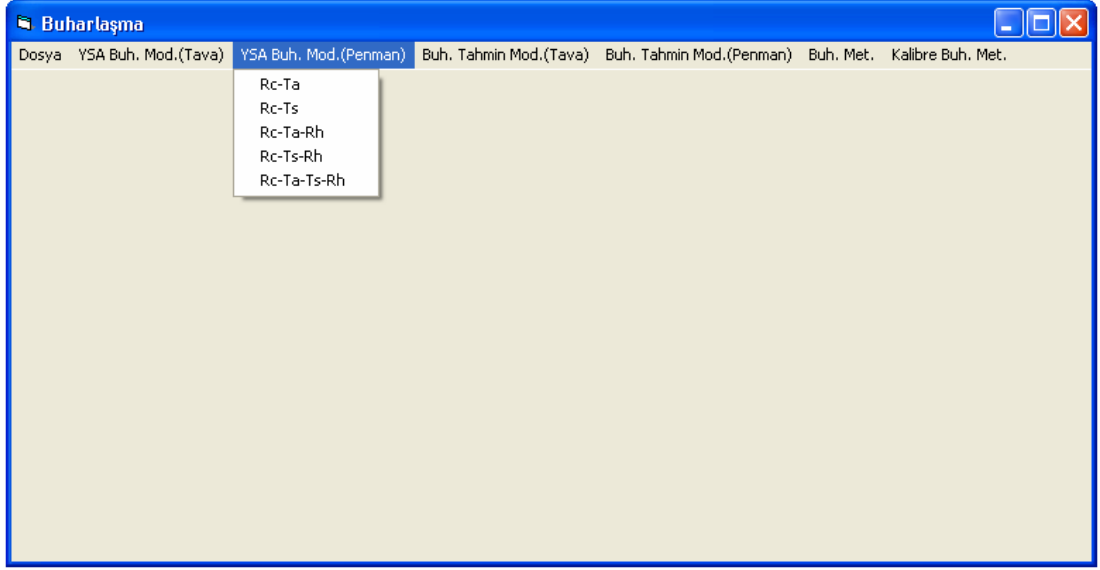


Şekil 4.15. Yapay sinir ağı tava modelleri menü görüntüsü

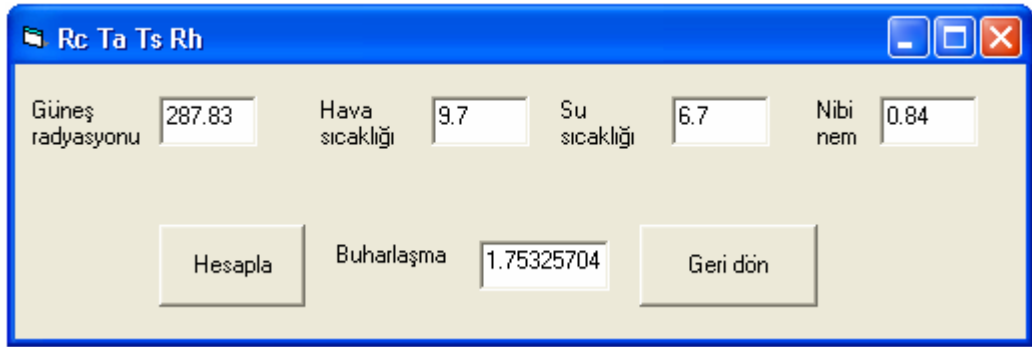


Şekil 4.16. Üç parametrelili yapay sinir ağı tava modeli alt penceresi

Penman buharlaşma sonuçlarına göre geliştirilen yapay sinir ağı modelleri menü görüntüsü Şekil 4.17'de görülmektedir. Şekil 4.18'de Penman buharlaşma sonuçları dikkate alınarak geliştirilen dört parametrelili yapay sinir ağı Penman buharlaşma modelinin hesaplamasına ait alt penceresi verilmiştir.



şekil 4.17. Yapay sinir ağı Penman modelleri menü görüntüsü

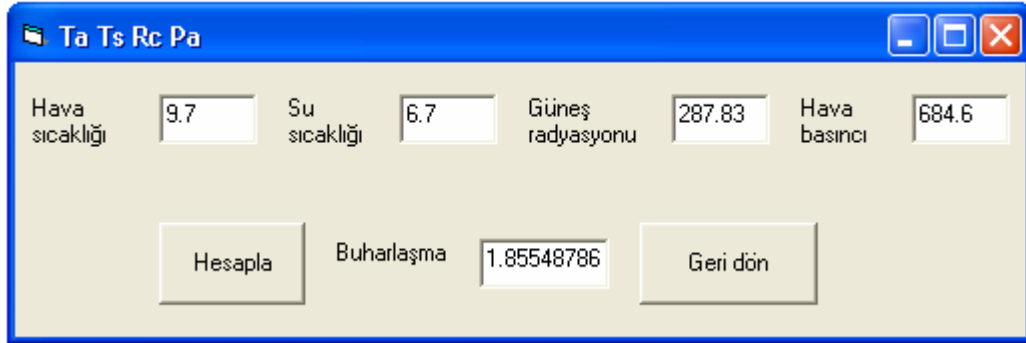


şekil 4.18. Dört parametrelili yapay sinir ağı Penman modeli alt penceresi

Tava ölçüm değerlerine göre geliştirilen buharlaşma tahmin modellerinin menü görüntüsü şekil 4.19'da görüldüğü gibidir. Tava buharlaşma tahmin modellerinden Ta, Ts, Rc ve Pa parametrelerine bağlı dört parametrelili model için hesaplama alt penceresi şekil 4.20'de örnek olarak gösterilmiştir.

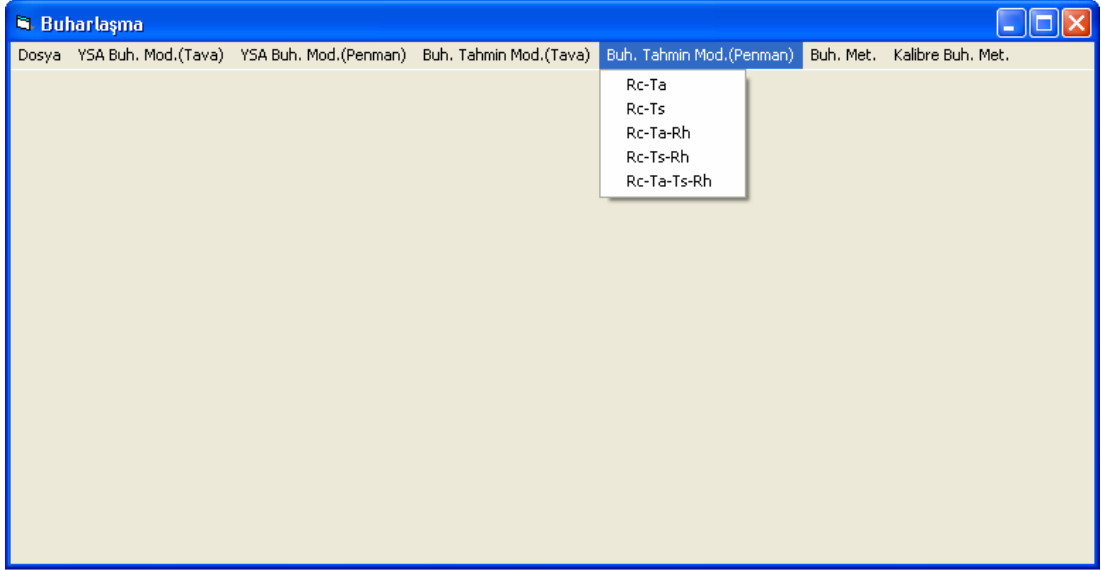


Şekil 4.19. Tava buharlaşma tahmin modelleri menü görüntüsü

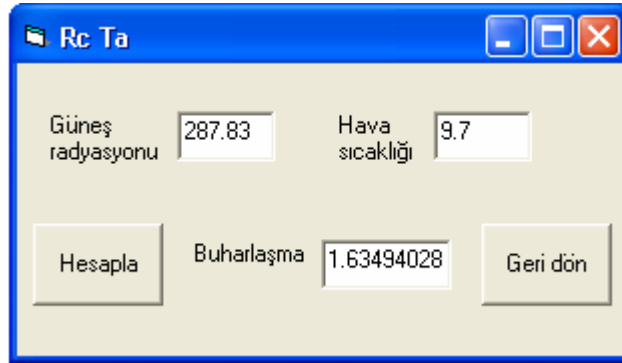


Şekil 4.20. Dört parametrelili tava buharlaşma tahmin modeli alt penceresi

Şekil 4.21 ve 4.22’de sırasıyla Penman buharlaşma değerlerine göre kurulan buharlaşma tahmin modelleri menü görüntüsü ve bu modellerden örnek olarak iki parametrelili Rc-Ta modeline ait hesaplama alt penceresi gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Penman buharlaşma tahmin modelleri menü görüntüsü

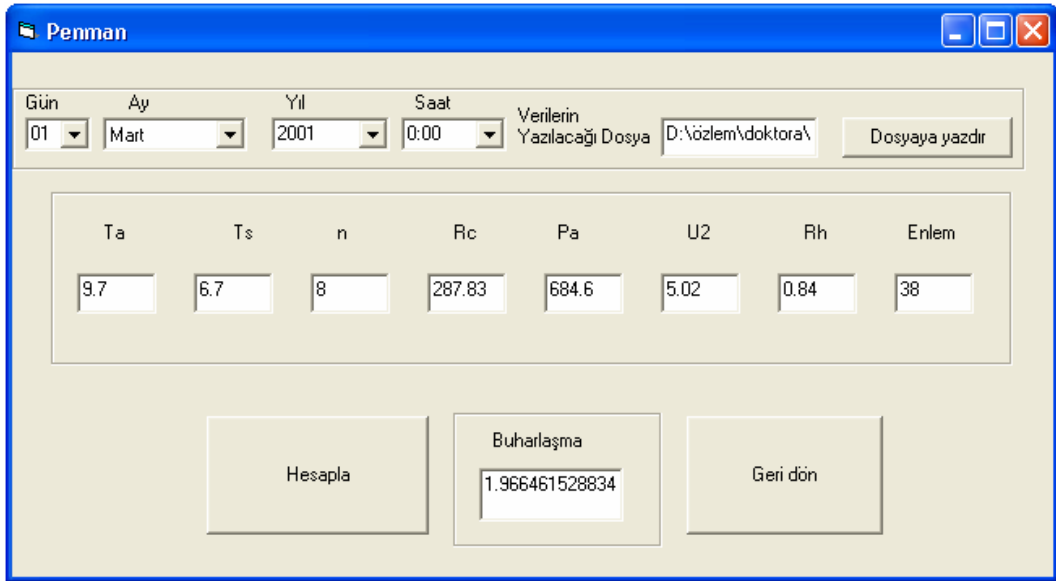


Şekil 4.22. İki parametrelili Penman buharlaşma tahmin modeli alt penceresi

Literatürde mevcut olan orijinal katsayılara sahip buharlaşma metotlarına ait menü görüntüsü ve hesaplama alt penceresi Şekil 4.23 ve 4.24’de verilmiştir.

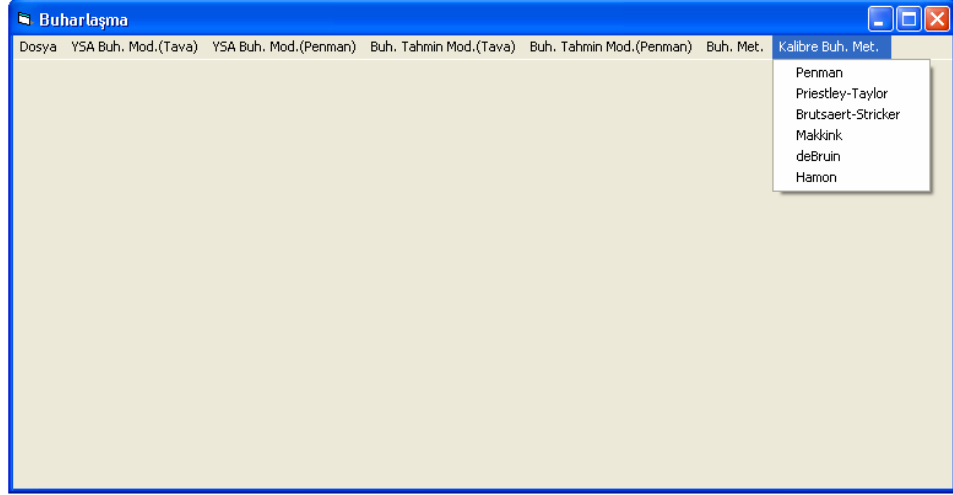


Şekil 4.23. Buharlaşma metotları menü görüntüsü

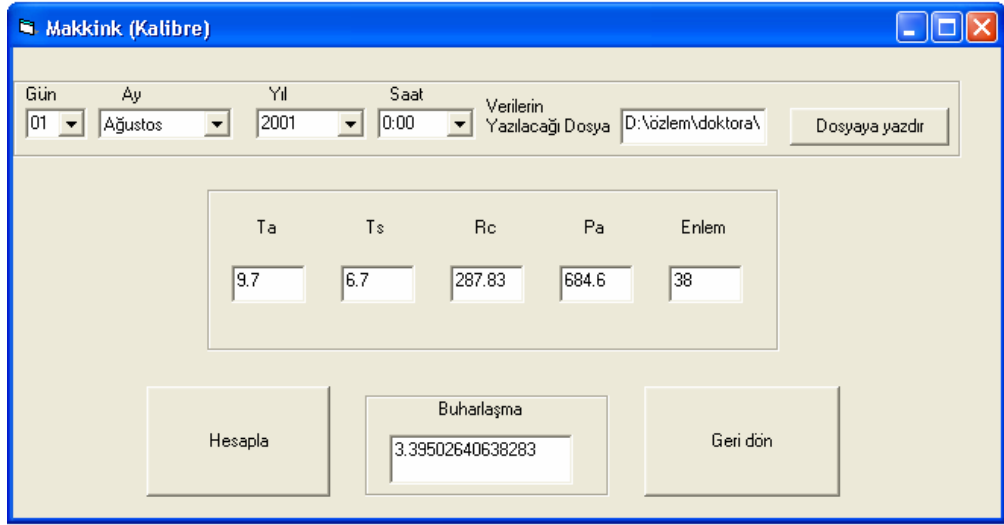


Şekil 4.24. Buharlaşma metotlarından Penman metodu alt penceresi

Şekil 4.25 ve 4.26'da sırasıyla buharlaşma metotlarında bulunan orijinal katsayıları, Eğirdir Gölü için kalibre edilmiş buharlaşma metotlarının ana menüsünü ve bu metotlardan örnek olarak Makkink metoduna ait hesaplama alt penceresini göstermektedir.



Şekil 4.25. Eğirdir Gölü için kalibre edilen buharlaşma metotları menü görüntüsü



Şekil 4.26. Kalibre edilen buharlaşma metotlarından Makkink metodu alt penceresi

5. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Hidrolojik çevrimin önemli bir parametresi olan buharlaşma, su kaynaklarının planlanması ve işletilmesinde, sulama suyu miktarının belirlenmesinde, meteorolojik ve atmosferik çalışmalarda önemli bir faktör olarak görülür. Serbest su yüzeyinden meydana gelen buharlaşmanın tahmini için direkt ve indirekt metotlar kullanılmaktadır. Çalışmada, direkt ve indirekt metotlara ilaveten ölçümlere dayalı ve yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak alternatif buharlaşma modelleri geliştirilmiştir.

Çalışmada ilk olarak, güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, su sıcaklığı ve nisbi nem parametreleri ile Penman metodu buharlaşma değerlerine göre çeşitli yapay sinir ağı modelleri (YSA_p) geliştirilmiştir. Geliştirilen buharlaşma modelleri karşılaştırıldıklarında benzer şekilde performans göstermişler ve modellerdeki farklılık girdi parametreleri olmuştur. Karşılaştırma sonucunda Penman metodunun yerine, YSA_p modellerinin buharlaşma tahmininde kullanılabilirliği gösterilmiştir. YSA_p modelleri, Penman metoduna göre daha az parametre gerektirmesi, hesaplama süresinin kısa olması, ölçümü kolay olan parametreler ile kolaylıkla geliştirilebilmeleri gibi özelliklerinden dolayı buharlaşma tahminlerinde kullanım kolaylığı sağlamıştır. Bunlara ilaveten, Penman buharlaşma sonuçlarına göre, YSA_p modellerinde kullanılan parametreler dikkate alınarak, buharlaşma tahmin modelleri (BTM_p) geliştirilmiş ve bu modellerin günlük ve aylık zaman bazındaki sonuçları, Priestley-Taylor, Brutsaert-Stricker, deBruin, Makkink ve Hamon metotlarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. BTM_p modelleri, istatistiksel olarak klasik metotlara göre daha iyi performans göstermiştir. Penman metodu buharlaşma verilerine göre klasik metotlar arasında Priestley-Taylor metodu uygun sonuçlar verir iken, deBruin metodu oldukça farklı sonuçlar vermiştir. Sonuçta, bu geliştirilen BTM_p ve YSA_p modellerinin, istatistiksel olarak (ortalama, standart sapma vb.) literatürdeki klasik metotlardan ayırt edilemez olduğu ve kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Çalışmada ikinci olarak, Penman buharlaşma tahmininde oldukça iyi performans gösteren yapay sinir ağları metodunun, tava buharlaşması tahmininde de kullanılabilirliği araştırılmıştır. Tava buharlaşması üzerinde etken parametreler belirlendikten sonra, Eğirdir Gölü için yapay sinir ağı modelleri (YSA_T) ve

buharlaşma tahmin modelleri (BTM_T) geliştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. YSA_T modelleri BTM_T modellerinden daha iyi performans göstermiştir. YSA_T modelleri içerisinde üç, altı ve yedi girdili modeller hemen hemen aynı performansı göstermiştir. Bu durum, buharlaşma tahmini için sadece hava sıcaklığı, göl suyunun sıcaklığı ve güneş radyasyonu günlük değerlerini kullanmanın performansı önemli bir derecede azaltmadığını aynı zamanda meteorolojik değişkenlerden buharlaşma tahmini için veri gereksinimini önemli bir şekilde azaltmaya yardım edebileceğini göstermektedir. $YSA_T(3,6,1)$ modelinin performansı, yapay sinir ağları metodunu kullanarak mevcut verilerden buharlaşmanın kolaylıkla tahmin edilebileceğinin ifadesidir. Bu sonuç, sınırlı verilerle, hidrolojik bir modelin geliştirilebileceği durumlarda da öneme sahip olabilir.

Ayrıca, YSA_T modellerinin performansı, orijinal sabit ve kalibre değerlere sahip Priestley-Taylor, Brutsaert-Stricker, Makkink ve Hamon metotları ile günlük buharlaşma değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Bu metotlar içerisinde Hamon metodu diğerlerine göre daha iyi kalibre olmuştur. Yapay sinir ağları modellerinden $YSA_T(3,6,1)$ modeli günlük tava buharlaşma değerleri ile uyum içerisindedir. Orijinal sabit değerler için, Hamon metodu yukarıda tahminler verir iken, kalibreden sonra günlük tava buharlaşma değerleri ile uyuma göstermiştir. Metotların bölge için kalibre edilmesi halinde dahi yapay sinir ağı modelleri üstünlüklerini korumaya devam etmişlerdir. Böylece $YSA_T(3,6,1)$ modelinin Eğirdir Gölü için buharlaşma tahmininde yeterli güvenilirlikte kullanılabilir olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, mevcut metotlara göre alternatif olarak geliştirilen buharlaşma modellerinin, daha az parametreye gereksinim duymaları, hesaplama süresinin az olması ve hem Penman hem de tava buharlaşma değerleri için oldukça iyi performans göstermelerinden dolayı buharlaşma hesaplarında kullanılabilirliği görülmüştür.

Isparta sınırları içerisinde bulunan üç glden biri olan Eğirdir Gölü'ne ait buharlaşmanın belirlenmesi için geliştirilen çeşitli buharlaşma modellerinin, Gller Bölgesi'ne ait genel modeller şekline dönüştürülebilmesi için konu ile ilgili kurumlarla (DSİ, DMİ, EİE) işbirliği yapılması gerekir. Ayrıca böyle çalışmalar için

ilgili kurumlar tarafından finans kaynakları artırılarak ÷lke genelinde bir veri bankası oluşturulmalı ve bu veriler internet ortamında konunun uzmanları ile birlikte paylaşılmalıdır. Ayrıca, tüm Türkiye için ilgili kurumlar biraya gelerek bir su kaynakları stratejisi geliştirmeli ve ÷lkenin yatırımları bu doğrultuda yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abtew, W., 2001. Evaporation estimation for Lake Okeehobee in South Florida. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 127(3), 140-147.
- Adams, E.E., Cosler, D.J., Helfrich, K.R., 1990. Evaporation from heated water bodies; predicting combined forced plus free convection. *Water Resources Research*, 26(3), 425-435.
- Alagöz, H. ve Cöntürk, H., 1962. Buharlaşma ve Terleme. İnşaat Mühendisleri Odası, 46s. Ankara.
- Anders, U., Korn, O., 1999. Model selection in neural networks. *Neural Networks*, 12, 309-323.
- Andersen, M.E., Jobson, H.E., 1982. Comparison of techniques for estimating annual lake evaporation using climatological data. *Water Resources Research*, 18(3), 630-636.
- Anonim, 1999. İçme Suyu Kaynağı Olarak Eğirdir Gölü'nün Korunması Projesi. Hacettepe Üniversitesi Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi, 157s. Ankara.
- Asdak, C., Jarvis, P.G., Gardingen, P.V., 1998. Evaporation of intercepted precipitation based on an energy balance in unlogged and logged forest areas of central Kalimantan, Indonesia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92, 173-180.
- Asmar, B.N., Ergenzinger, P., 1999. Estimation of evaporation from the Dead Sea. *Hydrological Processes*, 13(17), 2743-2750.
- Assouline S., Mahrer, Y., 1993. Evaporation from Lake Kinneret 1. eddy correlation system measurements and energy budget estimates. *Water Resources Research*, 29(4), 901-910.
- Aydoğan, T., Çömlekçi, S., Albayrak, M., 2000. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Yeteneği Uygulaması. *S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 4(1), Isparta.

- Bayazıt, M., 1999. Hidroloji. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, Sayı:1605, 242s. İstanbul.
- Baylar, A., Emiroğlu, M.E., Arslan, A., 1999. Geriye yayılma yapay sinir ağı kullanılarak yanal su alma yapısına yönelecek olan sürüntü maddesi oranının bulunması. D.E.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, 1(2), 1-12, İzmir.
- Beven, K., 1979. A sensitivity analysis of the Penman-Monteith actual evapotranspiration estimates. *Journal of Hydrology*, 44, 169-190.
- Biftu, G.F., Gan, T.Y., 2000. Assessment of evapotranspiration models applied to a watershed of Canadian Prairies with mixed land-uses, 14(7), 1305-1325.
- Bruton, J.M., Hoogenboom G., McClendon R.W., 2000a. A comparison of automatically and manually collected pan evaporation data. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 43(5), 1097-1101.
- Bruton, J.M., McClendon, R.W., Hoogenboom, G., 2000b. Estimating daily pan evaporation with artificial neural networks. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 43(2), 491-496.
- Brutsaert, W.H., Stricker, H., 1979. An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration. *Water Resources Research*, 15, 443-450.
- Burt, T.P., Shahgedanova, M., 1998. an historical record of evaporation losses since 1815 calculated using long-term observations from the Radcliffe Meteorological Station, Oxford, England. *Journal of Hydrology*, 205, 101-111.
- Calder, I.R., Neal, C., 1984. Evaporation from saline lakes: a combination equation approach. *Hydrological Sciences Journal*, 29(1), 89-97.
- Campolo, M., Soldati, A., Andreussi, P., 1999a. Forecasting river flow rate during low-flow periods using neural networks. *Water Resources Research*, 35(11), 3547-3552.

- Campolo, M., Andreussi, P., Soldati, A., 1999b. River flood forecasting with a neural network model. *Water Resources Research*, 35(4), 1191-1197.
- Chock, D.P., Winkler, S.L., 2000. A trajectory-grid approach for solving the condensation and evaporation equations of aerosols. *Atmospheric Environment*, 34, 2957-2973.
- Choudhury, B.J., 1999. Evaluation of an empirical equation for annual evaporation using field observations and results from a biophysical model. *Journal of Hydrology*, 216, 99-110.
- Cıgızoğlu, H.K., 2001. Yapay sinir ağları ve zaman serileri analizinde kullanımı. III. Ulusal Hidroloji Kongresi, 579-586, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Cıgızoğlu, H.K., 2002. Suspended sediment estimation and forecasting using artificial neural networks. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26, 15-25.
- Cohen, S., Ianetz, A., Stanhill, G., 2002. Evaporative climate changes at Bet Dagan, Israel, 1964-1998. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111, 83-91.
- Coleman, G., DeCoursey, D.G., 1976. Sensitivity and model variance analysis applied to some evaporation and evapotranspiration models. *Water Resources Research*, 12(5), 873-879.
- Coulibaly, P., Anctil, F., Bobee, B., 2000. Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach. *Journal of Hydrology*, 230, 244-257.
- Dawson, C.W., Wilby, R., 1998. An artificial neural network approach to rainfall-runoff modeling. *Hydrological Sciences Journal*, 43(1), 47-66.
- de Bruin, H.A.R., Keijman, J.Q., 1979. The Priestley-Taylor evaporation model applied to a large, shallow lake in the Netherlands. *Journal of Applied Meteorology*, 18, 898-903.

- de Bruin H.A.R., 1978. A simple model for shallow lake evaporation. *Journal of Applied Meteorology*, 17, 1132-1134.
- Dibike, Y.B., Solomatine, D., Abbott, M.B., 1999. On the encapsulation of numerical-hydraulic models in artificial neural network. *Journal of Hydraulic Research*, 37(2), 147-161.
- Dibike, Y.B., Solomatine, D.P., 2001. River flow forecasting using artificial neural networks. *Phys. Chem. Earth (B)*, 26(1), 1-7.
- Dorvlo, A.S.S., Jervase, J.A., Al-Lawati, A., 2002. Solar radiation estimation using artificial neural networks. *Applied Energy*, 71, 307-319.
- dos Reis, R.J., Dias, N.L., 1998. Multi-season lake evaporation: energy-budget estimates and CRLE model assessment with limited meteorological observations. *Journal of Hydrology*, 208, 135-147.
- El-Din A.G., Smith, D.W., 2002. A neural network model to predict the wastewater inflow incorporating rainfall events. *Water Resources Research*, 36, 1115-1126.
- Erdemir, S., 1999. Determination of Evaporation of Lake Van Using Meteorological Data. M.S. Thesis, 148 p. METU, Ankara.
- Fausett, L., 1994. *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*. Prentice Hall 461s., New Jersey.
- Finch, J.W., Gash, J.H.C., 2002. Application of a simple finite difference model for estimating evaporation from open water. *Journal of Hydrology*, 255, 253-259.
- Güneş, K., Tüfekçi, H., Karakaş, D., Morkoç, E., Tüfekçi, V., Okay, O., Tolun, L.G., Karakoç, F.T., Tırıs, M., 2001. Eğirdir Gölü havzasının evsel atıksularının arıtımına yönelik master plan hazırlanması ve göl su kalitesinin izlenmesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, 46s. Ankara.

- Grismer, M.E., Orang, M., Snyder, R., Matyac, R., 2002. Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(3), 180-184.
- Hamon, W.R., 1961. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 87, 107-120.
- Hanson, C.L., 1989. Prediction of Class A pan evaporation in Southwest Idaho. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(2), 166-171.
- Hashino, M., Yao, H., Yoshida, H., 2002. Studies and evaluations on interception processes during rainfall based on a tank model. *Journal of Hydrology*, 255, 1-11.
- Hjelmfelt, A.T., Cassidy, J.J., 1975. *Hydrology for Engineers and Planners*. Iowa State University Press, 210s. Iowa.
- Hostetler, S.W., Bartlein, P.J., 1990. Simulation of lake evaporation with application to modeling lake level variations of Harney-Malheur Lake, Oregon. *Water Resources Research*, 26(10), 2603-2612.
- Hupet, F., Vanclooster, M., 2001. Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of the reference evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 243, 192-204.
- Ikebuchi, S., Seki, M., Ohtoh, A., 1988. Evaporation from Lake Biwa. *Journal of Hydrology*, 102, 427-449.
- Imrie, C.E., Durucan, S., Korre, A., 2000. River flow prediction using artificial neural networks: generalization beyond the calibration range. *Journal of Hydrology*, 233, 138-153.
- Izimon, M.G., Mayer, H., 2001. Performance of solar radiation models-a case study. *Agricultural and forest meteorology*, 110, 1-11.

- Jacobs, A.F.G., Heusinkveld, B.G., Lucassen, D.C., 1998. Temperature variation in a class A evaporation pan. *Journal of Hydrology*, 206, 75-83.
- Jiang, L., Islam, S., 2001. Estimation of surface evaporation map over southern Great Plains using remote sensing data. *Water Resources Research*, 37(2), 329-340.
- Kartalopoulos, S.V., 1996. *Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic: Basic Concepts and Applications*. IEEE Press, 205s. New York.
- Keskin, M.E., Terzi, Ö., Özdoğan, İ., 2002. Meteorolojik Veri Kullanılarak Eğirdir Gölü Buharlaşmasının Belirlenmesi. SDÜ APYB 301, Proje Sonuç Raporu, 20s. Isparta.
- Khalil, M., Panu, U.S., Lennox, W.C., 2001. Groups and neural networks based streamflow data infilling procedures. *Journal of Hydrology*, 241, 153-176.
- Kılınç, E.E., 1999. Eğirdir Gölü'nde Buharlaşma Hesapları. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 89s. Isparta.
- Kişi, Ö., Partal, T., 2003. Yapay sinir ağları ve otoregresif modellerle rüzgar hızı tahmini. İTÜ III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 166-172, İstanbul.
- Kite, G.W., Droogers, P., 2000. Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and field data. *Journal of Hydrology*, 229, 3-18.
- Klaassen, W., Bosveld, F., de Water, E., 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 212-213, 36-50.
- Knapp H.V., Yu, Y-S., Pogge, E.C., 1984. Monthly evaporation for Milford Lake in Kansas. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 110(2), 138-148.
- Lindsey, S.D., Farnsworth, R.K., 1997. Sources of solar radiation estimates and their effect on daily potential evaporation for use in streamflow modeling. *Journal of Hydrology*, 201, 348-366.

- Luk, K.C., Ball, J.E., Sharma, A., 2000. A study of optimal model lag and spatial inputs to artificial neural network for rainfall forecasting. *Journal of Hydrology*, 227, 56-65.
- Maier, H.R., Dandy, G.C., 1996. The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters. *Water Resources Research*, 32(4), 1013-1022.
- Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of Lysimeters. *Journal of Institution of Water Engineers*, 11, 277-288.
- Mason, J.C., Price, R.K., Tem'ne A., 1996. A neural network model of rainfall-runoff using radial basis functions. *Journal of Hydraulic Research*, 34(4), 537-548.
- McAneney, K.J., Itier, B., 1996. Operational limits to the Priestley-Taylor formula. *Irrigation Science*, 17, 37-43.
- McKenzie, R.S., Craig, A.R., 2001. Evaluation of river losses from the Orange River using hydraulic modeling. *Journal of Hydrology*, 241, 62-69.
- Mohandes, M.A., Rehman, S., Halawani, T.O., 1998. A neural networks approach for wind speed prediction. *Renewable Energy*, 13(3), 345-354.
- Mohandes, M., Balghonaim, A., Kassas, M., Rehman, S., Halawani, T.O., 2000. Use of radial basis functions for estimating monthly mean daily solar radiation. *Solar Energy*, 68(2), 161-168.
- Morton, F.I., 1974. Estimating evaporation and transpiration from climatological observations. *Journal of Applied Meteorology*, 14, 488-497.
- Morton, F.I., 1979. Climatological estimates of lake evaporation. *Water Resources Research*, 15(1), 64-76.
- Morton, F.I., 1983. Operational estimates of lake evaporation. *Journal of Hydrology*, 66, 77-100.

- Morton, F.I., 1986. Practical estimates of lake evaporation. *Journal of climate and Applied Meteorology*, 25, 371-387.
- Ohmura, A., 1982. Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations. *Journal of Applied Meteorology*, 21, 595-598.
- Oround, I.M., 1999. Temperature and evaporation dynamics of saline solutions. *Journal of Hydrology*, 226, 1-10.
- Özbek, T., 1989. Hidroloji. G.Ü. Yayınları No: 142, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No: 11, 210s. Ankara.
- Özer, Z., 1990. Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar (Teknik Rehber). Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 715s., Ankara.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 232s. İstanbul.
- Phillips, D.W., 1978. Evaluation of evaporation from Lake Ontario during IFYGL by a modified mass transfer equation. *Water Resources Research*, 14(2), 197-205.
- Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972. On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81-92.
- Ranjithan, S., Eheart J.W., Garrett, J.H., 1993. Neural network-based screening for groundwater reclamation under uncertainty. *Water Resources Research*, 29(3), 563-574.
- Raudkivi, A.J., 1979. *Hydrology*. Pergamon Press, 479s. New York.
- Rogers, L.L., Dowla, F.U., 1994. Optimization of groundwater remediation using artificial neural networks with parallel solute transport modeling. *Water Resources Research*, 30(2), 457-481.

- Rosenberry, D.O., Sturrock, A.M., Winter, T.C., 1993. Evaluation of the energy budget method of determining evaporation at Williams Lake, Minnesota, using alternative instrumentation and study approaches. *Water Resources Research*, 29(8), 2473-2483.
- Sajikumar, N., Thandaveswara, B.S., 1999. A non-linear rainfall-runoff model using an artificial neural network. *Journal of Hydrology*, 216, 32-55.
- Sartori, E., 2000. A critical review on equations employed for the calculation of the evaporation rate from free water surfaces. *Solar Energy*, 68(1), 77-89.
- Sene, K.J., Gash, J.H.C., McNeil, D.D., 1991. Evaporation from a tropical lake: comparison of theory with direct measurements. *Journal of Hydrology*, 127, 193-217.
- Sepaskhah, A.R., Andam, M., 2001. Crop coefficient of sesame in a semi-arid region of I.R. Iran. *Agricultural Water Management*, 49, 51-63.
- Sfetsos, A., Coonick, A.H., 2000. Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques. *Solar Energy*, 68(2), 169-178.
- Shaw, E.M., 1992. *Hydrology in Practice*. Chapman & Hall, 569s., London.
- Sırdaş, S., Şen, Z., Sönmez, İ., 2001. Sınıflandırma için yapay sinir ağları yaklaşımı. III. Ulusal Hidroloji Kongresi, 609-616, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Singh, V.P., Xu, C.-Y., 1997a. Evaluation and generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation. *Hydrological Process*, 11, 311-323.
- Singh, V.P., Xu, C.-Y., 1997b. Sensitivity of mass transfer-based evaporation equations to errors in daily and monthly input data. *Hydrological Process*, 11, 1465-1473.

- Snyder, R.L., 1992. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(6), 977-980.
- Steinhorn, I., 1991. On the concept of evaporation from fresh and saline water bodies. *Water Resources Research*, 27(4), 645-648.
- Stewart, R.B., Rouse, W.R., 1976. A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. *Water Resources Research*, 12(4), 623-628.
- Stewart, J.B., Watts, C.J., Rodriguez, J.C., De Bruin, H.A.R., van den Berg, A.R., Garatuza-Payán, J., 1999. Use of satellite data to estimate radiation and evaporation for northwest Mexico. *Agricultural Water Management*, 38, 181-193.
- Sudheer, K.P., Gosain, A.K., Mohana Rangan, D., Saheb, S.M., 2002. Modelling evaporation using an artificial neural network algorithm. *Hydrological Process*, 16, 3189-3202.
- Şorman, Ü., 2002. Van Gölü Su Bütçesinin Uzaktan Algılama Tekniklerinin Kullanımı ile Hesaplanması. TÜBİTAK INTAG-830, Son Rapor, 39s. Ankara.
- Tasadduq, I., Rehman, S., Bubshait, K., 2002. Application of neural networks for the prediction of hourly mean surface temperatures in Saudi Arabia, *Renewable Energy*, 25, 545-554.
- Tokar, A.S., Johnson, P.A., 1999. Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(3), 232-239.
- Tokgözlü, A., 1996. Eğirdir Gölü'nde Buharlaşıma ve Buharlaşmayı Önleme Yöntemleri. İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Doktora Tezi, 174s., İstanbul.
- Ulugür, M.E., 1972. Su Mühendisliği. Çağlayan Kitabevi, 350s. İstanbul.

- Valet-Coulomb, C., Legesse, D., Gasse, F., Travi, Y., Chernet, T., 2001. Lake evaporation estimates in Tropical Africa (Lake Ziway, Ethiopia). *Journal of Hydrology*, 245, 1-18.
- Vardavas, I.M., Fountoulakis, A., 1996. Estimation of lake evaporation from standard meteorological measurements: application to four Australian lakes in different climatic regions. *Ecological Modeling*, 84(1-3), 139-150.
- Warnaka, K., Pochop, L., 1988. Analyses of equations for free water evaporation estimates. *Water Resources Research*, 24(7), 979-984.
- Wilson, E.M., 1990. *Engineering Hydrology*. Macmillan Education Ltd, 350s., London.
- Winter, T.C., Rosenberry, D.O., 1995. Evaluation of 11 equations for determining evaporation for a small lake in the north central United States. *Water Resources Research*, 31(4), 983-993.
- Xu, C.-Y., Singh, V.P., 1998. Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods. *Hydrological Process*, 12, 429-442.
- Xu, C.-Y., 1999. Estimation of parameters of a conceptual water balance model for ungauged catchments. *Water Resources Management*, 13, 353-368.
- Xu, C.-Y., Singh V.P., 2000. Evaluation and generalization of radiation-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 14(2), 339-349.
- Xu, C.-Y., Singh, V.P., 2001. Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Process*, 15, 305-319.
- Xu, C.-Y., Singh, V.P., 2002. Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*, 16, 197-219.

Yin, X., Nicholson, S.E., 1998. The water balance of Lake Victoria. *Hydrological Sciences Journal*, 43(5), 789-811.

Zealand, C.M., Burn, D.H., Simonovic, S.P., 1999. Short term streamflow forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 214, 32-48.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem TERZİ

Doğum Yeri : Antalya

Doğum Yılı : 1977

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1990 – 1994 Antalya İnşaat Teknik Lisesi

Lisans : 1994 – 1998 Süleyman Demirel Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

Yüksek Lisans : 1998 – 2000 Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

1998 – Süleyman Demirel Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Araştırma Görevlisi