



**GÜNLÜK REFERANSBUHARLAŞMA MİKTARININ YAPAY ZEKA
YÖNTEMLERİ VE AMPİRİK DENKLEMLER İLE TAHMİNİ**

Kübra ÖZDÜLKAR

**YÜKSEK LİSANS
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2021

GÜNLÜK REFERANS BUHARLAŞMA MİKTARININ YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ VE AMPİRİK DENKLEMLER İLE TAHMİNİ

(Yüksek Lisans Tezi)

KÜBRA ÖZDÜLKAR

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2021

ÖZET

Evapotranspirasyon, hidrolojik ve meteorolojik çalışmalarda önemli bir parametredir. Evapotranspirasyonun doğru bir şekilde tahmin edilmesi, su yapılarının planlanmasında ve işletilmesinde çok önemlidir. Bu çalışmada günlük referans buharlaşma miktarı (ET_0), FAO (Gıda ve Tarım Örgütü) tarafından standart denklem olarak kabul edilen Penman-Monteith denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Günlük referans buharlaşma, Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), M5 Karar Ağacı (M5T), Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) yöntemleri ile Turc geleneksel denklemleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak Lewisville Gölü (Texas, ABD) yakınındaki USGS 330716096592400 nolu istasyon seçilmiştir. Günlük ortalama buharlaşma tahmini için ortalama günlük hava sıcaklığı (T), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) kullanılmıştır. Model sonuçlarının değerlendirmesinde determinasyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hataların karekökü (KKOH) ve mutlak ortalama hata (MOH) kullanılmıştır. Model sonuçları, ANFIS, M5T ve MLR yöntemlerinin bölgenin günlük buharlaşma miktarı tahmininde başarılı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Evapotranspirasyon, Penman-Monteith, ANFIS, Çoklu Lineer Regresyon, Modelleme, Turc denklemi, M5 Karar Ağacı
Sayfa Adedi : 75
Danışman : Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ

ESTIMATION OF DAILY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS AND EMPIRICAL EQUATIONS

(M. Sc. Thesis)

KUBRA OZDULKAR

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

JANUARY 2021

ABSTRACT

Evapotranspiration is an important parameter in hydrological and meteorological studies. Accurate estimation of evapotranspiration is crucial in planning and operating water structures. In this study, the daily reference evapotranspiration amount (ET_0) was calculated using the Penman-Monteith equation accepted as the standard equation by the FAO (Food and Agriculture Organization). Daily reference evapotranspiration was tried to be estimated using Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS), M5 Decision Tree (M5T), Multiple Linear Regression (MLR) methods, Turc traditional equations and the results were compared with each other. Station (USGS No: 330716096592400) near Lake Lewisville (Texas, USA) was chosen as the study area. Average daily air temperature (T), wind speed (U), solar radiation (SR) and relative humidity (RH) were used for daily average evapotranspiration estimation. The coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) were used to evaluate the model results. Model results indicate that ANFIS, M5T and MLR methods were successful in estimating the daily evapotranspiration amount of the region.

Keywords :Evapotranspiration, Penman-Monteith, ANFIS, Multi
LinearRegression, Modeling, Turc equation, M5 DecisionTree
Number of Pages :75
Supervisor :Prof. Dr. Mustafa DEMIRCI

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam aşamasında tecrübesi ve bilgi birikimi ile alıőmayı yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ'ye teőekkürlerimi sunarım. Tez çalıőmam sürecinde yardımlarından dolayı değerli hocam Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ'e de teőekkürü borç bilirim. Ayrıca her daim desteğini hissettiğim ve bir abi olarak gördüğüm Arő.Gör. Bestami TAŞAR' a en içten duygularımınla sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Bana her daim güvenen, inanan ve yanımda olan hayatımdaki en fazla teőekkürü hak eden babam Servet ÖZDÜLKAR, annem Selma ÖZDÜLKAR ve kardeőlerim Mehmet ÖZDÜLKAR, Esra ÖZDÜLKAR, Seda GÖKÇEK ve Samet ÖZDÜLKAR' a sonsuz teşekkür ederim. Manevi destekleri ile beni her daim motive eden yeğenlerim Servet ÖZDÜLKAR, Selma ÖZDÜLKAR ve İpek GÖKÇEK'e teşekkür ederim. Bu süreçte desteğini esirgemeyenniőanlım Kanber AÇIKGÖZ, arkadaşlarıım Süreyya DOğAN ve Fatma KOÇ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	viix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. Çalışma Alanı	16
3.2. Kullanılan Modeller	22
3.2.1. Penman-Monteith (PM) yöntemi	23
3.2.2. Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)	24
3.2.3. Turc denklemi	31
3.2.4. M5 Karar Ağacı	32
3.2.5. Çoklu lineer regresyon (MLR)	34
3.3. Model Performansında Kullanılan İstatistik Parametreler	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	36
4.1. ANFIS Model Sonuçları	37
4.2. Turc Model Sonuçları	46
4.3. M5 Karar Ağacı (M5T) Model Sonuçları	48
4.4. Çoklu Lineer Regresyon (MLR) Model Sonuçları	56

	Sayfa
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	74



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge Sayfa

Çizelge 3.1. Lewisville gölüne ait büyüklükler	18
Çizelge 3.2. Klasik Mantık ile Bulanık Mantık arasındaki farklar	26
Çizelge 3.3. Bulanık Sistemler ve Yapay Sinir Ağları özellikleri	28
Çizelge 4.1. Kullanılan Model ve Parametreler	37
Çizelge 4.2. Günlük buharlaşma miktarı tahmininde kullanılan model sonuçlarının karşılaştırılması	65



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Hidrolojik çevrim	2
Şekil 1.2. Buharlaşma	3
Şekil 1.3. A Sınıfı buharlaşma tavaşı	5
Şekil 3.1.Çalışılan istasyonun konumu	16
Şekil 3.2.Lewisville gölünün genel görünümü	17
Şekil 3.3. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008-2012 yılları arasındaki günlük maksimum hava sıcaklık (°C) miktarı değişimleri	19
Şekil 3.4. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008-2012 yılları arasındaki günlük minimum hava sıcaklık(°C) miktarı değişimleri	19
Şekil 3.5. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008-2012 yılları arasındaki günlük ortalama hava sıcaklık(°C) miktarı değişimleri.	20
Şekil 3.6. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008-2012 yılları arasındaki günlük ortalama rüzgar hızı (m/s) değişimleri	20
Şekil 3.7. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008-2012 yılları arasındaki günlük solar radyasyon (Mj/m ²) miktarı değişimleri	21
Şekil 3.8.Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008-2012 yılları arasındaki günlük nisbi nem (%) miktarı değişimleri.....	21
Şekil 3.9.Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008-2012 yılları arasındaki günlük buharlaşma miktarı(mm) değişimleri	22
Şekil 3.10.Neuro-Bulanık sistemlerin Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantıkla ilişkisi	24
Şekil 3.11.Bulanık Mantık örnekleme.....	25
Şekil 3.12. Biyolojik sinir hücre yapısı	27
Şekil 3.13.ANFIS yapısı.....	29
Şekil 3.14.M5 Karar Ağacı temel yapısı	33
Şekil 4.1. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği	38
Şekil 4.2. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	38
Şekil 4.3. ANFIS yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği.....	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. ANFIS yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği	39
Şekil 4.5. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği	40
Şekil 4.6. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	40
Şekil 4.7. ANFIS yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği.....	41
Şekil 4.8. ANFIS yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği	41
Şekil 4.9. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği	42
Şekil 4.10 ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	42
Şekil 4.11. ANFIS yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği.....	43
Şekil 4.12. ANFIS yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği.	43
Şekil 4.13 ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği	44
Şekil 4.14. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	44
Şekil 4.15. ANFIS yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği.....	45
Şekil 4.16. ANFIS yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği	45
Şekil 4.17. Turc yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği.....	46
Şekil 4.18. Turc yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	46
Şekil 4.19 Turc yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği	47
Şekil 4.20 Turc yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği	47
Şekil 4.21. M5T yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği.....	48
Şekil 4.22. M5T yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği	49
Şekil 4.23. M5T yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği	49
Şekil 4.24. M5T yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği.....	50
Şekil 4.25. M5T yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği.....	50
Şekil 4.26. M5T yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği	51
Şekil 4.27. M5T yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği.	51

Şekil	Sayfa
Şekil 4.28. M5T yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği.....	52
Şekil 4.29 M5T yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği	52
Şekil 4.30 M5T yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği	53
Şekil 4.31. M5T yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği.....	53
Şekil 4.32. M5T yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği.....	54
Şekil 4.33. M5T yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği.....	54
Şekil 4.34. M5T yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği	55
Şekil 4.35. M5T yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği	55
Şekil 4.36. M5T yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği	56
Şekil 4.37. MLR metodu eğitim kümesine ait dağılım grafiği.....	57
Şekil 4.38. MLR metodu eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	57
Şekil 4.39 MLR metodu test kümesine ait dağılım grafiği	58
Şekil 4.40 MLR metodu test kümesine ait saçılım grafiği	58
Şekil 4.41. MLR metodu eğitim kümesine ait dağılım grafiği.....	59
Şekil 4.42. MLR metodu eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	59
Şekil 4.43. MLR metodu test kümesine ait dağılım grafiği	60
Şekil 4.44. MLR metodu test kümesine ait saçılım grafiği	60
Şekil 4.45. MLR metodu eğitim kümesine ait dağılım grafiği.....	61
Şekil 4.46. MLR metodu eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	61
Şekil 4.47. MLR metodu test kümesine ait dağılım grafiği.....	62
Şekil 4.48. MLR metodu test kümesine ait saçılım grafiği	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4.49 MLR metodu eğitim kümesine ait dağılım grafiği.....	63
Şekil 4.50 MLR metodu eğitim kümesine ait saçılım grafiği.....	63
Şekil 4.51. MLR metodu test kümesine ait dağılım grafiği	64
Şekil 4.52. MLR metodu test kümesine ait saçılım grafiği	64



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

<i>ET</i>	Evapotranspirasyon
<i>ET₀</i>	Referans Evapotranspiration
<i>r</i>	Korelasyon katsayısı
<i>rh</i>	Bağıl Nem
<i>R²</i>	Determinasyon katsayısı
<i>sr</i>	Solar Radyasyon
<i>t</i>	Sıcaklık
<i>t_{max}</i>	Günlük Maksimum Sıcaklık
<i>t_{mean}</i>	Günlük Ortalama Sıcaklık
<i>t_{min}</i>	Günlük Minimum Sıcaklık
<i>u</i>	Rüzgâr Hızı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ANFIS	Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
AR(p)	Oto-regresif model
BM	Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi
CIMIS	Kaliforniya Sulama Yönetimi Bilgi Sistemi
ÇKYSA	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları
FAO	Food and Agriculture Organization
FG	Bulanık genetik yaklaşım
GP	Genetik Programlama
GEP	Gen ekspresyon programlama
GFNN	Genelleştirilmiş birinci dereceden sinir ağı
GHNN	Genelleştirilmiş yüksek dereceli sinir ağı
GMLR	Genelleştirilmiş çok doğrusal regresyon
GRNN	Genelleştirilmiş regresyon sinir ağları
GRYSA	Genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları)

Kısaltmalar**Açıklamalar****GT**

Gama Test

İBGYYSAİleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı**KKOH**

Ortalama karesel hataların karekökü

LSSVM-GT

En küçük kareler destek vektör makinesi-gama testi

M5T

M5 Karar Ağacı

MLR

Çoklu lineer regresyon

MOH

Mutlak ortalama hata

OKH

Ortalama karesel hata

PET

Potansiyel buharlaşma transpirasyonu

PM

Penman-Monteith

RBNN

Radial Based Artificial Neural Networks

RTYSA

Radyal Tabanlı Yapay Sinir ağları

USGS

United States geological survey

WRI

World ResourcesInstitute

YSA

Yapay sinir ağı

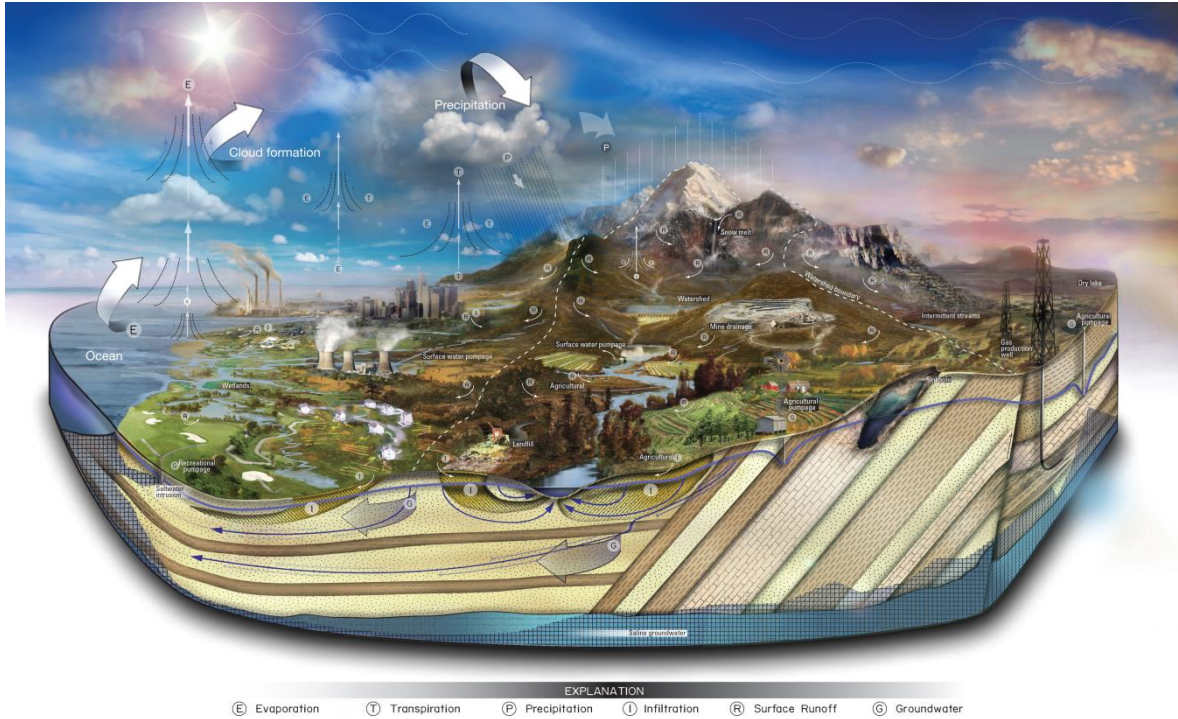
1. GİRİŞ

Su; çok eski dönemlerden itibaren, hem küresel anlamda hem de canlılar aleminde önem arz eden doğal kaynaklardan biridir. Biz canlıların yaşantılarını devam ettirebilmesi ve doğal dengenin korunabilmesi yönüyle su büyük öneme sahiptir. Evrendeki yaşam üzerinde sadece insanları düşünecek olursak; sağlıklı bir insan vücudunun %60 oranında su barındırdığı, beynin %75'inin ve kanın %92'sinin sudan oluştuğu gerçeği suyun yaşamın vazgeçilemez bir parçası olduğunun göstergesidir. Bu oranlardan da görüldüğü üzere evrende hiçbir şey su olmadan varlığını devam ettiremez. Suyun sayılamayacak kadar çok faydasının yanı sıra yaşamın gelişmesi ve devamlılığının sağlanması açısından da vazgeçilmez bir önemi vardır.

Dünya Doğal Kaynaklar Enstitüsünün (WRI) hazırladığı su riski atlasında kuraklık ve su kıtlığı görülen bölgeler yayımlanmıştır. Belirtilen verilere göre dünyanın yaklaşık dörtte birinde kuraklık ve su sıkıntısı görüldüğü belirtilirken, küresel ısınmadan dolayı bu sıkıntının giderek arttığını ve yakın bir tarihte bazı şehirlerde görülen önlenemez kuraklıkların yaşanabileceği bildirilmiştir. Bu nedenlerden ötürü su kaynaklarını daha bilinçli kullanmak ve en sağlıklı şekilde değerlendirerek gelecek nesle aktarmak büyük önem taşımaktadır.

Su kaybının buharlaşma yoluyla tahmin edilmesi; su kaynaklarının izlenmesi, araştırılması ve yönetimi için çok önemlidir. Su kaynaklarının kıt olduğu birçok alanda, su kaybının tahmini, sulama uygulamalarının planlanması ve yönetiminde zorunlu hale gelmektedir.

Dünyadaki tatlı suların devamlılığının nedeni doğadaki su döngüsü olarak karşımıza çıkmaktadır. Su döngüsü; yeryüzündeki göller, akarsular, denizler ve okyanuslar ile yer altı sularının atmosfere giderek yeniden yeryüzüne dönmesi olarak tanımlanır. Doğadaki su döngüsü beş adımda gerçekleşir. Bunlar, yeryüzüne düşen yağış, yoğunlaşma, toprağa geçiş, yüzey akıntı ve buharlaşmadır. Buharlaşmanın hidrolojik çevrim içerisindeki yeri Şekil 1.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Hidrolojik çevrim (USGS, 2013)

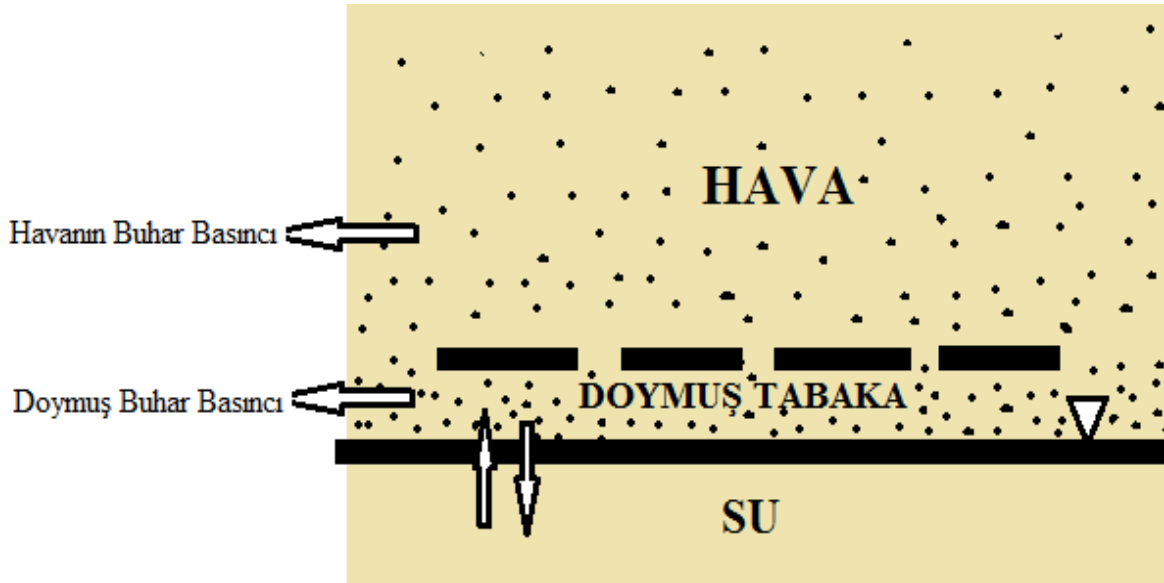
Sıvı halde bulunan bir maddenin solar radyasyon, hava buhar basıncı, rüzgâr gibi meteorolojik faktörler etkisiyle gaz (su buharı) fazına geçmesi olayına Buharlaştırma (evaporasyon) denir. Meteorolojik faktörler sonucu sıvı molekülleri çarpışır ve birbirlerine enerji aktarırlar. Yüzeğe yakın bulunan moleküller, buhar basıncından daha büyük bir enerjiye sahip olduklarında yüzeyden ayrılır ve atmosfere gaz olarak karışır. Özetle buharlaştırma, suyun sıvı fazdan buhar veya gaz fazına dönüşmesi sürecidir.

Bitki terlemesi (transpirasyon) ise bitki kökleriyle alınan nemin, yaprakların alt kısımlarında bulunan gözeneklere ve oradan da buhar haline gelerek atmosfere iletilmesi sürecidir. Bitki terlemesi özetle bitki yapraklarından suyun buharlaşması olarak ifade edilmektedir. Bitki terlemesi sonucu meydana gelen su kaybı, bölgeye ve süreye göre büyük farklılıklar gösterir. Bitki terlemesinde su kaybı oranlarını belirleyen ısı, nem, bitki türü ve rüzgâr gibi birçok etmen vardır.

Su+ toprak yüzeyinden meydana gelen su kaybı ve bitki terlemesi sonucu oluşan buharlaşmanın sebep olduğu toplam su kaybı ise Evapotranspirasyon olarak adlandırılır. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki atmosferdeki nemin yaklaşık %90'ını okyanuslar,

denizler, nehirler ve göller buharlaşma(evaporasyon) ile sağlarken geri kalan %10'luk kısım ise bitki yüzeyindeki buharlaşmadan(transpirasyon) meydana gelir(USGS,2018).

Su yüzeyindeki buhar basıncıyla suyun üstünde bulunan havanın buhar basıncı arasındaki fark buharlaşma miktarı orantılıdır. Hava basıncı azaldıkça buharlaşma artar. Bu durum Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Buharlaşma

Buharlaşmaya etki eden faktörler başlıca sıcaklık, atmosferdeki nem oranı, su derinliği rüzgâr, basınç, bitki örtüsü ve zeminin durumudur.

Sıcaklık, buharlaşmanın oluşabilmesi için başka bir deyişle sıvı yüzeyinde bulunan moleküllerin harekete geçip su yüzeyinden ayrılması için gerekli olan enerjiyi sağlar. Buna bağlı olarak sıvının bulunduğu ortam ve zemin sıcaklığı yüksekse, buharlaşma daha çabuk meydana gelir. Çünkü sıcaklığın yükselmesi havanın su buharı taşıma kapasitesini artırır ve dolayısıyla sıcaklığın fazla olduğu bölgelerde, buharlaşma miktarı da yüksek olur.

Rüzgârlar, buharlaşmayı artırıcı yönde etkili olurlar. Çünkü buharlaşmanın devamı için doymun hale gelen suyun üstündeki havanın su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Bu da havanın hareketi ile mümkün olur. Havanın bu hareketi rüzgâra bağlıdır ve bu nedenle rüzgârın hızı ve esiş süresi de buharlaşma miktarını artırıcı bir etkiye sahiptir.

Havadaki nisbi nem miktarının artması, subuharının tutulma kapasitesini düşürür. Bu durum buharlaşmanın yavaşlamasına neden olur. Havanın suya doğduğu zaman buharlaşma durur. Bu nedenle, özellikle nisbi nem miktarının yüksek olduğu sulak bölgelerde, iç bölgelere kıyasla buharlaşma miktarı düşüktür.

Hava basıncı arttıkça birim hacimde bulunan molekül sayısı artar ve sudan havaya doğru sıçrayan moleküllerin hava moleküllerine çarpıp tekrardan suya dönme ihtimali yükselmiş olacağından buharlaşma azalır. Yüksekçe çıkıldıkça basınç azaldığından, yüksek yerlerde buharlaşma daha fazla olur.

Su derinliğinin mevsimlik buharlaşma miktarı üzerine etkisi olmaktadır. Yaz döneminde derin sularda sığ sulara nazaran buharlaşma daha azdır. Bu durum kış döneminde tam tersi şeklindedir; sığ sularda derin sulara göre buharlaşma daha az olur. Ayrıca bitki örtüsü buharlaşmayı azaltıcı bir etkiye sahiptir. Bu nedenle ormanlık alanlarda buharlaşma orman varlığı bulunmayan alanlara oranla daha azdır.

Su kaybının serbest su yüzeyinden buharlaşma yoluyla tahmin edilmesi, su kaynaklarının takip edilmesi, araştırılması ve yönetimi için çok önemlidir. Su kaynaklarının yetersiz olduğu birçok bölgede su kaybının tahmini, sulama uygulamalarının planlanması ve bu uygulamaların yönetiminde zorunlu hale gelmektedir.

Sıcaklık, nem, rüzgâr gibi iklim parametrelerinin bir etkisini sunan A sınıfı buharlaşma tavası; göller, barajlar ve rezervuar gibi açık su yüzeyinden olan buharlaşma miktarının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de A sınıfı buharlaşma tavası yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Sezer Ç, Öztekin ve Sezer E, 2017). Mühendisler ve araştırmacılar uzun yıllar boyunca, özel tavaya uygulanan bir katsayı ile çarpılarak, rezervuarlardaki buharlaşma kaybının bir tahmini olarak buharlaşma tavalarındaki kaybı kullandılar. En yaygın şekilde kullanılan bu tava, 122 cm çapında ve 25 cm derinliğinde olan ve bir kereste ızgarasına montelenmiş olan ABD Hava Bürosu A Sınıfı tavadır. A sınıfı buharlaşma tavası Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. A Sınıfı buharlaşma tavaşı(wikipedia, Son erişim tarihi 12.12.2020).

A-sınıfı buharlaşma tavaşı ve içerisindeki derinlik ölçerin maliyeti, donanımlı ölçüm personeli ihtiyacı, ölçüm cihazının arıza yapması, ölçüm saatinde personelin uygun olmaması, aletin rutin bakımı, ölçümün yapılamadığı durum (aşırı yağıştan dolayı suyun taşması, hava şartlarından ötürü suyun donması vb.),otomatik ölçüm cihazlarının pahalı olması gibi faktörler bu kabın her yerde ve her zaman kullanılmasını kısıtlamaktadır(Sezer Ç, Öztekin ve Sezer E, 2018). Ayrıca planlanan veya mevcut bir rezervuar ve sulama bulunan her noktaya buharlaştırma tavalarının yerleştirilmesi her zaman mümkün değildir. Buharlaşma süreci, birçok tahmin prosedürünün gösterdiği gibi, doğada doğrusal değildir. Birçok araştırmacı, hidrolojik modelleme çalışmalarında doğru buharlaşma tahminlerine ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir (Sudheer, Gosain, Mohana ve Saheb,2002).Geçtiğimiz yıllarda, araştırmacılar buharlaşma gibi hidrolojik olayları öngörmeye yapay zekâ yöntemlerini yaygın olarak kullanmışlardır(Saplıoğlu ve Çirmen,2010; Üneş,2017; Taşar, Üneş, Demirci ve Kaya,2018; Özel ve Büyükyıldız,2019;Özdülkar, Üneş, Demirci ve Kaya,2019).

Evren üzerinde bulunan tüm canlıların varlıklarını devam ettirmeleri açısından suyun bilinçli ve kontrollü şekilde kullanılması insanlığın kaçınılmaz sorunlarından biri olmuştur. Bu sebeple insanlar, suyun kullanım oranını minimum düzeye indirip sudan en iyi şekilde faydalanmanın yollarını aramışlardır.

Su bilimi, suyun fiziksel, mekanik, kimyasal vb. birçok özelliğini inceleyen disiplinler arası bir bilimdir. İnşaat mühendisleri ise bu bilimsel olgular doğrultusunda suyun en verimli kullanılması ve su kaybının minimal düzeyde olması amacı ile barajlar inşa etmişlerdir. Baraj, bir akarsu vadisini kapatıp arkasında su birikimi yapan; enerji üretimi, içme suyu için kullanımı, akarsuların düzenlenmesi, sulama suyunun temin edilmesi, taşkınlarda suyun verebileceği zararları önlemek gibi birçok gayeye hizmet eden ekonomik faydası büyük olan tesislerdir(Dündar,2009).Baraj tesislerinin kurulumu büyük maliyetler gerektirmektedir. Bu yüzden barajlar inşa edilen barajlardaki suyun kapasitesi, haznesinde bulunabileceği suyun miktarı gibi elemanların belirlenmesindeki en önemli parametrelerden biri buharlaşma olmuştur.Çünkü buharlaşma tahmininin doğru bir şekilde yapılması bu tesislerin en iyi şekilde yönetilmesini ve planlanmasını sağlar.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

A sınıfı buharlaşma kabının kurulması ve işletilmesindeki sıkıntılardan kurtulmak amacı ile buharlaşmayı tahmin etmek için zaman içinde çeşitli modeller geliştirilmiştir. Sudheer, Gosain, Mohana ve Saheb(2002) günlük buharlaşmayı modellemek için bir YSA modeli kullanmışlardır. İklim verilerini kullanarak buharlaşma miktarını tahmin etmede YSA modelinin başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Terzi ve Keskin(2005), Eğirdir Gölü'nden meteorolojik parametrelerle günlük tava buharlaşmasını tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları (YSA) metodu kullanılarak modeller geliştirilmiştir. Model geliştirmekte kullanılan meteorolojik veriler, 2001 ve 2002 yıllarına ait günlük hava sıcaklığı, su sıcaklığı, güneş radyasyonu, hava basıncı, nisbi nem ve rüzgâr hızı parametrelerinden faydalanmışlardır. Geliştirilen YSA modelleri günlük tava buharlaşma değerlerinin tahmininde kullanılmıştır. Aynı zamanda, Penman metodu kullanılarak günlük buharlaşma tahminleri yapmışlardır. YSA modelinin ve Penman metodunun sonuçları tava buharlaşma değerleri ile kıyaslanmış ve YSA modelinin, tava buharlaşma değerleri ile uyum içerisinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Keskin ve Terzi (2006), buharlaşma modellemesinde YSA ve Penman modellerini uygulamışlardır. Çalışmalarında, YSA'lara girdi olarak çeşitli meteorolojik parametreler kullanılmıştır. Penman modeline kıyasla YSA'nın buharlaşmayı tahmin etmede daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Doğan, Işık ve Sandalcı(2007), ileri beslemeli geri yayınlı (İBGYYSA) ve radyal temelli yapay sinir ağı (RTYSA) modeli kullanılarak Sapanca Gölü için günlük buharlaşma miktarı tahmini yapmışlardır. Sonuçlarını Penman-Monteith (PM) modeli ile karşılaştırmışlardır. Minimum ve maksimum sıcaklığa, rüzgâr hızına, göreceli neme, gerçek güneşlenme süresine ve maksimum güneşlenme süresine bağlı olan günlük buharlaşma miktarının tahmini için İBGYYSA ve RTYSA modellerini uygulamışlardır. İBGYYSA, RTYSA ve PM modellerinin performansları karşılaştırıldığında İBGYYSA yönteminin ölçülen günlük buharlaşma miktarına en yakın sonucu verdiğini görmüşlerdir.

Kisi (2009), günlük buharlaşmayı modellemek için radyal tabanlı sinir ağı (RTYSA) uygulamasını araştırmıştır. Sonuç olarak RTYSA yönteminin buharlaşma tahmininde kolaylıkla kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

Özgür ve Afşar(2010) , buharlaşma tahmini için YSA ve bulanık mantık modellerini kullanmışlardır. Çalışmada; Kayseri, Kırşehir, Nevşehir ve Yozgat illerindeki dört istasyondan alınan günlük ortalama sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, ortalama nem ve buharlaşma verilerinden faydalanmışlardır. Çok katmanlı yapay sinir ağı (ÇKYSA), RTYSA, genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağı (GRYSA), uyarlanabilir ağı tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve çoklu lineer regresyon (ÇDR) metotları meteorolojik verilerden oluşan farklı giriş kombinasyonlarına uygulanarak tava buharlaşma tahminleri yapılmış, her bir değişkenin buharlaşmaya olan etkisini inceleyip sonuçları birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma kriterleri olarak karekök ortalama karesel hata (KOKH), ortalama mutlak hata (OMH) ve korelasyon katsayıları (R) kullanılmıştır. KOKH ve R kriterlerine göre 3 istasyonda RTYSA'nın ANFIS, ÇKYSA ve GRYSA modellerine göre daha iyi olduğu, sadece 1 istasyonda ÇDR'nin RTYSA'dan biraz daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. OMH kriterine göre 2 istasyonda RTYSA'nın, 1 istasyonda ANFIS'in, kalan 1 istasyonda da ÇDR'nin RTYSA'dan az da olsa daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Üneş(2011), YSAmetodunu kullanarak Hatay ilinde, Karasu Çayı üzerinde bulunan Tahtaköprü Barajındaki aylık buharlaşma miktarının tahminini yapmıştır. Bu sonuçlara göre; baraj haznesi aylık buharlaşma miktarının tahmininde kullanılan YSA model sonuçlarının, klasik yöntemlerle kıyaslandığında daha iyi bir yaklaşım verdiği çıkarımına ulaşmıştır.

Shiri, Dierickx, Pour-Ali Baba, Neamati ve Ghorbani (2011) çalışmalarında 2005-2008 yılları arası yaklaşık 3 yıllık günlük iklim parametrelerini kullanarak günlük tava buharlaşmasını modellemek için uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve YSA modellerini kullanmıştır. ANFIS ve YSA modelleri, farklı üç meteoroloji istasyonunun hava sıcaklığı, solar radyasyon, rüzgar hızı, bağıl nem, yüzey toprağı sıcaklığı ve toplam yağış miktarı gibi günlük meteorolojik verilerini kullanarak eğitip test etmişlerdir. Uygulanan tekniklerin performansını değerlendirmek için Determinasyon katsayısı(R^2), kök ortalama kare hatası (RMSE), hesaplanan varyans (VAF), ayarlanmış

verimlilik katsayısı (E_1) ve ayarlanmış uyum indeksini (d_1) kullanmışlardır. Mevcut iklim parametreleri ile buharlaşma tahmin modeli oluşturulmasında ANFIS ve YSA metotlarının uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Ladlani, Houichi, Djemili, Heddami ve Belouiz (2012) günlük buharlaşmayı modellemek için RTYSA kullandılar. RTYSA'nın Rahip-Taylor ve Hargreaves-Samani' den daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Terzi ve Ergin (2014), Türkiye'de Kızılırmak Nehri için aylık ortalama akım modellerinin geliştirilmesinde 1955'ten 1995'e kadar gecikmeli aylık nehir akışı ölçümlerini dikkate almışlardır. Otoregresif (AR) modelleme ve gen ifade programlaması (GEP), radyal temel fonksiyon ağı, ileri beslemeli sinir ağları ve ANFIS yöntemlerini kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri modellerin doğruluğunu değerlendirmek için korelasyon katsayısı ve kök ortalama kare hata performans kriterlerini kullanmışlardır. Sonuçları karşılaştırdıklarında, AR modelinin geliştirilen tüm modeller arasında en iyi performansı verdiği, GEP ve ANFIS modellerinin veriye dayalı tekniklerde iyi performansa sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Falamarzi, Palizdan, Huang, Lee (2014), YSA ve dalgacık YSA uygulamalarını günlük buharlaşmayı modellemek için incelemişlerdir. Modellere girdi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızı verilerini kullanmışlardır. Sonuçlar, her iki modelin de buharlaşmayı doğru bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir.

Piri, Mohammadi, Shamshirband ve Akib (2016), buharlaşmayı tahmin etmek için geliştirilen ANFIS modelini kullanmışlardır. Geliştirilen ANFIS modelinin performansını değerlendirmeyi amaçlamışlar. Çalışma sonuçlarında geliştirilen ANFIS modelinin önceki ANFIS modellerden daha başarılı sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Turhan ve Çağatay (2016), çalışma havzalarındaki eksik aylık akım verilerini İBGYSA yöntemi kullanılarak tahmin etmişlerdir. Her model sonucunu MLR ve çoklu doğrusal olmayan regresyon (ÇDOR) yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda İBGYSA yönteminin MLR ve ÇDOR yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Gümüş, Şimşek, Soydan, Aköz ve Yenigün (2016), çalışmalarında aylık ortalama buharlaşma tahminini elde etmek için YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerini kullanmışlardır. Aylık ortalama sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, basınç, güneşlenme Şiddeti ve güneşlenme süresi iklimsel verilerini kullanarak, Adana istasyonundaki aylık ortalama buharlaşmayı tahmin etmişlerdir. Farklı girdi parametre kombinasyonları oluőturarak; YSA, ANFIS ve GEP ile elde edilen sonuçlarını karşılaştırdıklarında tüm metotların buharlaşma tahminlerinin kabul edilebilir derecede başarılı olduğu ancak ANFIS metodunda 6 girdili kombinasyonun, oluşturulan tüm modeller içerisinde en başarılı sonucu verdiği çıkarımına ulaşmışlardır.

Taşar, Kaya, Varçin, Üneş ve Demirci (2017), askıda katı madde tahmininin, su kaynakları yönetimi ve su kalitesi sorunu için önemli olduğunu vurgulamıőlardır. alıőmalarında, YSA, M5 Karar Ağacı (M5T) yaklaşımları, oklu Lineer Regresyon (MLR), Sediment Derecelendirme Eğrileri (SRC) gibi istatistiksel yaklaőımlar ile günlük askıda katı madde konsantrasyonunun tahmini için kullanmışlardır. Bu günlük veriler ABD'deki Iowa istasyonunda ölçülmüőtür. Bu tahmin yaklaşımları ortalama kare hataları, ortalama mutlak bağıl hata ve korelasyon katsayısı istatistiksel parametreler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında YSA yaklaşımı diğer tahmin yöntemlerine göre askıda katı madde tahminlerinde daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Sezer , Öztekin ve Sezer E. (2017) alıőmalarında, buharlaşma miktarını veren Kohler-Nordenson-Fox (KNF) ve Christiansen modellerini kullanarak Samsun'un nemli iklim koşulları altında *Epan* tahmininin baőarısını belirlemek için 2012-2013 yıllarına ait verileri kullanmışlardır. Modellerden elde edilen *Epan* değerlerinin performansını günlük ve aylık olarak deėerlendirmıőler ve birer yıllık olarak yürütölen bu çalışmada KNF modelinin en iyi *Epan* tahminini yaptığı görölmüőtür. 2012 ve 2013 yılları için KNF modeli ile sırasıyla günlük olarak 0.48 ve $0.69R^2$, aylık olarak 0.93 ve $0.98 R^2$ değerlerini elde etmişlerdir. Christiansen modeli ise her iki yıl boyunca aşırı yüksek buharlaşma tahmin ettiğini fakat istasyonda ölçölen ve tahmin edilen *Epan* değerlerinin nispeten simetrik gittiği varsayımından 0.322 değerinde bir katsayı türetmiőlerdir. Nemli iklime sahip yerlerde KNF modelinin kullanılmasını tavsiye eden Sezer ve arkadaşları, Christiansen modelinin kullanılmasının gerektiği durumlarda 0.322 katsayısı ile çarpılmasının sonuçları olumlu yönde geliőtirdiėi kanısına varmışlardır.

Wang, Kisi, Zounemat-Kermani ve Li (2017), aylık buharlaşmayı modellemek için ANFIS-GP, bulanık-genetik (FG), YSA ve MLR modellerini kullanmışlardır. Farklı iklimlerde ANFIS-GP çıktılarının MLR modeline göre daha doğru tahmin sonuçları ortaya koyduğu sonucuna varmışlardır.

Arunkumar, Jothiprakash ve Sharma (2017) çalışmalarında YSA, GP ve karar ağacı yöntemlerinin buharlaşma tahmin modellemesindeki yeteneklerini incelemiştir. Sonuçlar, günlük zaman serisi GP modelinin YSA ve ağaç modellerine göre daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Keshtegar ve Kisi (2017), çalışmalarında ANFIS ve M5T günlük buharlaşma modellenmesindeki potansiyelini araştırdılar. Modellere girdi olarak sıcaklık ve güneş radyasyonu kullandılar. Tüm uygulamalarda ANFIS modeli genel olarak ağaç modelinden daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaştılar.

2018 yılında Taşar, Üneş, Demirci ve Kaya Massachusetts, U.S.A (Cambridge Hazne ve havzası) istasyonunu çalışma alanı seçerek bölgede buharlaşma miktarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında, Hargreaves-Samani, Ritchie ve Turc denklemleri gibi geleneksel yöntemler ile YSA yönteminin performans değerlendirmesi yapılmıştır. Günlük ortalama buharlaşma miktarı tahmini için ortalama günlük hava sıcaklığı, güneşlenme miktarı, rüzgâr hızı ve bağıl nem parametrelerini kullanmışlardır. Tüm günlük veriler eğitim ve test verisi olmak üzere ikiye ayrılmıştır. En uygun çözümün elde edilebilmesi için hataların geriye yayılma ilkesine göre çalışan geriye beslemeli ağ algoritması kullanmışlardır. YSA sonuçlarını, geleneksel Hargreaves-Samani, Ritchie ve Turc yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırdıklarında YSA modelinin buharlaşma miktarı tahmininde geleneksel yöntemlerden daha iyi performans ortaya koyduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Goodarzi ve Eslamian (2018), günlük buharlaşmayı modellemek için GP, MLR ve YSA'nın potansiyelini araştırdılar. Buharlaşmanın çalışma alanı için GP tarafından daha doğru bir şekilde tahmin edilebileceğini gösterdiler. Buharlaşmayı tahmin etmek için ANFIS modelini başarıyla uyguladıklarını ifade etmektedirler.

Eray, Mert ve Kisi (2018), dinamik bir ANFIS (DANFIS) kullanarak buharlaşmayı modellemişlerdir. Sonuçlar, DANFIS'in geleneksel ANFIS ve Hargreaves-Samani ampirik modellerinden daha iyi performans sağladığını göstermiştir.

Demirci, Üneş, Kaya, Taşar ve Varcin(2018), baraj hazne hacmi belirlenmesinde ANFIS ve MLR yöntemlerin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında istasyon olarak, ABD'nin Massachusetts eyaletindeki BrookBarajını seçmişlerdir. Karşılaştırma kriteri olarak Ortalama Kare Hata (KKOH), Mutlak Ortalama Hata (MOH) ve korelasyon katsayısı istatistikleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ANFIS yönteminin MLR modelden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Malik, Kumar ve Kisi (2018), günlük buharlaşmayı tahmin etmek için RTYSA ve MLR modelleri kullanılmıştır. Sonuçlar, 6 giriş kombinasyonlu RTYSA modelinin sonucunun MLR modeline göre daha iyi olduğunu göstermiştir.

Keshtegar, Kisi, Arab ve Zounemat-Kermani (2018) günlük referans evapotranspirasyonu (ET_0) tahmin etmek için yeni bir modelleme şemasının, alt küme uyarlanabilir nöro bulanık çıkarım sisteminin (ANFIS) doğruluğunu araştırmışlardır. Uyguladıkları modellere girdi olarak Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'ndeki Ankara, Kırıkkale ve Çankırı istasyonlarının bağıl nem, solar radyasyon, hava sıcaklığı ve rüzgâr hızına ilişkin günlük meteorolojik verileri kullanmışlardır. ET_0 modellemesi için giriş veri seti yerel modelleme tabanlı bir ANFIS kullanarak yerel verileri kalibre etmek için birkaç alt gruba bölmüşlerdir. Alt grup ANFIS modellerinden elde edilen tahminleri M5 karar ağacı yöntemi, ANFIS modelleri ve YSA ile karşılaştırmışlardır. Modellerin analizi için MOH, KKOH ve model etkinlik faktörü kriterlerini uygulamışlardır. ANFIS alt küme modellerinin YSA ve M5 karar ağacını tahmin doğruluğunu arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Maroufpoor, Sanikhani, Emamgholizadeh ve Kişi (2018) çalışma basıncı, rüzgâr hızı ve bağıl nem gibi farklı değişkenlere dayalı olarak buharlaşma oranını simüle etmek için YSA, ANFIS ve GP olmak üzere üç yapay zeka modeli kullanılmıştır. Sonuçlar, GP modelinin, YSA modeline kıyasla buharlaşma kayıplarını daha iyi bir tahmin ile sağladığını gösterdi.

Sezer Ç, Öztekin ve Sezer E. (2018), Samsun'un 2012-2013 yıllarına ait günlük iklim verilerini kullanarak buharlaşmayı tahmin etmeye çalışmışlardır. A sınıfı buharlaşma kabı (E_{pan})'ndan oluşan buharlaşma miktarını veren Penman ve Priestley-Taylor (PT) modellerini kullanmışlardır. R^2 , KKOH, ortalamadan sapma (AD), ortalama nispi yüzde hatası (ARPE), yeterlilik katsayısı (CE) olarak verilen değerlendirme yöntemlerini tahmin edilen E_{pan} değerleri ile karşılaştırmışlardır. Modellerden elde edilen E_{pan} değerlerinin performansı günlük ve aylık olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda Penman modeli ile daha iyi istatistik sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Gümüş, Yenigün, Toprak ve Nazife (2018), Şanlıurfa ve Diyarbakır istasyonlarındaki tava buharlaşma değerlerini sadece ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak tahmin etmişlerdir. YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerini kullanmışlardır. Verilerin yaklaşık %70'ini oluşturan Şanlıurfa istasyonu için 1978-2003, Diyarbakır istasyonu için 1963- 2000 yılları arasındaki değerler eğitim sürecinde, %30'unu oluşturan Şanlıurfa istasyonu için 2004-2017, Diyarbakır istasyonu için 2001-2017 yılları arasındaki değerler ise modelin test sürecinde kullanılmıştır. Test sürecindeki değerler eğitim sürecine dahil edilmemiştir. Çalışma sonucunda GEP yönteminden çok az da olsa daha iyi sonuç almışlardır.

Yıldırım, Cemek ve Küçüktopçu(2019)günlük buharlaşmayı tahmin etmek için YSA ve ANFIS yöntemleri kullanmışlardır. Bu yöntemlerde test ve eğitim verisi olarak 3 meteoroloji istasyon (Samsun, Bafra ve Çarşamba) verisi kullanılmıştır. Ortalama sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme şiddeti ve rüzgâr hızı girdilerini farklı kombinasyonlarda tahmin için kullanmışlardır. R^2 , KKOH, MOH gibi istatistik parametrelerini kullanılarak model performansını değerlendirdiklerinde YSA ve ANFIS metotlarının özellikle sınırlı iklim parametreleri olduğu durumlarda buharlaşmayı tahmin etmede yararlı olduğuna ulaşmışlardır.

Üneş, Demirci, Kaya, Taşar ve Varçin (2019) tarafından yapılan çalışmada ABD'deki Alabama Nehri'ndeki Millers Ferry Barajı günlük rezervuar düzeylerinin tahmini için ANFIS, destek vektör makineleri (DVM), RTYSA ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRSA) yaklaşımları kullanılmıştır. Özellikle, ANFIS'in uygulanabilirliği araştırılmıştır. Model sonuçları geleneksel oto-regresif modeller (AR), oto-regresif hareketli ortalama (ARMA), MLR modelleri ve en iyi giriş kombinasyonları için yapay zeka modelleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ANFIS modellerinin rezervuar

seviyesini tahmin etmede klasik ve diğer yapay zeka modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini sonucuna ulaşılmıştır.

Shiri (2019), günlük buharlaşmayı modellemek için bir nöro-bulanık (NF) tekniğinin performansını araştırmıştır. Buharlaşma değerlerini tahmin etmek için kullanılan NF modeli, zamansal ve mekânsal verilere dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen geliştirilmiş NF'nin YSA modelinden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Üneş, Maruf ve Taşar (2019) ,çalışmalarında yeraltı suyu seviyesinin doğru ve güvenilir tahmini, su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetimi için önemli olduğu vurgulanmıştır. Çalışma alanı olarak seçtikleri Hatay'ın Dört Yol ilçesi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) 5512 kuyusuna uygulanmıştır. MLR yöntemine sahip ANFIS modelleri ve yeraltı suyu düzeyini öngörmedeki performansı araştırılmıştır. Çalışmada yağış, ortalama hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı , yeraltı suyu seviyesi, zaman serisi gibi hidrolojik parametreler ile yeraltı suyu seviyesinin tahmin edilmesini amaçlanmıştır. İstatistiksel performans değerlendirmesi için R^2 , KKOH ve MOH kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda MLR ve ANFIS modellerinin yeraltı suyu seviyesinin tahmini için iyi performans gösterdiğini özellikle ANFIS modelinin MLR modelinden daha iyi sonuç verdiği kanısına ulaşılmıştır.

Al-Jamimi ve Saleh (2019), buharlaşmayı tahmin etmek için radyal tabanlı bir sinir ağı kullanmanın, gerileme sinir ağına kıyasla daha az yaklaşık sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Özel ve Büyükyıldız (2019), çalışmalarında Konya Kapalı Havzası'nda yer alan Karaman istasyonuna ait meteorolojik değişkenler kullanılarak oluşturulan farklı giriş kombinasyonları ile aylık buharlaşma miktarını tahmin etmişlerdir. Karaman istasyonu için 1967-2010 periyodunda 308 aylık verinin yaklaşık %70'i eğitime, %30'unu ise test aşamasında kullanılmışlardır. Bu amaçla DVR, YSA, ANFIS metotlarını kullanmışlardır. Sonucunda Destek Vektör Regresyonunun, aylık buharlaşma tahmininde diğer metotlardan daha başarılı olduğu kanısına varmışlardır.

Üneş ve arkadaşları(2020),çalışmalarında yağış akış ilişkisini tahmin etmeye çalışmışlardır.MLR, YSA, M5T, ANFIS, Mamdani-Bulanık Mantık (M-FL) kullanılarak tahmin etmişlerdir. Tüm modellerde giriş verileri olarak günlük yağış, nehir akışı ve su sıcaklığı verileri kullanılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Mamdani-Bulanık Mantık (M-FL) ve Bulanık Kural Oluşturma Tekniği (SMRGT) modelinin nehir akış tahmininde diğer modellere göre daha iyi performansa sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Mohamad, Ehteram ve El-Shafie(2020), aylık buharlaşma miktarlarının tahmini için ANFIS ve YSA modellerini kullanmışlardır. Model karşılaştırmalarında buharlaşma tahmininde ANFIS modellerinin başarılı olduğu çıkarımına ulaşmışlardır.

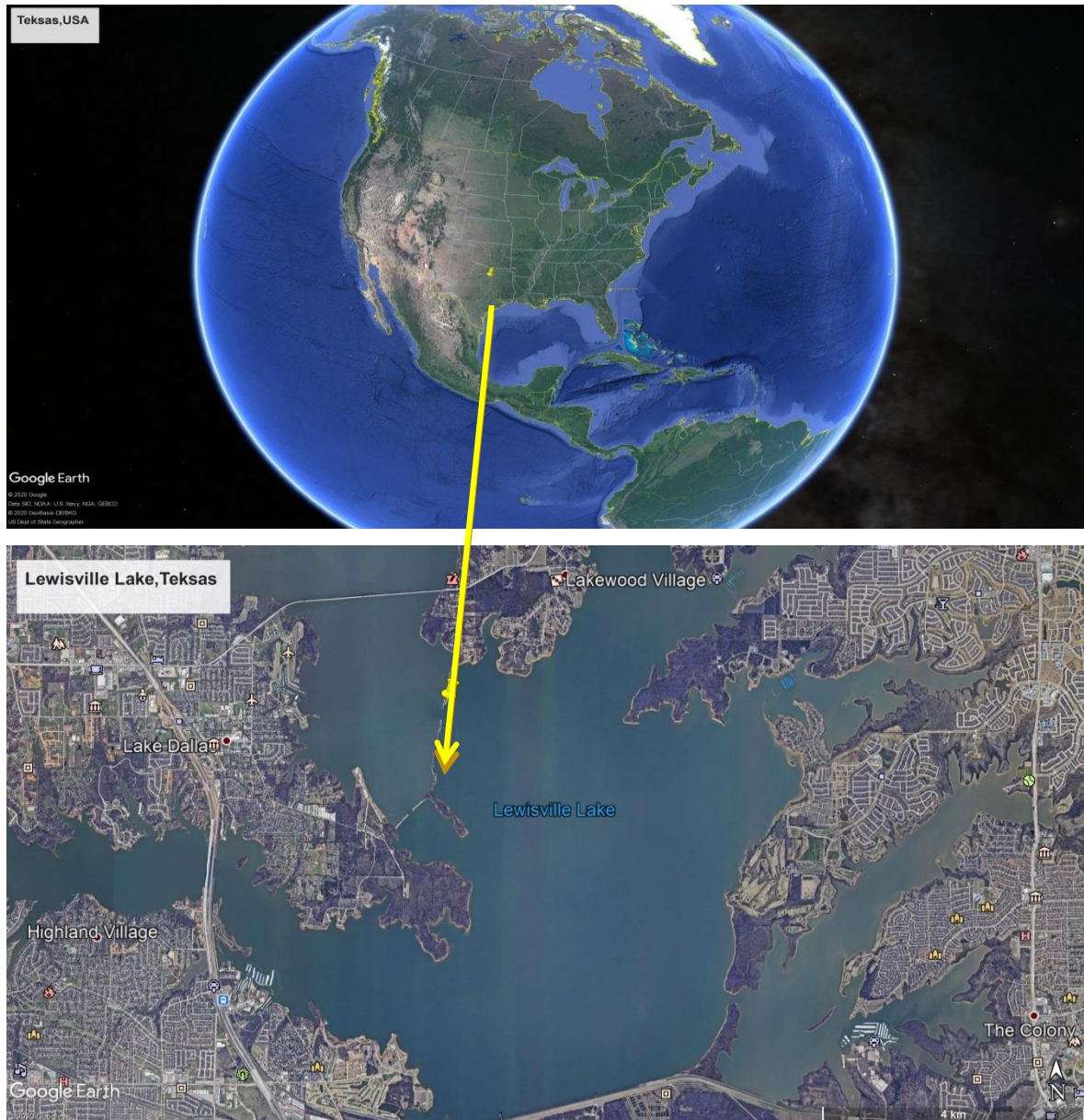
Üneş, Kaya ve Mamak (2020), evapotranspirasyon tahmini için M5T, ANFIS, destek vektör makineleri (SVM) yöntemleri ile Hargreaves-Samani, Ritchie, Turc ve Penman FAO 56 ampirik denklemlerini kullanmışlardır. Hata hesaplamaları ve korelasyon katsayısına göre, Turc ampirik denkleminin diğer ampirik denklemlerden daha iyi sonuç verdiğini ve yapay zeka yöntemlerinin, ampirik denklemlerden daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Bu tez çalışmasında, Penman-Monteith metoduna göre günlük buharlaşma tahmini(ET_0) yapılmış, bu metoda göre bulunan buharlaşma tahminleri referans olarak kabul edilmiştir. Turc ampirik yöntemi, Çoklu lineer regresyon (MLR) modeli, M5 Karar Ağacı (M5T) modeli ve Bulanık Mantık denetleyicilerinden olan Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) 'nin performansları karşılaştırılarak buharlaşma miktarı tahmini yapılmıştır. Günlük ortalama buharlaşma tahmini için ortalama günlük hava sıcaklığı (TM), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) parametreleri kullanılmıştır. Farklı girdi parametreleri kombinasyonları oluşturularak Turc, MLR, ANFIS ve M5T metotları kullanılıp elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Turc metodu dışında kullanılan tüm metotların SR, TM, RH, U girdili kombinasyonlarının buharlaşma tahmininin kabul edilebilir derecede başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. ANFIS metodunda SR, TM, RH, U girdili kombinasyonun, oluşturulan tüm modeller içerisinde en başarılı sonucu verdiği belirlenmiştir.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak, Şekil 3.1’de verilen ABD’nin Teksas eyaletindeki Denton İlçesine bağlı Lewisville Gölü civarında bir istasyona ait veriler kullanılmıştır. 33°07'22" enlemi ve 96°59'22" boylamı üzerinde yer alan bu istasyona ait 2008-2012 yıllarının 4 yıllık meteorolojik verileri kullanılmıştır.Veriler USGS (United States Geological Survey) web sayfasından alınmıştır. Çalışılan istasyonun konum görseli Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1.Çalışılan istasyonun konumu (Google Maps,2020)

Denton ilçesi, 1900'lerin başında kırsal bir çiftçi topluluğuydu. Büyüyen bir topluluğun su ihtiyacı için 1927 yılında Dallas Şehrinde Garza barajı inşa edildi. Garza Barajı tamamlandıktan bir sene sonra Dallas gölü oluşturularak su depolamaya başlandı. Göl, 31 yıldır Dallas şehrinin ana belediye su kaynağıydı. 1940'larda, artan su depolama kapasitesi ve ek taşkın kontrolüne olan ihtiyaç belirgin hale geldi. Buyüzen Birleşik Devletler Ordusu Mühendisler Birliği, 1948'de Lewisville Barajı'nın inşasına başladı. Yeni baraj, Dallas Gölü'nde olduğu gibi Trinity Nehri'nin Elm Çatalı sularının yanı sıra Stewart, Panther, Cottonwood, Doe Branch, Little Elm, Pecan ve Hickory Creeks sularına da el koyacaktı. O zaman, projeye Garza-Little Elm Barajı deniyordu ve inşaattan Mühendisler Birliği'nin Galveston Bölgesi sorumluydu. Göl, 1955 yılında barajın tamamlanmasıyla oluşturuldu ve 1960 yılında Lewisville Gölü adını aldı. Dallas ve kentin yakın çevresinde bulunan, kentle sıkı bağlantısı olan yerleşim yerleri için bir su kaynağı olarak hizmet vermesi amaçlı inşa edilmişti ancak sakinler burayı eğlence amaçlı da kullanıyor(wikipedia,2020).Lewisville gölünün genel görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir.



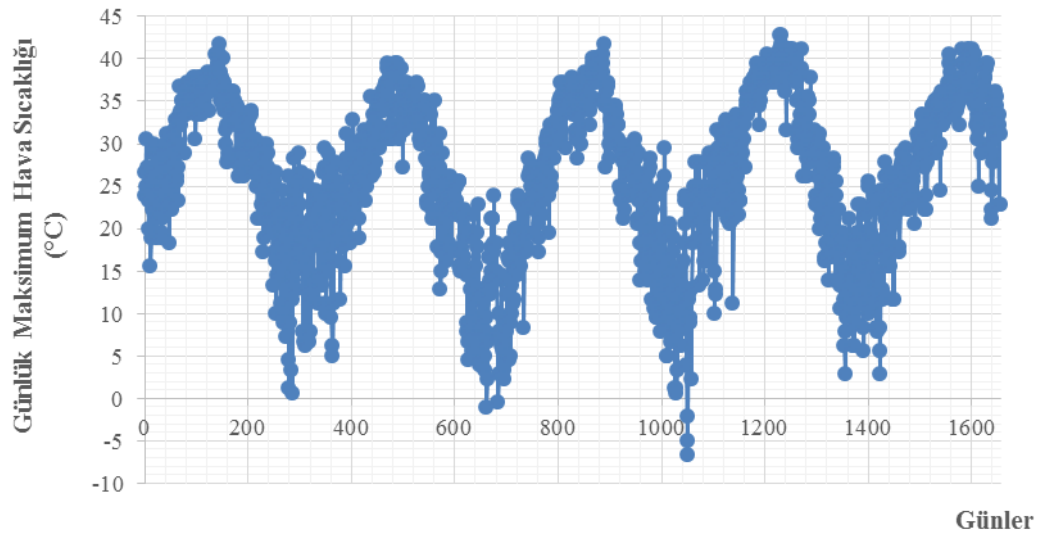
Şekil3.2.Lewisville gölünün genel görünümü(Wikipedia,2020)

Çalışma istasyonu olarak kullanılan Lewisville gölüne ait büyüklüklerÇizelge 3.1'de verilmiştir. (Wikipedia,2020).

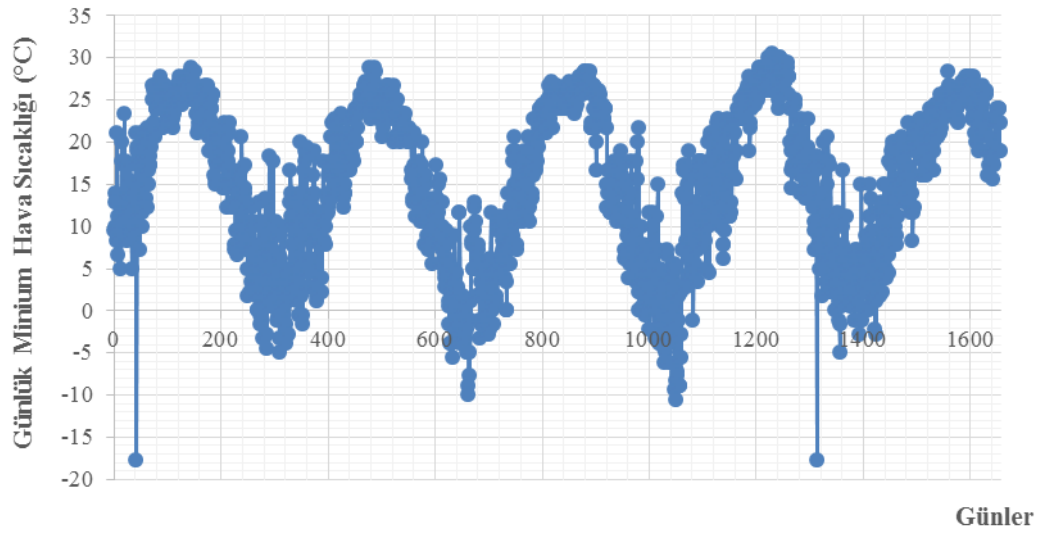
Çizelge 3.1. Lewisville gölüne ait büyüklükler

Maksimum Uzunluk	11 mil (18 km)
Maksimum Genişlik	4,24 mil (6,82 km)
Maksimum Derinlik	67 ft (20 m)
Yüzey Alanı	29 592 dönüm (11,975 ha)

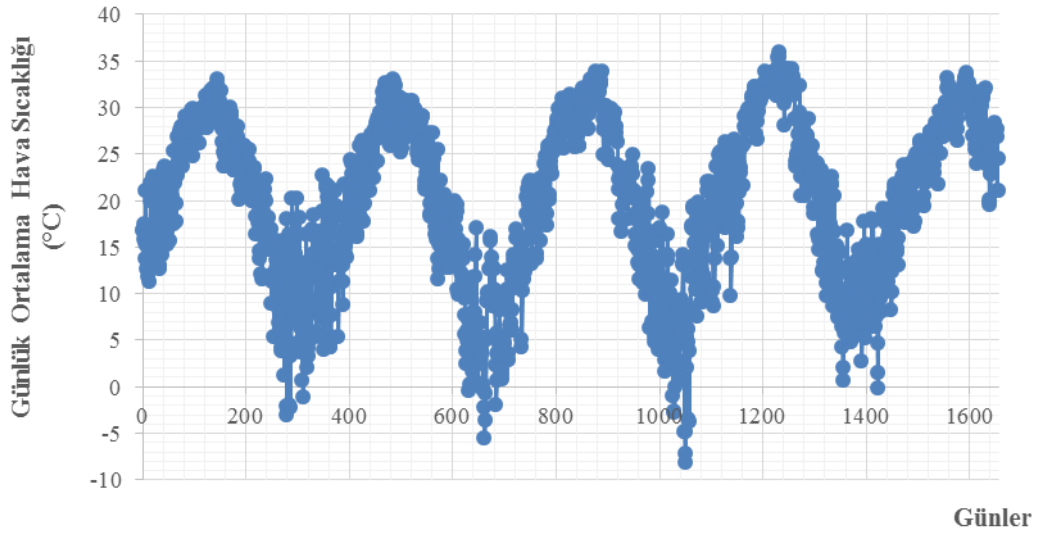
Bu çalışmada, Penman-Monteith metoduna göre günlük buharlaşma tahmini(ET_0) yapılmış, bu metoda göre bulunan buharlaşma tahminleri referans olarak kabul edilmiştir. Turc ampirik denklemi, MLR,M5T modeli ve ANFIS'in performansları karşılaştırılarak buharlaşma miktarı tahmini yapılmıştır. Çalışılan istasyondan 2008-2012 yıllarına ait 4 yıllık toplamda 1650 tane günlük meteorolojik veri kullanılmıştır. Çalışmada, tüm verilerin %75'i eğitim; %25'si test için ayrılmıştır. Eğitim için 1240 günlük veri, test için 410 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır. Bu model uygulamalarında Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (USGS) elde edilen hava sıcaklığı(TM), güneşlenme miktarı(SR), rüzgâr hızı (U) ve bağıl nem (RH) kullanılarak buharlaşma değeri tahmin edilmiştir. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008-2012 yılları arasındaki günlük maksimum hava sıcaklık ($^{\circ}C$) miktarı değişimleri Şekil 3.3'te, günlük minimum hava sıcaklık ($^{\circ}C$) miktarı değişimleri Şekil 3.4'te, günlük ortalama hava sıcaklık ($^{\circ}C$) miktarı değişimleri Şekil 3.5'te, günlük ortalama rüzgar hızı (m/s) değişimleri Şekil 3.6'da, günlük solar radyasyon (Mj/m^2) miktarı değişimleri Şekil 3.7'de, günlük nisbi nem (%) miktarı değişimleri Şekil 3.8'de ve günlük buharlaşma miktarı(mm) değişimleri Şekil 3.9'da verilmiştir.



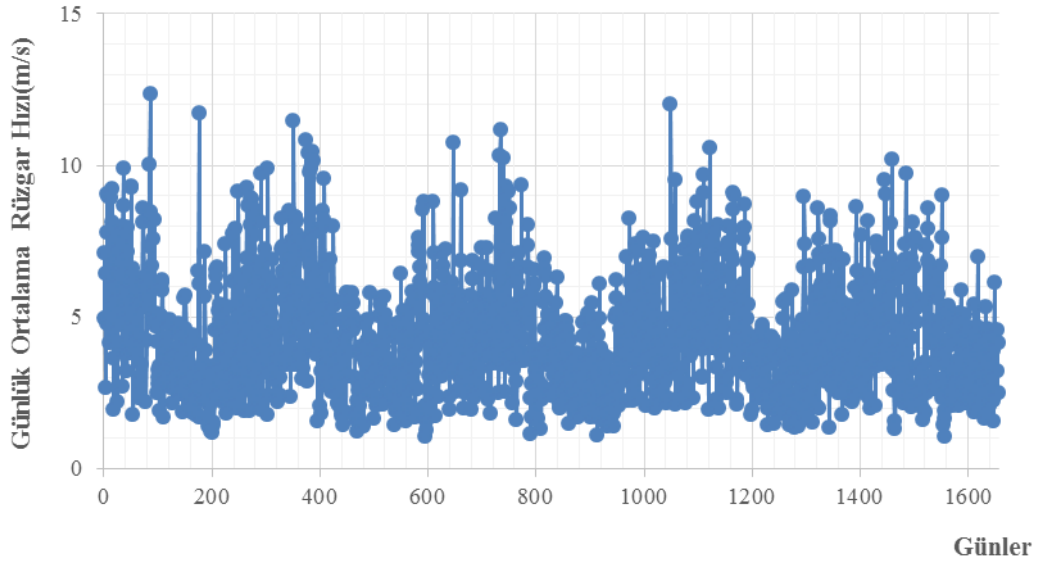
Şekil 3.3. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008- 2012 yılları arasındaki günlük maksimum hava sıcaklık (°C) miktarı değişimleri



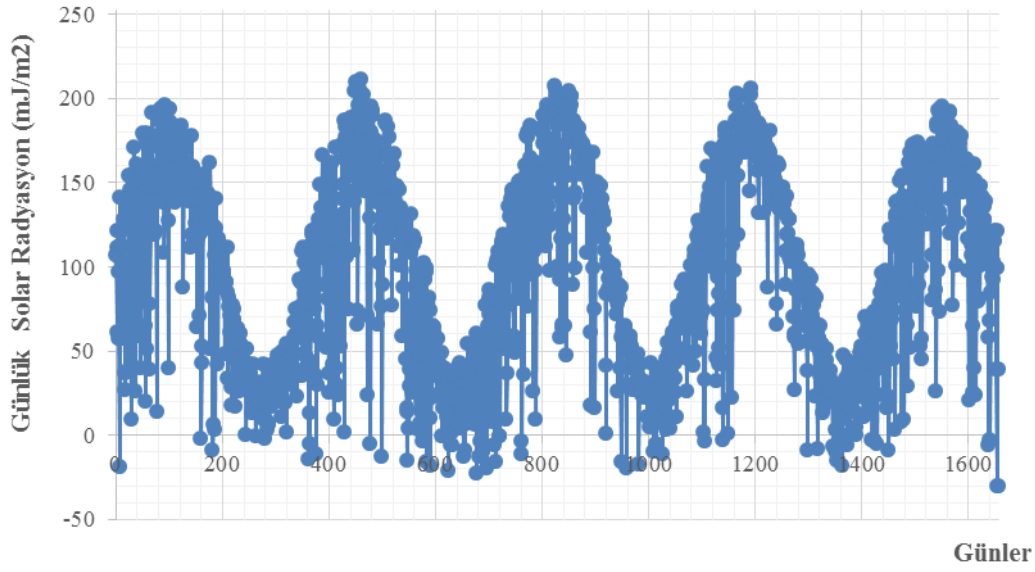
Şekil 3.4. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008- 2012 yılları arasındaki günlük minimum hava sıcaklık (°C) miktarı değişimleri



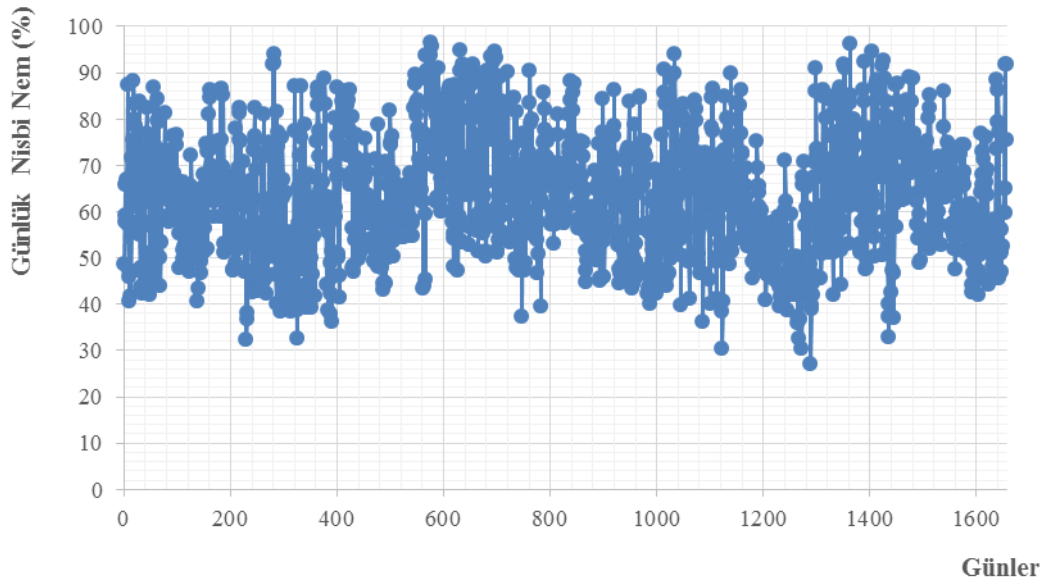
Şekil 3.5. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008- 2012 yılları arasındaki günlük ortalama hava sıcaklık (°C) miktarı değişimleri



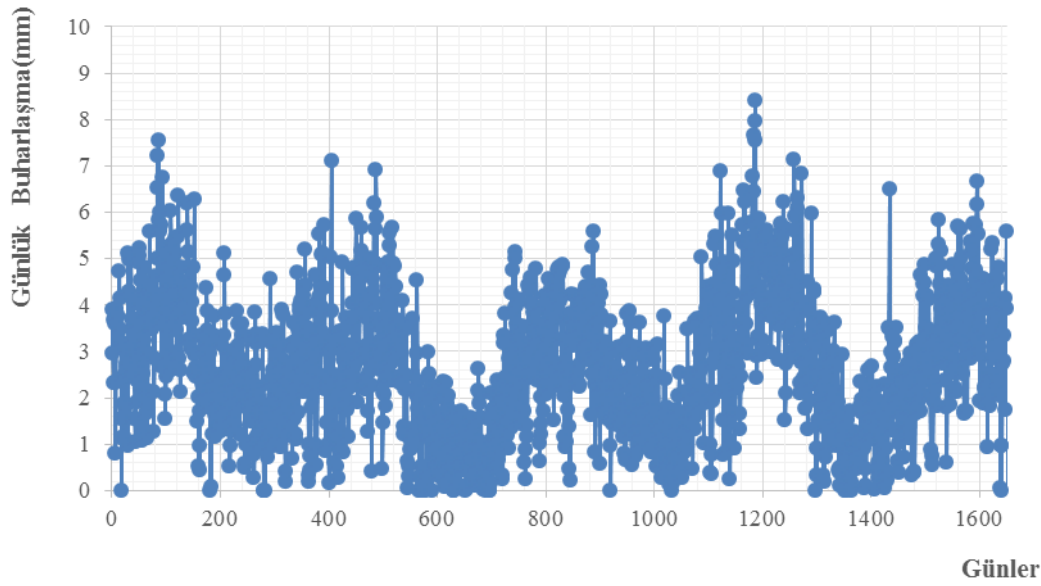
Şekil 3.6. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008- 2012 yılları arasındaki günlük ortalama rüzgar hızı (m/s) değişimleri



Şekil 3.7. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008- 2012 yılları arasındaki günlük solar radyasyon (Mj/m²) miktarı değişimleri



Şekil 3.8. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008- 2012 yılları arasındaki günlük nisbi nem (%) miktarı değişimleri



Şekil 3.9. Çalışılan istasyondaki Lewisville gölüne ait 2008- 2012 yılları arasındaki günlük buharlaşma miktarı(mm) değişimleri

3.2. Kullanılan Modeller

Bu çalışmada günlük buharlaşma miktarının tahmini için USGS'den elde edilen Lewisville Gölü yakınında (Texas, ABD) belirtilen bir istasyona ait 2008-2012 yılları arasındaki buharlaşma verileri kullanılmıştır. Turc, MLR, ANFIS ve M5 karar ağacı yöntemi kullanılarak farklı girdi parametreleri ile günlük buharlaşma miktarı tahmin edilmeye çalışılmış ve ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Günlük ortalama buharlaşma tahmini için ortalama günlük hava sıcaklığı (TM), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) parametreleri kullanılmıştır

3.2.1. Penman-Monteith (PM) yöntemi

Penman (1948), buharlaşmanın tahmininde aerodinamik yaklaşımların yetersiz olduğunu, bu yüzden ampirik yaklaşımların kullanılmasıyla daha sağlıklı sonuçlara ulaşılabileceğini ifade etmektedir. Bu nedenle Penman, serbest su yüzeyinden oluşan buharlaşmanın tahmininde kullanılacak lineer ampirik bir eşitlik geliştirmiş ve "Penman'ın Lineer Eşitliği" olarak Jensen, Burman ve Allen (1990) tarafından önerilip kullanılmaya başlanılmıştır (Aydın, 2019). Böylece referans evapotranspiration (ET_0) endeksinin oluşturulmasında FAO (Food and Agriculture Organization) tarafından standart metod olarak önerilen PM metodu kullanımı yaygınlaşmıştır.

Jensen ve arkadaşları (1990) tarafından geliştirilen Penman-Monteith yöntemine ait denklem (3.1)'de verilmiştir.

$$ET_0 = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) R_n + \left(\frac{\gamma}{\gamma + \Delta} \right) [15.36(1 + 0.0062U_2)(e_w - e_a) \frac{1}{\lambda}] \quad (3.1)$$

Bu ifadelerde;

ET_0 : referans evapotranspirasyonu [mm gün^{-1}],

Δ : buhar basıncı eğrisinin eğimi [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$]

γ : fizikometrik sabiti [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$]

R_n : net radyasyon [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$]

U_2 : rüzgar hızı [m/s]

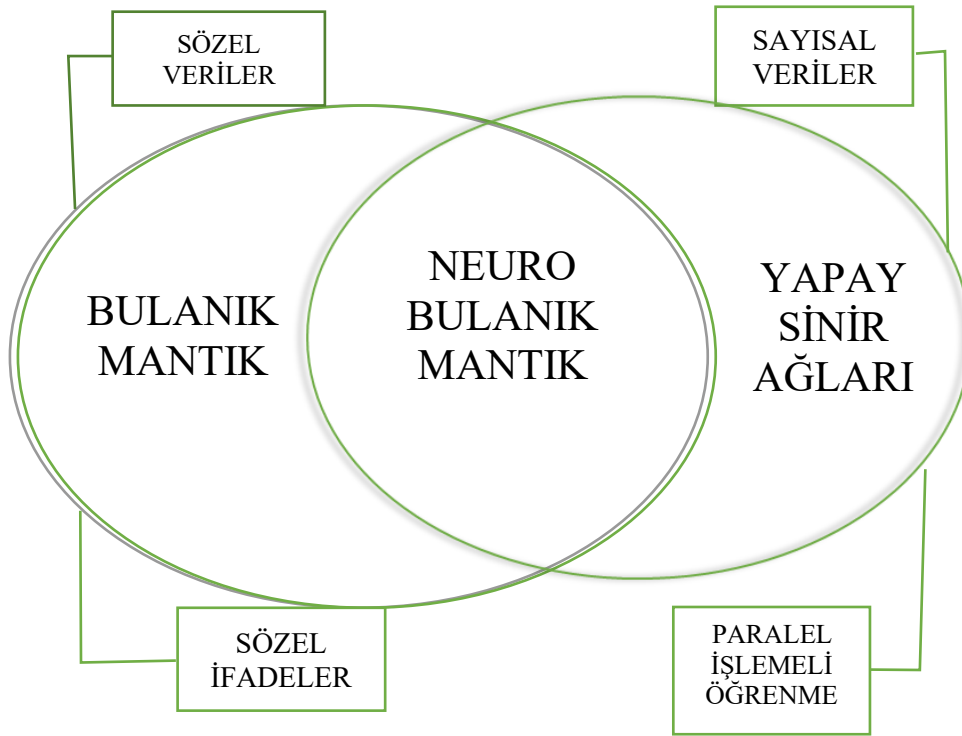
e_w : doymuş buhar basıncı [kPa]

e_a : gerçek buhar basıncı [kPa]

λ : potansiyel buharlaşma ısısını temsil etmektedir.

3.2.2. Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ilk olarak Jang (1993) tarafından geliştirilmiştir. YSA ile bulanık mantık sisteminin (FIS) kombine edilmiş hali olan ANFIS kelimesi Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System'in baş harflerinden oluşmaktadır. Mevcut sistemlerdeki yetersiz bilgi girdisi ve anlaşılma zorlukları bu modelin gelişmesine imkan sağlamıştır. Bu durumdan kısaca bahsedecek olursak; sinir ağları veriden öğrenebilir, fakat sinir ağları ile öğrenilen bilgiyi anlamak zordur. Bulanık mantık ise sistem bilgisini açıklamak için insanın anlayabileceği yapıdaki sözel ifadeleri kullanır. Bu özellik, sistem ve insan arasındaki kapalı bir etkileşimi mümkün kılar çünkü Bulanık sistemler sözel terimler ve eğer-ise kuralları kullandıkları için kolayca anlaşılabilir ancak öğrenme algoritmaları yoktur. Neuro-Bulanık sistemlerin sinir ağları ve bulanık mantıkla ilişkisi Şekil 3.10'daki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.10. Neuro-Bulanık sistemlerin Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantıkla ilişkisi

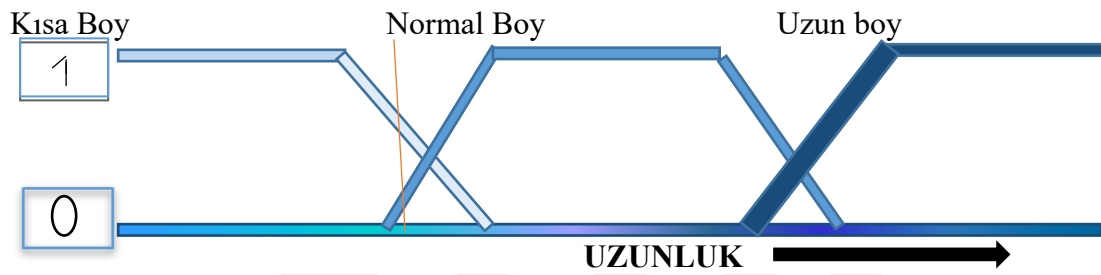
(Çodur,2008)

Bulanık Mantık

Bulanık mantık, 1965 yılında Lotfi Aliasker Zadeh'in yayınladığı bir makalenin sonucu olmuş mantık yapısıdır.1965 tarihli orijinal makalesinin yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren durumların incelenmesine yeni bir bakış açısı getirmiştir. Temelleri 1965'te ortaya atılan bulanık mantık sisteminin bulanık küme kavramı ile tanışması ancak 1970'li yılların ikinci yarısından sonra mümkün olmuştur. Bunda özellikle Zadeh'in 1965 deki ilk makalesinden daha fazla etkili olan ve bulanık mantığın belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan makaleleri (Zadeh,1973;1975) etkili olmuştur. 1980'li yılların ikinci yarısından sonra ürünlerde bulanık mantığı kullanmalarıyla da hız kazanarak, günümüzdeki zirve noktasına ulaşmıştır.

Bulanık mantığın temel yapısı bulanık küme ve alt kümelerine dayanır. Bir nesne alışılmış yaklaşımda kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edecek olursak nesne, küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı ise "1"; kümenin elemanı değilse "0" değerini alır. Bulanık kümede her bir nesnenin bir üyelik derecesi vardır. Nesnenin üyelik derecesi $[0,1]$ aralığında herhangi bir değer olabilir. Üyelik fonksiyonu ise $\mu(x)$ ile gösterilir.Örneğin; normal insan boyunu 170 cm olarak kabul edersek klasik küme

kuramına göre boyu 170cm üzerindeki insanları uzun boylu olarak kabul ederiz ve bu derecelerin uzun boy kümesindeki üyelik dereceleri "1" olur. Boyu 170 cm altındaki insanlar ise kısa boyludur ve kısa boylular kümesindeki üyelik dereceleri "0" olur. Kısa boylular kümesini temel aldığımızda bu değerler tersine döner. Bulanık küme yaklaşımında üyelik değerleri $[0,1]$ aralığında değerler almaktadır. Örneğin 140 cm uzunluğundaki bir insan için üyelik derecesi "0", 170 cm uzunluğunda bir insan için üyelik değeri "0.45" olabilir. Bulanık mantık örneği Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Bulanık Mantık örnekleme

Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Klasik mantık ile Bulanık Mantık arasındaki farklar

Klasik (Aristo) Mantık	Bulanık Mantık
A veya A değil	A ve A değil
Kesin	Kısmen
Hepsi veya Hiçbiri	Derecelendirilmiş
İkili birimler	Bulanık Birimler

Bulanık Mantık Avantajları

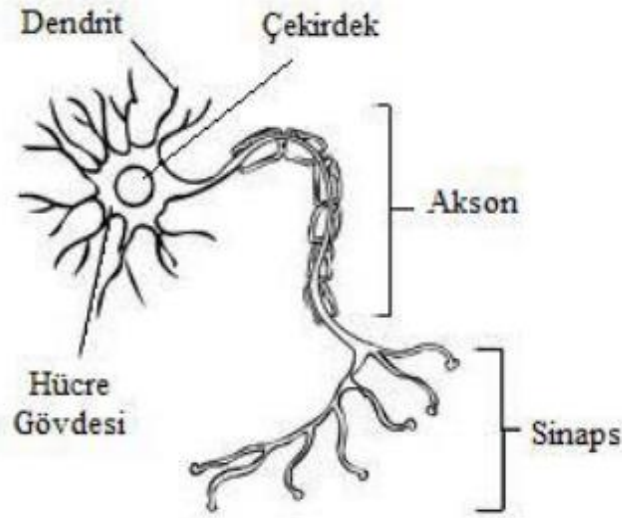
- İşleyiş sistemi insan düşünce tarzındadır.
- Doğrusal olmayan sistemlerde iyi sonuç verir.
- Matematiksel bir modele ihtiyaç duymaz
- Eksik tanımlı problemlerde sonuca varmamız için uygundur.
- Uygulanması oldukça kolaydır ve hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar.

Bulanık Mantık Dezavantajları

- Kuralların en iyi şekilde belirlenmesi için uzman deneyimine ihtiyaç vardır.
- Kuralları ve üyelikleri tanımlamak her zaman kolay değildir.
- Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde net doğru sonuç veren bir yöntem ve yetenek yoktur.
- Deneme yanılma yöntemi en uygun yöntemdir. Bu da zaman kaybına yol açar.
- Denetlenebilirlik analizinin yapılamaması ve gözetlenebilirlik konusundaki yetersizlik en temel sorundur

Yapay Sinir Ağları

Bilim insanları beynin sinir sistemini inceleyerek deneysel biyofizik yaklaşım ve yapısından esinlenip matematiksel modeli çıkarmaya çalışmışlardır. Beynin bütün davranış, fonksiyon ve fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylelikle günümüz mevcut bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yönteminden farklı olan Yapay Sinir Ağları denilen yeni bir bilim dalı ortaya çıkmıştır (Ataseven, 2013). Özetle YSA, beynin fonksiyonunu yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA denilen model, yapısal fonksiyonun gerçekleştirilebilmesi için birçok nöronun belirli bir sistemle bir araya getirilmesi ile oluşur. Farklı ağlar ile bağlantılı birçok işleme unsurlardan oluşan YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Biyolojik sinir hücre yapısı Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Biyolojik sinir hücre yapısı(Ataç,2017)

YSA ile insan beyninin sinir hücre benzerliği ;

Sinaps → Ağırlıklar

Çekirdek → Aktivasyon fonksiyonu

Dendrit → Toplama işleci

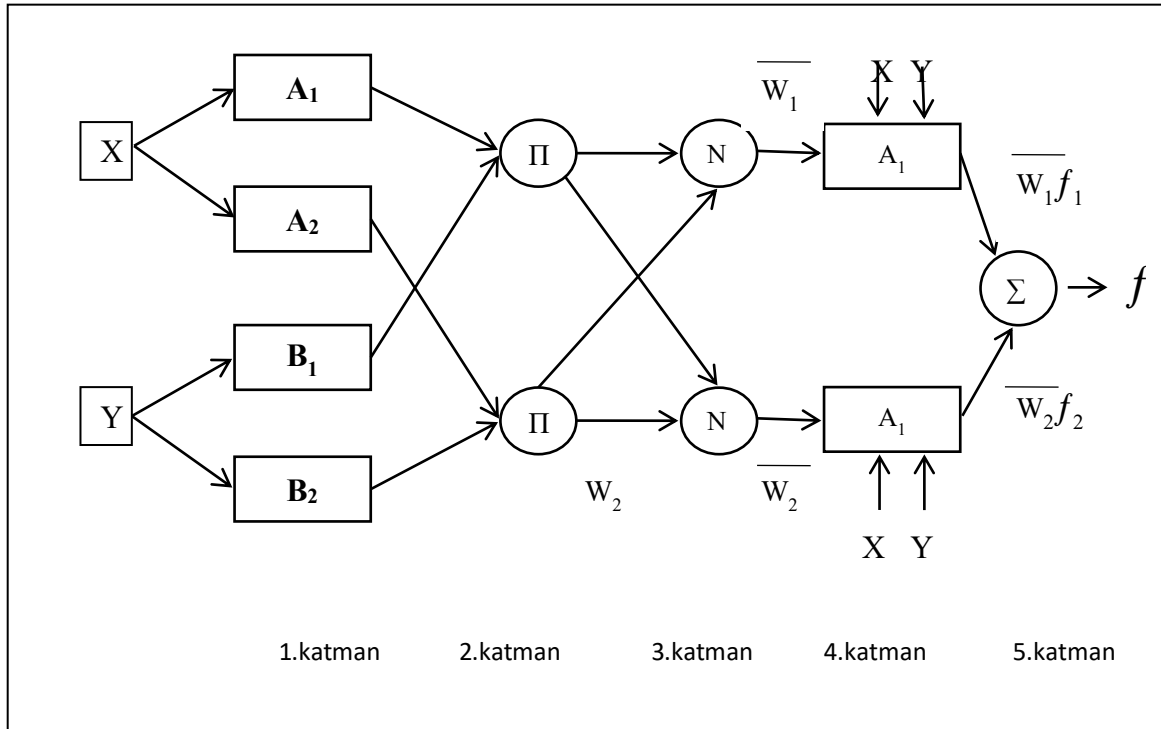
Akson → Çıktıya karşılık gelmektedir.

Sistemlerin matematiksel modeline gerek duyan klasik denetim sistemlerindeki aksine, sadece istenilen çıkışı verecek şekilde girdiler ayarlandığından, bulanık denetimin işlemesi tıpkı işinde usta bir insanın o sistemi denetlemesine benzer. Yani bulanık mantık ve kümeleme işlemleri kullanılarak makinelerin insanlar gibi kararlar vermesi sağlanabilmektedir. Bu uyumluluk yapay sinir ağları ve algoritmalarla desteklenmesiyle neuro-bulanık sistemleri ortaya çıkarmıştır. Böylece akıllı sistemler de hızlı bir gelişme kat etmeye başlamıştır. Çizelge3.3'te Bulanık sistemlere ve sinir ağlarına ait genel bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bulanık Sistemler ve YSA özellikleri(Baykal ve Beyan, 2004b: 425.)

YETENEKLER		Bulanık Sistemler	Sinir Ağları
Bilgi Edinme	Girdiler	İnsan Uzmanlar	Örnek Kümeler
	Araçlar	Etkileşim	Algoritmalar
Akıl Yürütme	Mekanizma	Deneysel Araştırma	Paralel Bilgi işlem
	Hız	Düşük	Yüksek
Belirsizlik	Bilgi	Nicel ve Nitel	Nicel
	Bilişsel	Karar verme	Algı
Doğal Dil	Gerçekleştirme	Açık	Gizli
	Esneklik	Yüksek	Düşük
Uyarlama	Hata Toleransı	Düşük	Çok yüksek
	Öğrenme	İndüksiyon	Ayarlanmış Ağırlıklar

ANFIS sadece tek çıktılı doğrusal olmayan fonksiyonların tahmininde ve görev tahmininde kullanılabilir. ANFIS modelinde temel amaç kullanılan parametreleri en iyi duruma getirmektir. Bu metodun temelinde Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım sistemi vardır. (Doğan, 2016) Giriş ve çıkış verileri arasındaki ilişkiyi elde etmek ve üyelik fonksiyonunu belirlemek için eğitim süreci için sinir ağlarının öğrenme algoritmaları kullanılır. ANFIS yapısı aşağıdaki Şekil 3.13'teki gibi gösterilebilir (Jang, 1993).



Şekil 3.13. ANFIS yapısı

Bu yapı bulanık sonuçlandırma sistemine uyarlamalı sinir ağı yapısının uygulanması durumunda elde edilir. Temelde Sugeno tarafından önerilen bulanık sonuçlandırma yapısının adaptif ağ yapısında sinir ağlarına uygulanmış şeklidir. Şekil 3.13'te gösterilen X,Y girdi parametrelerini; A₁,A₂,B₁,B₂ üyelik fonksiyonlarını;Π bulanık kuralları, N normalizasyonu ve bulanık sistemler uygulandıktan sonra parametrelerin ağırlıklarını w_i göstermektedir. Süreci özetleyecek olursak;

Bu yapıda kullanılan If-Then kural yapısı (3.2) , (3.3)'te gösterilmiştir.

Kural kümesi: EĞER, x A₁ VE y B₁ İSE ; $f_1 = p_1 \cdot x + q_1 \cdot y + r_1$ (3.2)

EĞER, x A₂ VE y B₂ İSE ; $f_2 = p_2 \cdot x + q_2 \cdot y + r_2$ (3.3)

şeklindedir.

1.katman, Bulanıklaştırma katmanıdır.düğüm bir fonksiyona sahiptir.A_i ve B_i değerleri sözel değişkenleri ifade etmek için kullanılır. A_i ve B_i değerleri bir üyelik fonksiyonu ve etiket vasıtasıyla, üyelik derecesine ait değer olarak katmandan çıkarlar. Bir üyelik

fonksiyonu ($\mu(x)$) seçilerek sözel değişkenlerin üyelik dereceleri belirlenir. Üyelik derecesi (3.4)'teki gibi gösterilir. Sürecin denklemleri (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8)'de gösterilmiştir.

$$\mu_{Ai}(x), \mu_{Bi}(x) \quad (3.4)$$

2.katman, girdiler çarpılarak bir düğümden çıkarlar.

$$w_i = \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_{Bi}(y) \quad (3.5)$$

3.katman, ateşlenme seviyeleri normalize edilir.

$$\bar{W}_i = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad (3.6)$$

4.katman, çıkış değişkeni sabit bir sayı ya da değişkene bağlı polinom fonksiyon olarak tanımlanır.

$$\bar{W}_i \cdot f_i \quad (3.7)$$

5.katman, tüm çıkışlar üzerinden elde edilen toplam çıkış değeri hesaplanır. Bir düğüm vardır ve \sum ile temsil edilir. (Doğan, 2016)

$$x_0 = \sum \bar{W}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \quad (3.8)$$

3.2.3. Turc denklemi

Turc (1961) evapotranspirasyon miktarının solar radyasyonu, sıcaklık ve nispi nem değişkenleri ile ampirik olarak hesaplanabilmesi için Batı Avrupa nemli iklim koşulları altındaki verilerini kullanarak ampirik bir denklem geliştirmiştir. Evapotranspirasyonu tahmin etmek için kullanılan en basit ampirik denklemlerden biridir. Turc denklemi (3.9) ve (3.10)'da verilmiştir:

$$RH > \%50ET = 0,0133(R_S + 50) \frac{T_{mean}}{T_{mean}+15} \quad (3.9)$$

$$RH < \%50ET = 0,0133(R_S + 50) \left(1 + \frac{50-RH}{70}\right) \frac{T_{mean}}{T_{mean}+15} \quad (3.10)$$

Bu ifadelerde,

ET : buharlaşmayı[mm gün⁻¹],

R_s : güneşlenme miktarını[MJ m⁻²gün⁻¹],

T_{mean} :ortalama sıcaklığı[C°],

RH : bağıl nemi[%] ifade etmektedir.

3.2.4. M5 KararAğacı (M5T)

M5T ilk olarak (1992) Quinlan tarafından önerilmiştir. Bu yöntem bağımlı değişkenin tahmini değerini hızlı, pratik ve anlaşılır şekilde sonuçlandırır. Çok yönlü mantıksal bir modeldir. Sayısal verilerle ve eksik veri değerleriyle nasıl başa çıkılacağı konusunda yol göstericidir. Oldukça hızlı olmasıyla birlikte çok yüksek oranlarda doğru olan anlaşılır çıktılar üretirler. Bu durum karar ağacı öğrenmesinin gerçek dünya veri kümelerinin talepleriyle baş edebilecek düzeyde sağlam ve çok yönlü işleyişiyle açıklanmaktadır.(Witten ve Frank, 2005)

Karar ağaçları çok özellikli veriyi, belirlenmiş özellik ve şartlar doğrultusunda parçalara ayırır. Her seferinde verinin hangi özelliği üzerinde hangi şarta göre işlem yapacağına karar vermek çok büyük bir kombinasyonun çözümüyle mümkündür. M5T yöntemi bize bu konuda kolaylık sağlar. Öncelikli olarak ön budama işlemi yapılır. Bu budama işlemi ağaç oluşumu sırasında yapılmaktadır ve belirlenen nitelikler, önceden belirlenmiş bir hata toleransının üstünde değilse ağaç bölümlene işlemi durdurulur. Bu işlem faydası olmayan kısımların ağaçtan çıkarılması işlemidir. Elde edilen veriler karar ağacının yapraklarını oluşturur. Sonrasında ise sonradan budama işlemi devreye girer. Bu bölümde ön budama işleminden sonra oluşturulan ağacın değerlerini sağlamayan kısımları silinir.

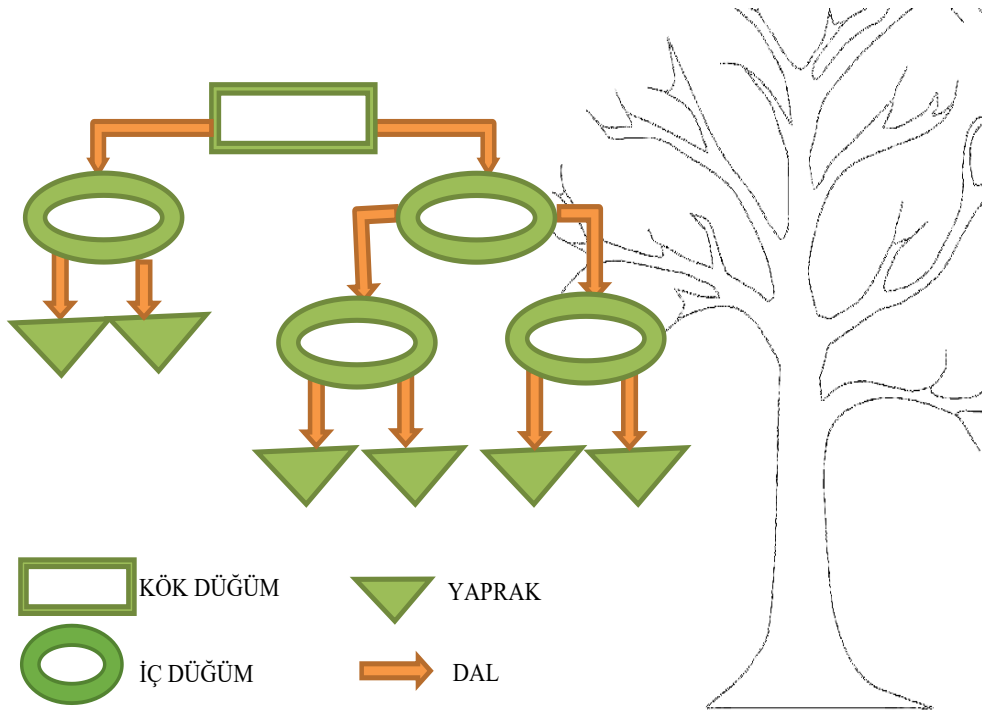
Temel olarak iki tür karar ağacı vardır:

- ❖ Sınıflama ağaçları, bir sayısal niteliğin değerini tahmin etmek için kullanılan bir sembolik sınıftır. Bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır.
- ❖ Regresyon ağaçları, öngörmek için kullanılmaktadır(Witten ve Frank, 2005).

M5T algoritması, hedef boşluğundaki varyansı maksimuma indiren tek bir öznitelik üzerinde testler kullanarak örnek boşluğunu tekrarlışekilde bölerek bir regresyon dizisi oluşturur(Demirci,2019).Standart sapma azaltma (SDR) hesaplamak için matematiksel denklem (3.11)'de verilmiştir.

$$SDR = sd(T) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (3.11)$$

Yukarıda gösterilen denklem (3.11)'de T düğüme ulaşan bir örnek grubunu, T_i potansiyel kümenin sonucu olan örneklerin alt kümesini, Sd standart sapmayı temsil etmektedir.



Şekil 3.14. M5 Karar Ağacı temel yapısı

Bir karar ağacının temel yapısı Şekil 3.14'te görüldüğü üzere düğüm, dal ve yaprak olarak adlandırılan üç kısımdan oluşur. Bu ağaç yapısında her bir öznitelik bir düğüm tarafından temsil edilir. Ağaçta en üst kısım kök düğüm en alt kısım ise yaprak olarak adlandırılır. Dal ise kök ve yapraklar arasında kalan kısımdır. Bir karar ağacı yapısı oluşturulmasında temel ilke verilere ilişkin bir takım sorular sorulmasıdır. Bu işlem sonrası elde edilen cevaplarla hareket edilerek en kısa sürede sonuca gidilmesi olarak ifade edilebilir. Bu şekilde karar ağacı sorulara aldığı cevapları toplayarak karar kuralları oluşturur. Kök düğümünde verilerin sınıflandırılması ve ağaç yapısının oluşturulması için sorular

sorulmaya başlanır ve dalları olmayan düğümler ya da yapraklar bulunana kadar bu işlem devam eder.(Quinlan,1990)

3.2.5. Çoklu Lineer Regrasyon (MLR)

Bir tane bağımlı değişken ile bununla ilişkisi olan bir dizi bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yapılan analizdir MLR yöntemi, bir bağımlı değişkenin ne kadar etkilendiğini ve etkilendiği, ilişkilendirildiği bağımsız değişkenlerin değerini bulmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir.

MLR yöntemi denklem (3.12)'deki gibi gösterilir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (3.12)$$

Denklem (3.12)'de ifade edilen;

y: bağımlı değişkeni

x_i : bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi

β_i : regresyon katsayılarını

β_0 : sabit

ε : hata değerini temsil etmektedir. (Jüttner, 2003).

3.3.Model Performansında Kullanılan İstatistik Parametreleri

Model sonuçlarının değerlendirmesinde determinasyon katsayısı(R^2), ortalama karesel hataların karekökü (KKOH) ve mutlak ortalama hata (MOH) hesaplanmıştır.

Determinasyon katsayısı (R^2)

R^2 , x ve y ikili değerleri arasındaki doğrusal bağıntının gücünü ölçer. Sonuçların 0 ile 1 arasında çıkması beklenir. Bu durumda 1'e en yakın değer için yapılacak olan yorumlama en uygun olanıdır. R^2 değeri 1'e ne kadar yaklaşırsa model gerçeğe o kadar yaklaşır ve kusursuz bir doğrusal eğri sağlanır. 0'a yaklaşırsa modelin gerçeğe uzak olduğu

anlaşılmaktadır. Veri sayısı arttıkça R^2 'ye olan güven artmaktadır. R^2 'nin denklemi (3.13)'teki gibidir.

$$(R^2) = \left(\frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{(n\sum y^2) - (\sum y)^2}} \right) \quad (3.13)$$

Mutlak Ortalama Hata (MOH)

MOH tahmin edilen değer ile gerçek değer arasındaki farkı gözetmeden hataların ortalama büyüklüğünü ölçer. Hata oranları birim olarak ifade edilmektedir ve bu ifadeler sıfırdan sonsuza kadar değer alabilir. MOH denklemi (3.14)'teki gibidir.

$$MOH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |ET_{ölçüm} - ET_{tahmin}| \quad (3.14)$$

Yukarıda gösterilen denklem (3.14)'te;

ET : buharlaşma miktarı

N : veri sayısını temsil etmektedir.

Ortalama Hataların Karekökü (KKOH)

KKOH, aynı büyüklüğün ölçülmesi sonucunda elde edilen bir ölçü dizisinin gerçek hatalarının kareleri toplamı ölçü sayısına bölünüp, hesaplanan bu değer karekökü alınarak bulunan değerdir. Karelerinin ortalaması ne kadar küçük ise program gerçek veriye o kadar yakındır. Denklem (3.15)'te verilmiştir.

$$KKOH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ET_{ölçüm} - ET_{tahmin})^2} \quad (3.15)$$

Yukarıda gösterilen denklem (3.15)'te;

ET : buharlaşma miktarı

N : veri sayısını temsil etmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmanın ilk aşamasında ANFIS metodunafarklı girdi parametreleri kombinasyonları oluşturularak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hem eğitim hem de test için uygulanmıştır. ANFIS metoduna girdi olarak verilen parametrelerin dağılım ve saçılım grafikleri verilmiştir. Bu aşama sonucunda ANFIS metoduna girilen parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar referans buharlaşma (ET_0) ile karşılaştırılmıştır. ANFIS metodunda elde ettiğimiz sonuçlar Turc, M5T ve MLR ile kıyaslanmıştır.

Turc yöntemi için solar radyasyon (SR), ortalama günlük hava sıcaklığı (TM) ve bağıl nem (RH) kullanılmıştır. Turc yöntemine girdi olarak verilen parametrelerin dağılım ve saçılım grafikleri oluşturulmuştur. Hem eğitim hem de test süreçleri için uygulanmıştır.

Farklı girdi parametreleri M5T içinde uygulanmıştır. M5T metoduna girdi olarak verilen parametrelerin dağılım ve saçılım grafikleri verilmiştir. Hem eğitim hem de test için uygulanmıştır. MLR içinde farklı girdi parametreleriyle sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Benzer şekilde hem eğitim hem de test aşamaları için uygulanmıştır.

MLR metoduna girdi olarak verilen parametrelerin dağılım ve saçılım grafikleri verilmiştir. Her bir yöntemden elde edilen model sonuçları çizelge halinde gösterilmiştir.

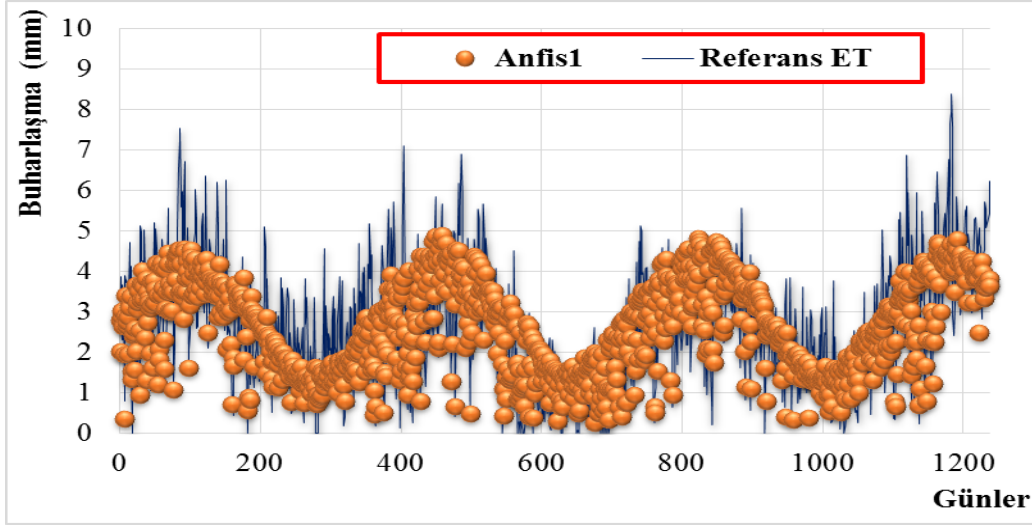
Günlük ortalama buharlaşma tahmini için ortalama günlük hava sıcaklığı (TM), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) parametreleri kullanılmıştır. Çalışılan yöntemlerden hangilerinin günlük buharlaşma tahmini için daha verimli olacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada kullanılan model ve kullanılan parametreler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.Kullanılan Model ve Parametreler

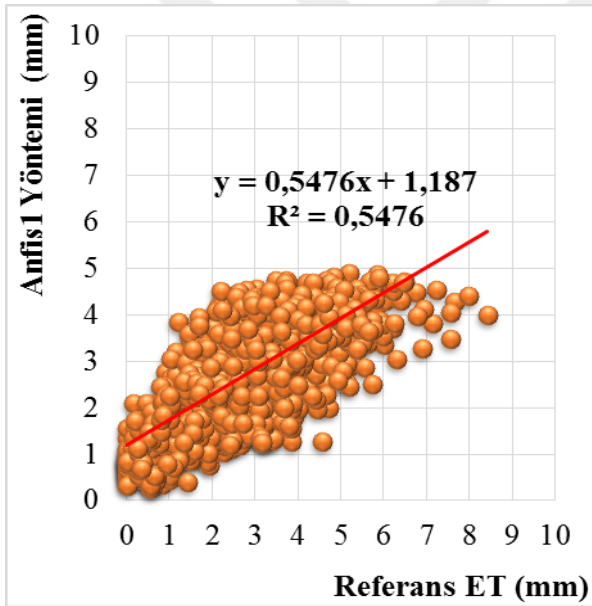
Model İsim	Model Girdi	Model İsim	Model Girdi	Model İsim	Model Girdi
ANFIS 1	SR	M5T 1	SR	MLR 1	SR
ANFIS 2	SR, TM	M5T 2	SR, TM	MLR 2	SR, TM
ANFIS 3	SR, TM, RH	M5T 3	SR, TM, RH	MLR 3	SR, TM, RH
ANFIS 4	SR, TM, RH, U	M5T 4	SR, TM, RH, U	MLR 4	SR, TM, RH, U
TURC	SR, TM, RH				

4.1. ANFIS Model Sonuçları

Penman-Monteith metoduna göre günlük buharlaşma tahmini (ET_0) yapılmış, bu metoda göre bulunan buharlaşma tahminleri referans olarak kabul edilmiştir. Çalışılan istasyondan 2008- 2012 yıllarına ait 4 yıllık toplamda 1650 tane günlük meteorolojik veri kullanılmıştır. Çalışmada, tüm verilerin %75'i eğitim; %25'si test için ayrılmıştır. Eğitim için 1240 günlük veri, test için 410 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır. Bu model uygulamalarında USGS' ten elde edilen hava sıcaklığı(TM),güneş ışınımı(SR), rüzgâr hızı (U) ve bağıl nem (RH)kullanılmıştır.ANFIS metodu SR, TM, RH, U girdili kombinasyonlar ile buharlaşma tahmini yapılmıştır.

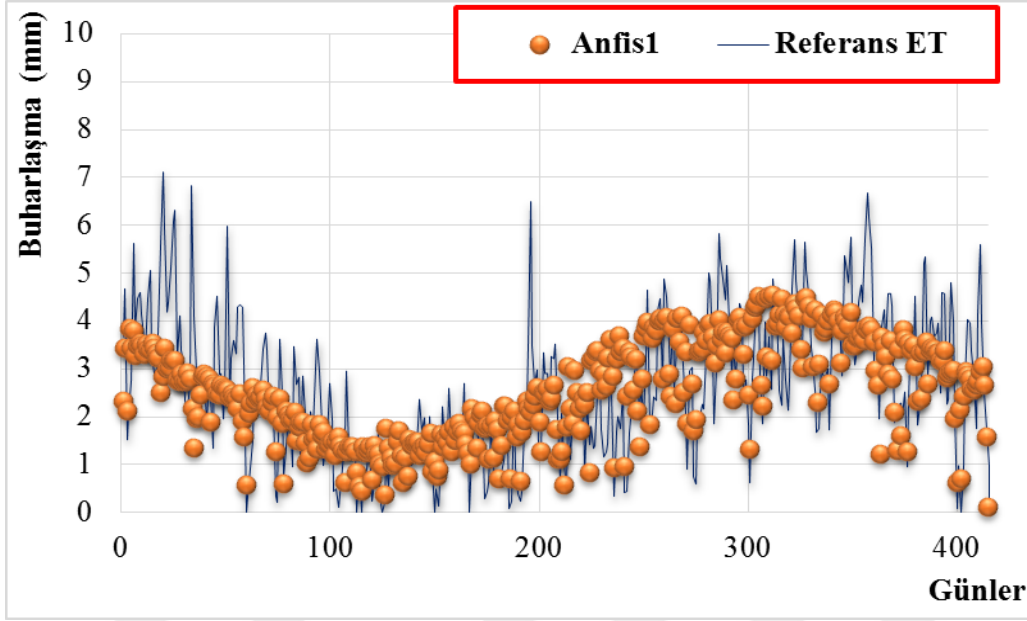


Şekil 4.1. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

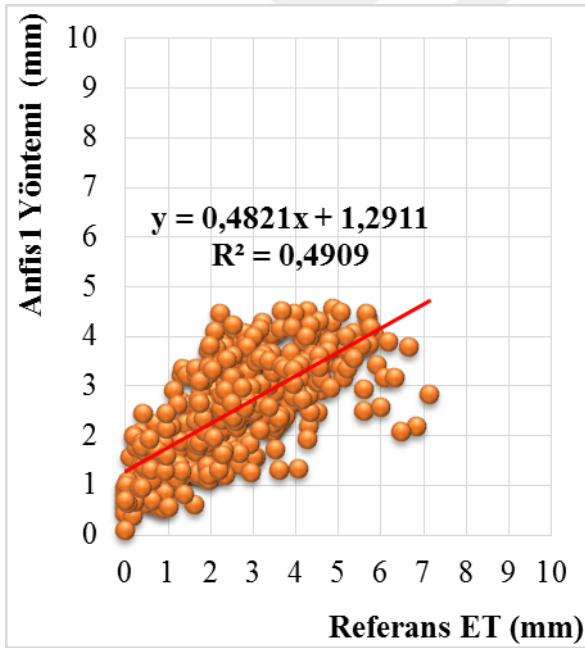


Şekil 4.2. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.1’de her gün için ölçülen değerler ve yalnız SR parametresikullanılarak yapılan tahminlere ait dağılım görülmektedir. Şekil4.2’de SR parametresine ait saçılım grafiği verilmiştir. Tek parametre SR kullanıldığında R^2 0,5476 bulunmuştur. Orta dereceli bir tahmin olduğu sonucuna varılmıştır.

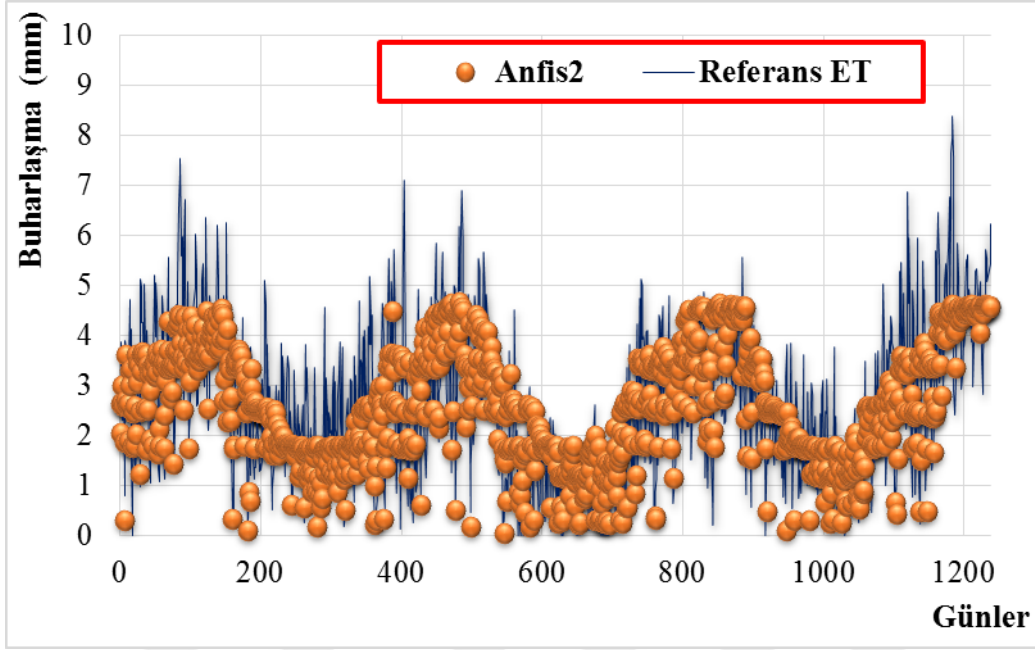


Şekil 4.3. ANFIS yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

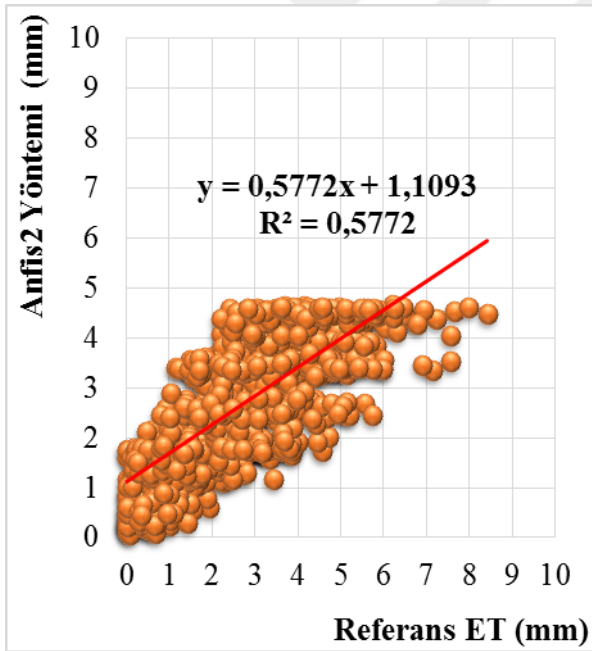


Şekil 4.4. ANFIS yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.3'te verilen test kümesine ait SR parametresini kullanılarak yapılan tahminler ile günlük tahmin değerlerinin kısmen uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 4.4'te saçılım grafiği verilmiştir. R^2 değerinin 0,4909 olduğu görülmektedir. Bu değer SR parametresi kullanan eğitim kümesine ait sonuçtan daha düşük olduğu görülmüştür.

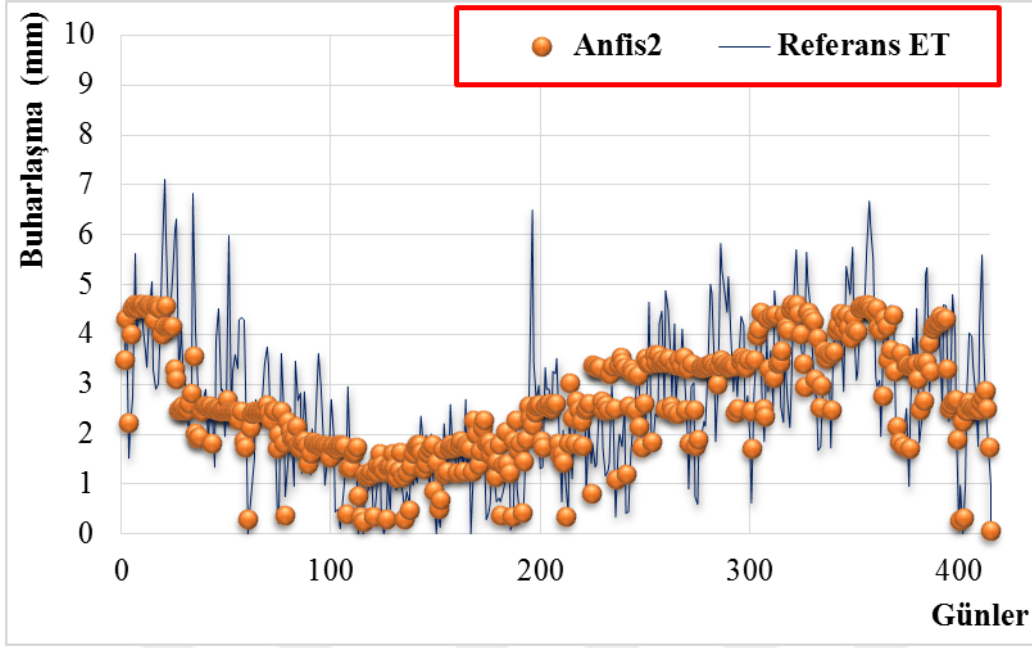


Şekil 4.5. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

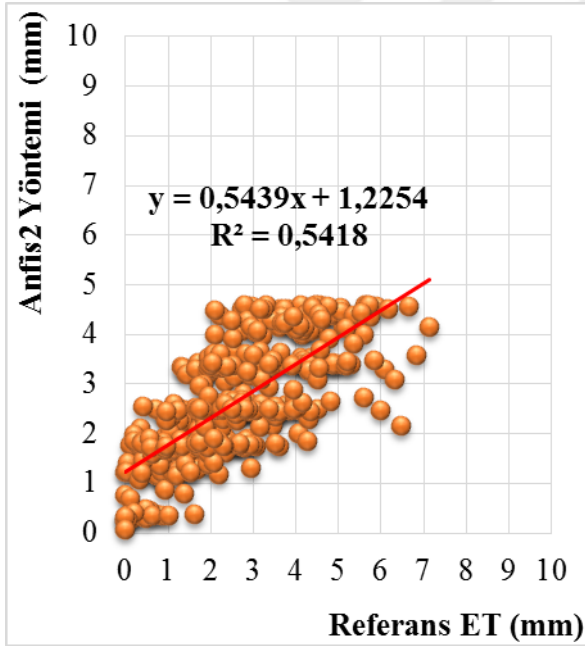


Şekil 4.6. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.5'te SR, TM parametresikullanılarak yapılan tahminlere ait dağılım görülmektedir. Şekil4.6'da SR, TM parametresine ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu parametreler kullanıldığında R^2 0,5772 bulunmuştur. Kısmengeçerli bir tahmin olduğu sonucuna varılmıştır.

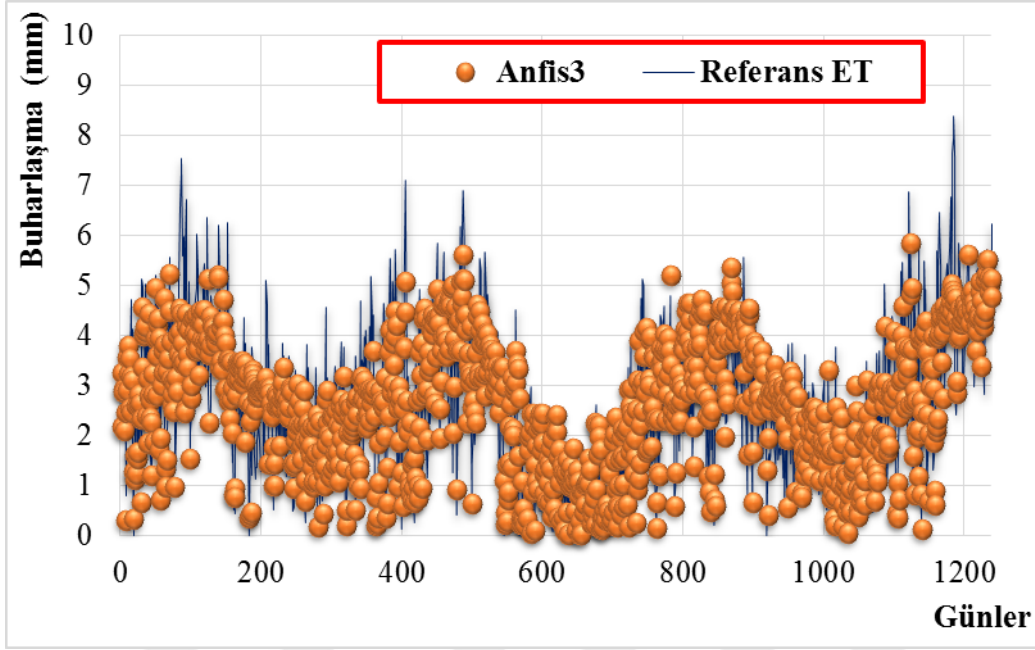


Şekil 4.7. ANFIS yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

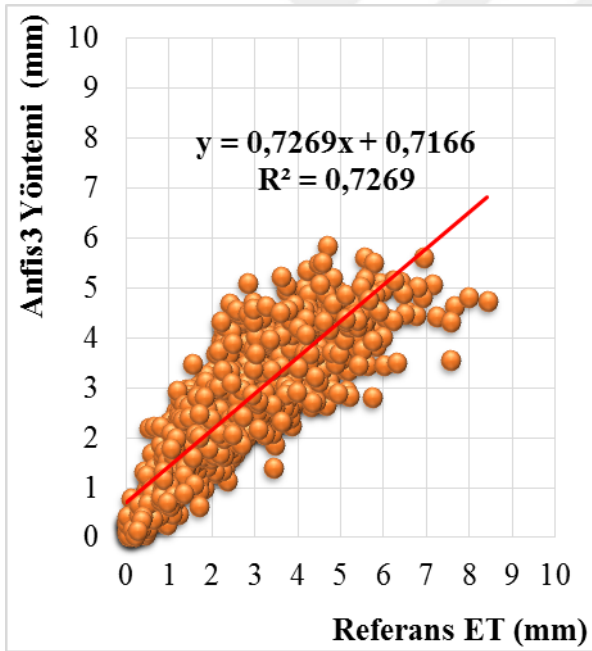


Şekil 4.8. ANFIS yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.7’de verilen test kümesine ait SR, TM parametresini kullanılarak yapılan tahminler ile günlük tahmin değerlerinin kısmen uyumlu olduğu görülmektedir Şekil 4.8’de saçılım grafiği verilmiştir. R^2 değerinin 0,5418 olduğu görülmektedir. Bu değer SR, TM parametresi kullanan eğitim kümesine ait sonuçtan daha düşük olduğu dikkat çekmektedir.

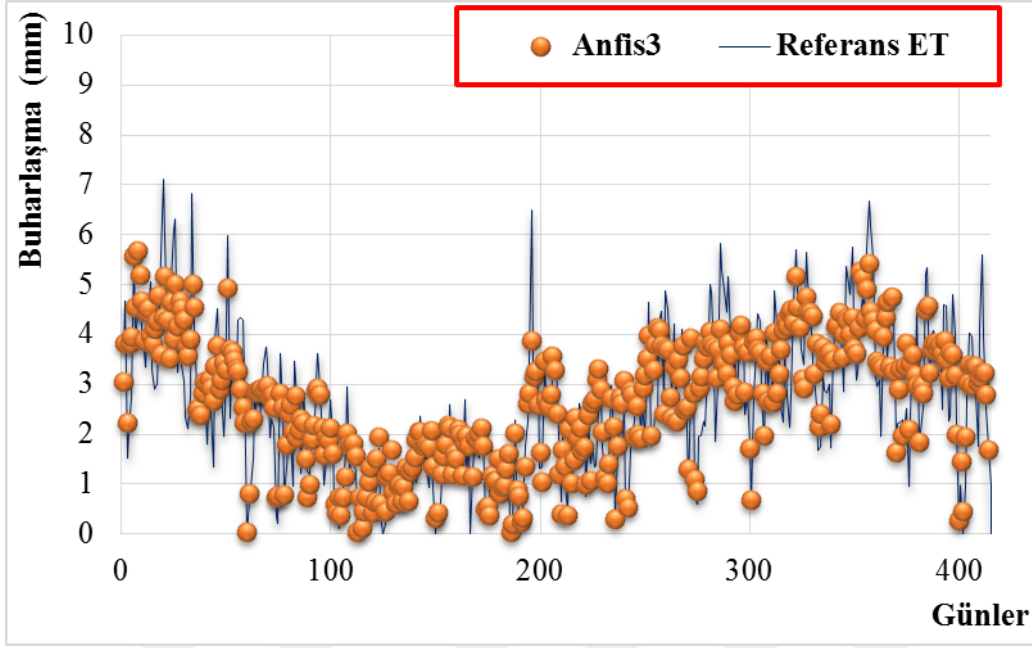


Şekil 4.9. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

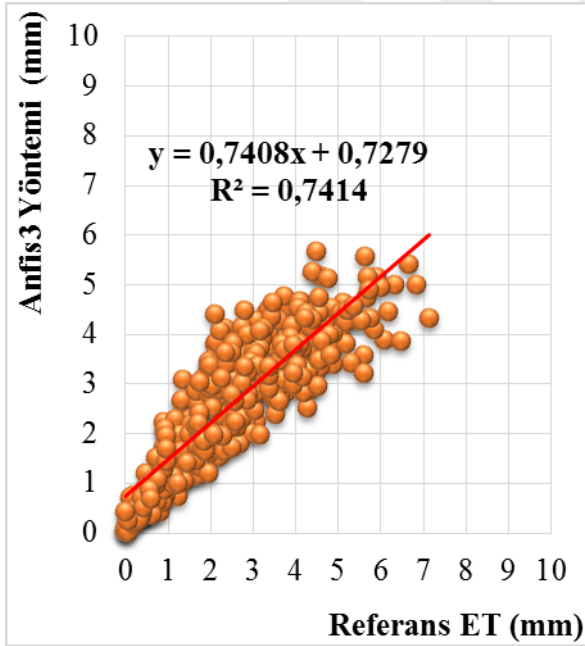


Şekil 4.10. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 SR, TM, RH parametrelerinin eğitim kümesinde ANFIS yöntemine girdi olarak kullanılmasıyla elde edilen günlük buharlaşma tahminlerinin dağılımını göstermek amaçlanmıştır. R^2 'nin 0,7269 olarak bulunması ET_0 ile büyük ölçüde örtüştüğü sonucuna ulaştırmıştır.

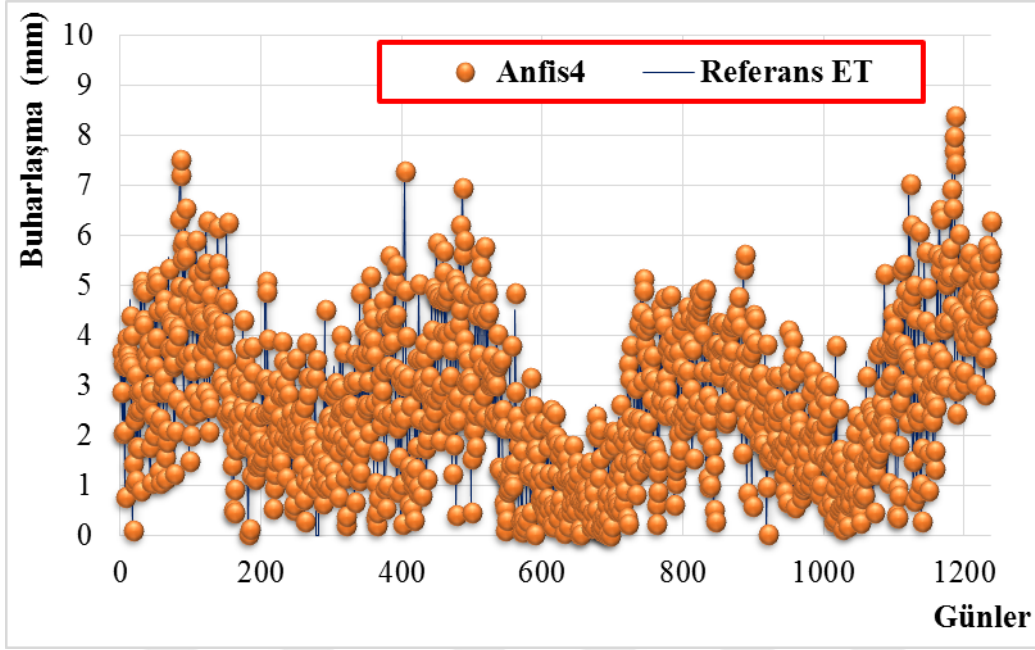


Şekil 4.11. ANFIS yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

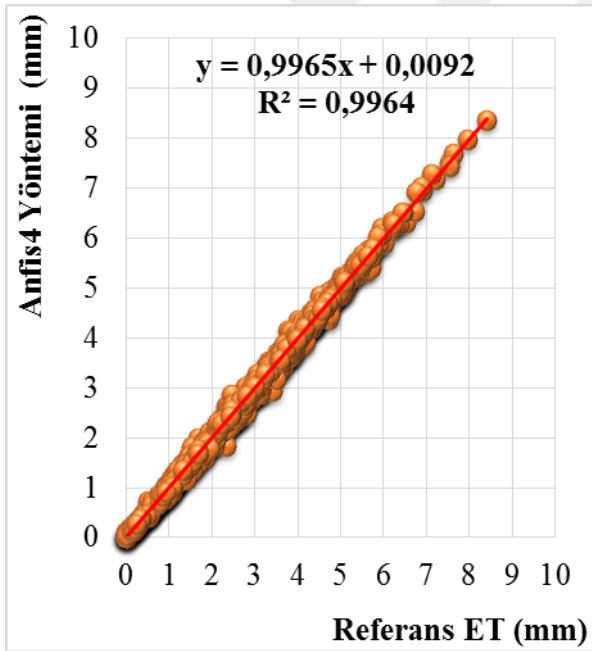


Şekil 4.12. ANFIS yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de SR, TM, RH parametreleri test kümesinde ANFIS yöntemine girdi olarak kullanılmıştır. Saçılım grafiğinde R^2 0,7414 bulunmuştur

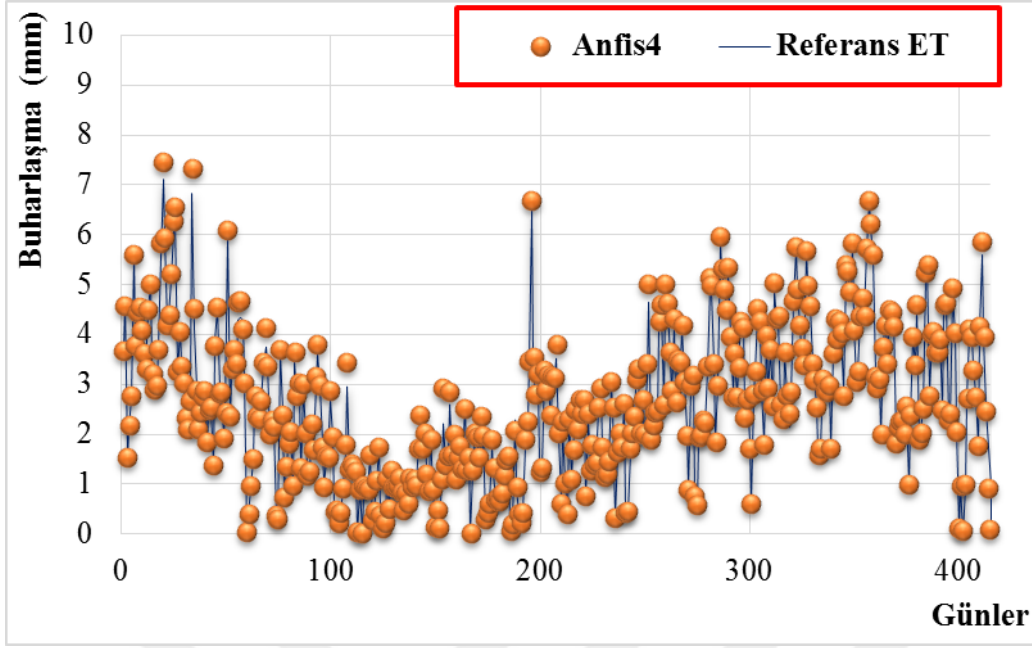


Şekil 4.13. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

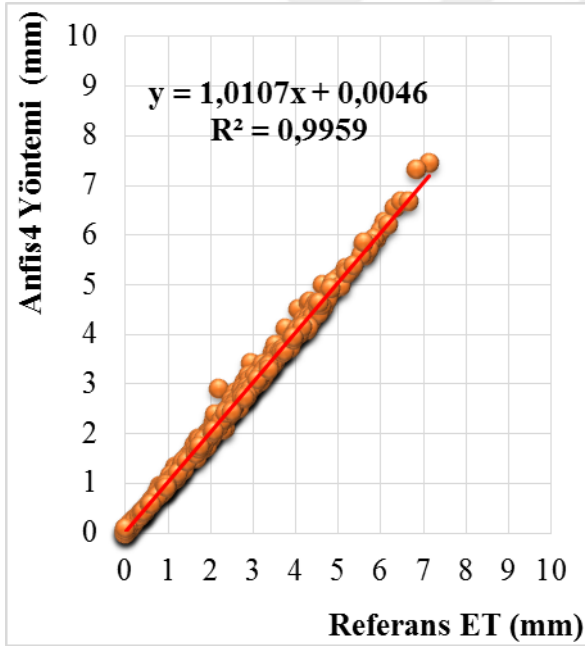


Şekil 4.14. ANFIS yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.13 ve 4.14 ile bütün parametrelerin kullanıldığı kombinasyon olan SR, TM, RH, U kombinasyonunun eğitim kümesi ANFIS yöntemi tahmin sonuçları dağılım ve saçılım grafiği verilmiştir. Tüm parametreleri içeren bu kombinasyon, diğer kombinasyonlara göre en doğru sonucu vermiştir.



Şekil 4.15. ANFIS yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

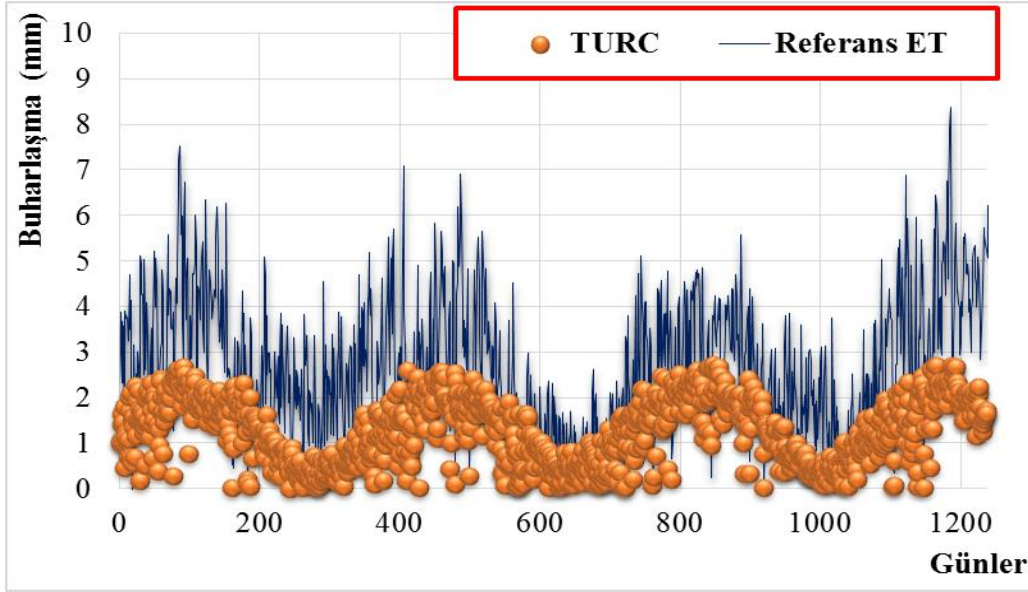


Şekil 4.16. ANFIS yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği

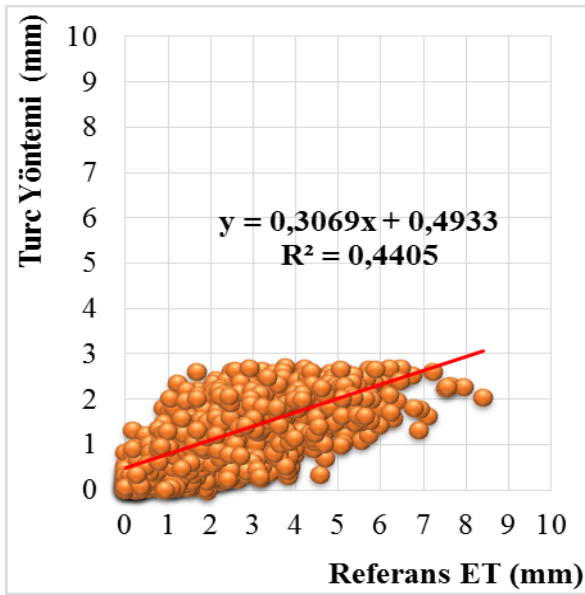
Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da SR, TM, RH, U parametreleri girdi olarak kullanan ANFIS yöntemi test kümesine ait sırasıyla dağılım ve saçılım grafiği verilmiştir. Determinasyon katsayısı 0,9959 bulunmuştur. Bu sonuç ANFIS yöntemine ait diğer sonuçlar arasında elde edilen en yüksek sonuç olarak göze çarpmaktadır.

4.2.TurcYöntem Sonuçları

Turc ampirik denklemi ile buharlaşma tahmini yapılmıştır. ET_0 buharlaşma tahminleri için referans olarak kabul edilmiştir. Eğitim için 1240 günlük veri, test için 410 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır.

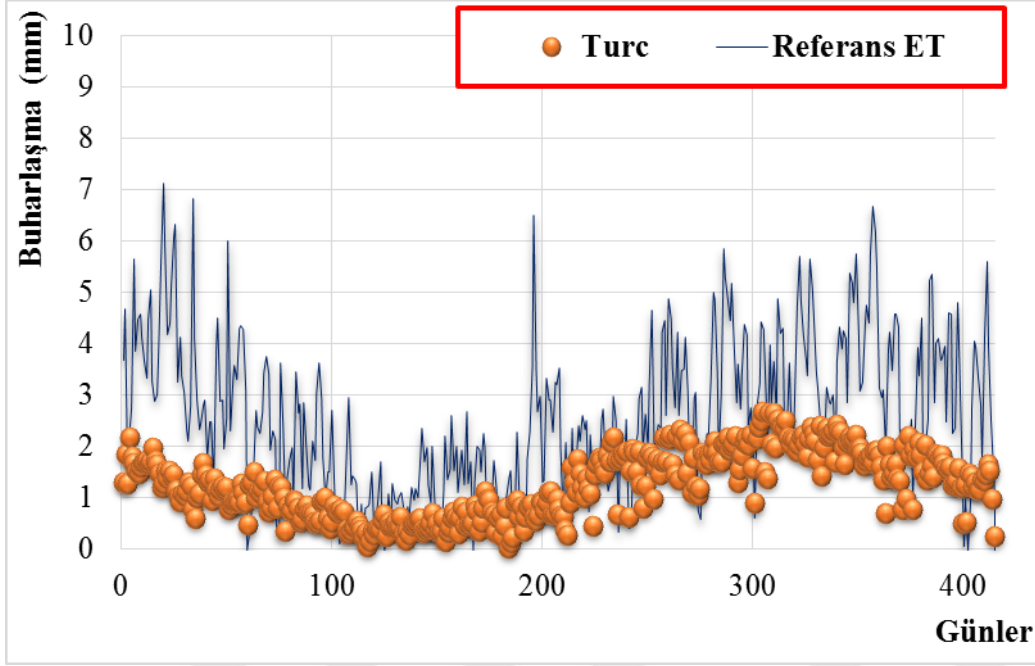


Şekil 4.17. Turc yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

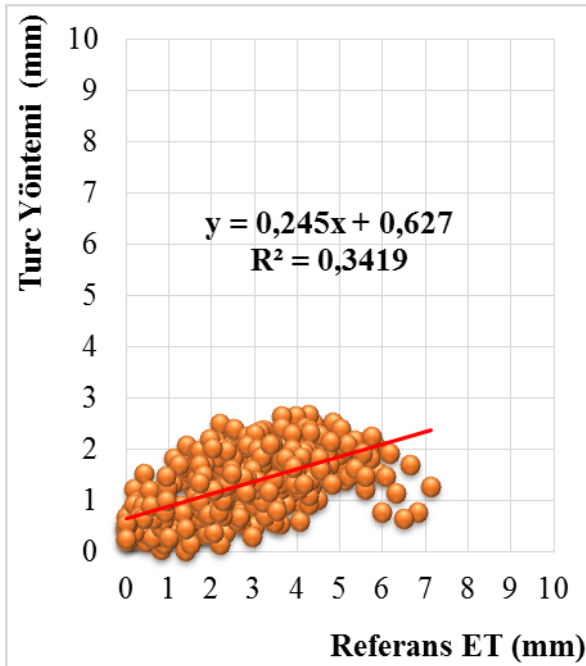


Şekil 4.18. Turc yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de SR, TM, RH parametreleri girdi olarak kullanan Turc yöntemi eğitim kümesine ait sırasıyla dağılım ve saçılım grafikleri verilmiştir. Determinasyon katsayısı 0,4405 bulunmuştur.



Şekil 4.19. Turc yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

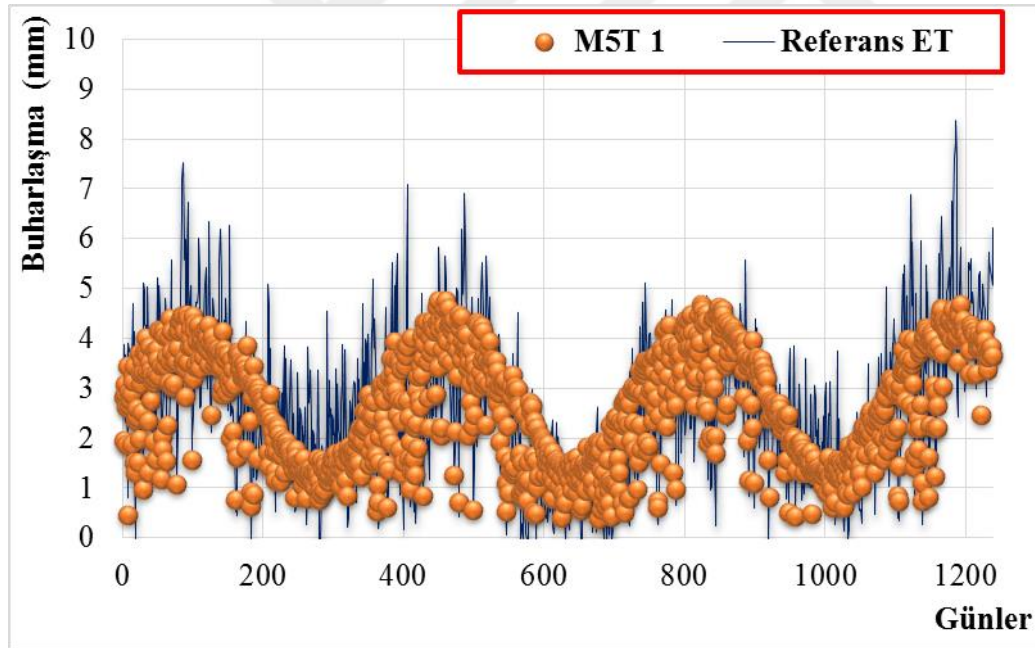


Şekil 4.20. Turc yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği

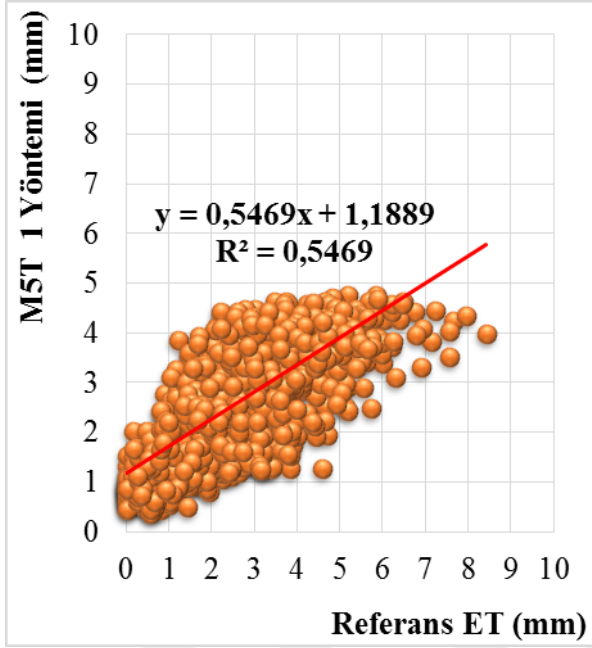
Şekil 4.19'da Turc yöntemi test kümesine ait dağılım, Şekil 4.20'de Turc yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği verilmiştir. SR, TM, RH girdili eğitim kümesine göre daha düşük sonuç vermiştir.

4.3. M5 Karar Ağacı (M5T) Model Sonuçları

M5T ile buharlaşma tahmini yapılmıştır. ET_0 buharlaşma tahminleri için referans olarak kabul edilmiştir. Çalışılan istasyondan 2008- 2012 yıllarına ait 4 yıllık toplamda 1650 tane günlük meteorolojik veri kullanılmıştır. Çalışmada, tüm verilerin %75'i eğitim; %25'si test için ayrılmıştır. Eğitim için 1240 günlük veri, test için 410 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır. Bu model uygulamalarında USGS'ten elde edilen hava sıcaklığı(TM), güneş ışınımı(SR), rüzgâr hızı (U) ve bağıl nem (RH) kullanılmıştır. M5T metodu kullanılarak SR, TM, RH, U girdili kombinasyonlar ile buharlaşma tahmini yapılmıştır.

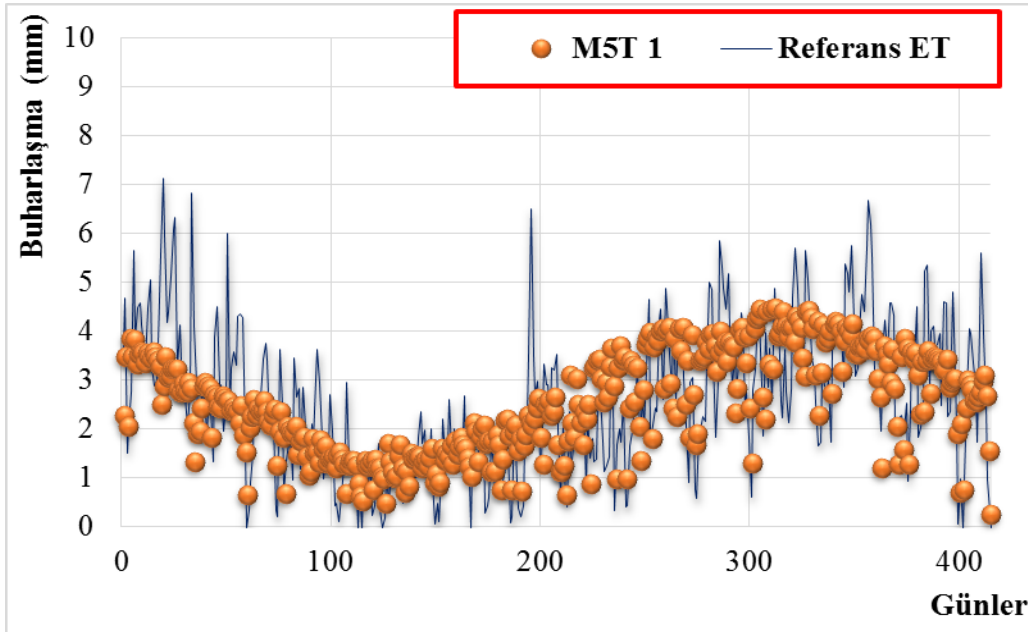


Şekil 4.21. M5T yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

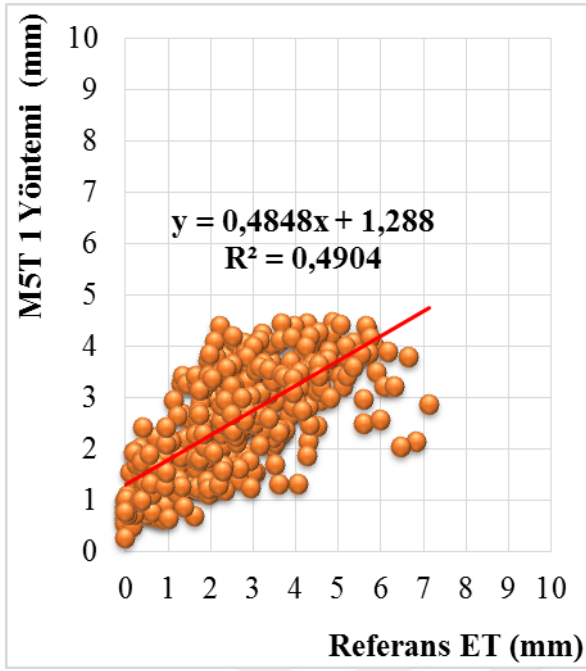


Şekil 4.22. M5T yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.21’de M5T yöntemine yalnız SR parametresikullanılarak yapılan tahminlere ait dağılım görülmektedir. Şekil 4.22’de SR parametresine ait saçılım grafiği verilmiştir. Tek parametre SR kullanıldığında R^2 0,5469 bulunmuştur. Orta dereceli bir tahmin olduğu sonucuna varılmıştır.

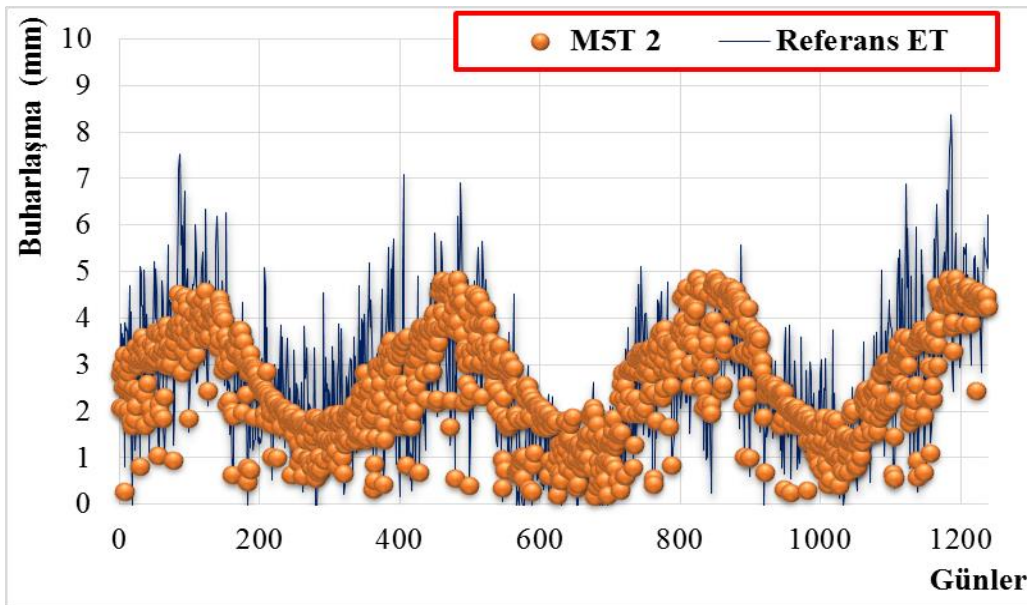


Şekil 4.23. M5T yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

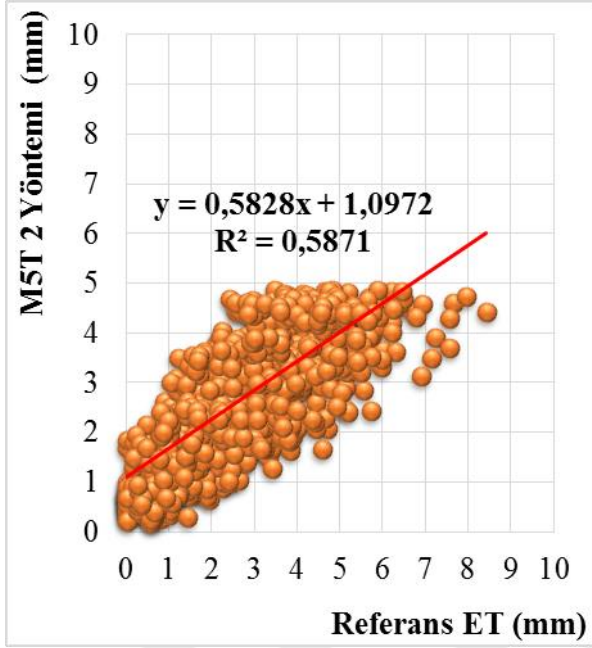


Şekil 4.24. M5T yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.23'te verilen test kümesine ait SR parametresini kullanılarak yapılan tahminler ile günlük tahmin değerlerinin kısmen uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 4.24'te verilen saçılım grafiği verilmiştir. R^2 değerinin 0,4904 olduğu görülmektedir. Bu değer SR parametresi kullanan eğitim kümesine ait sonuçtan daha düşük sonuç verdiği görülmüştür.

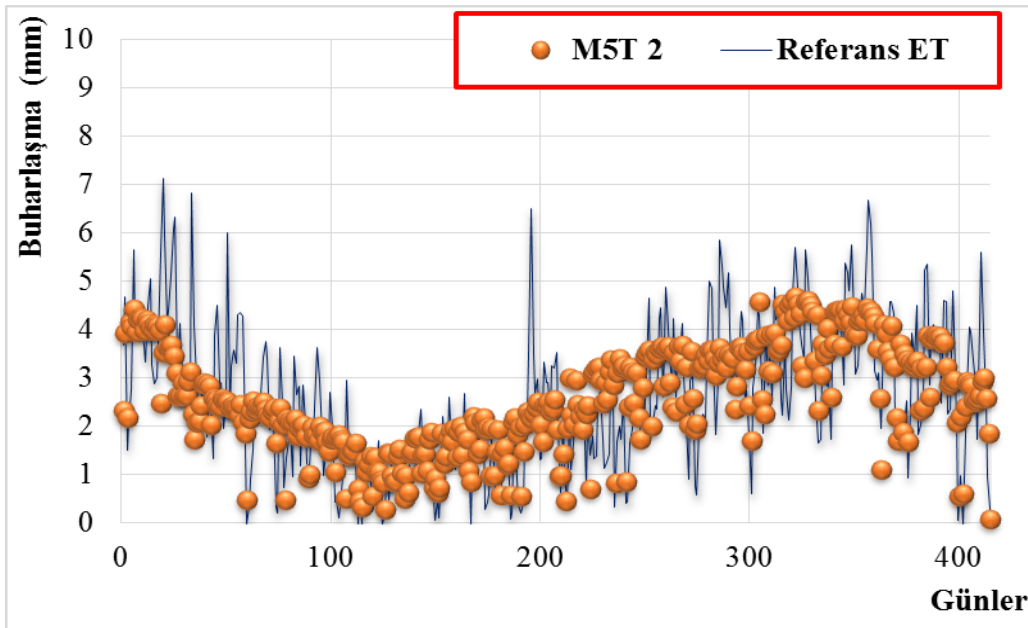


Şekil 4.25. M5T yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

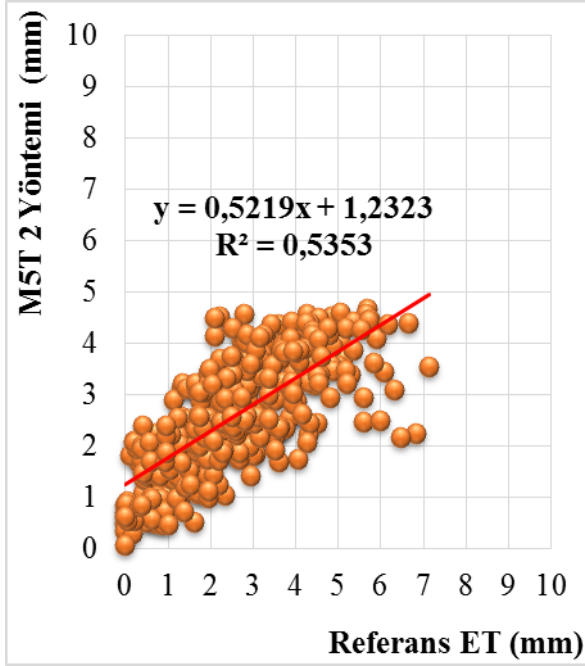


Şekil 4.26. M5T yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.25’de SR, TM parametresikullanılarak yapılan tahminlere ait dağılım görülmektedir. Şekil 4.26’da SR, TM parametresine ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu parametreler kullanıldığında R^2 0,5871 bulunmuştur. Kısmen geçerli bir tahmin olduğu sonucuna varılmıştır.

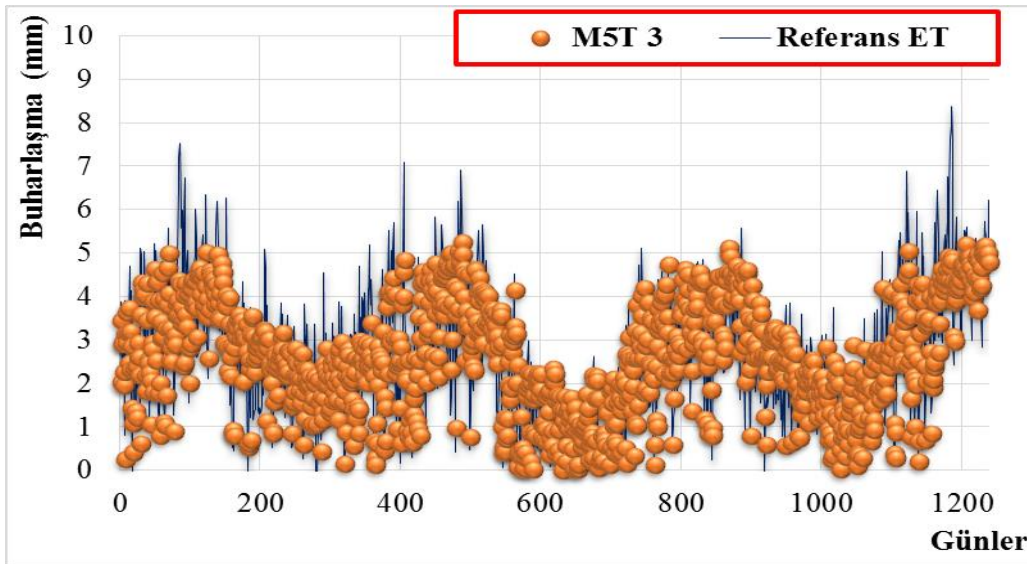


Şekil 4.27. M5T yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

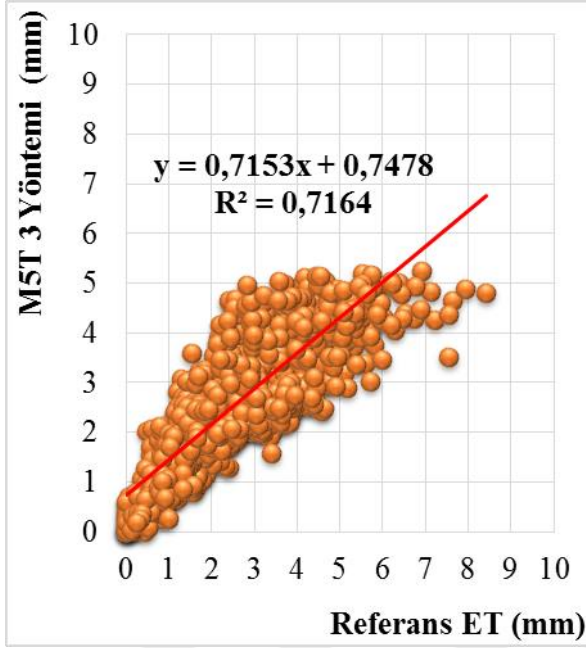


Şekil 4.28. M5T yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.27’de verilen test kümesine ait SR, TM parametresini kullanılarak yapılan tahminler ile günlük tahmin değerlerinin kısmen uyumlu olduğu görülmektedir Şekil 4.28’de saçılım grafiği görülmektedir. R^2 değeri 0,5353 olarak belirlenmiştir. Bu değer, SR, TM parametresi kullanan eğitim kümesine ait sonuçtan daha düşük sonuç verdiği görülmüştür.

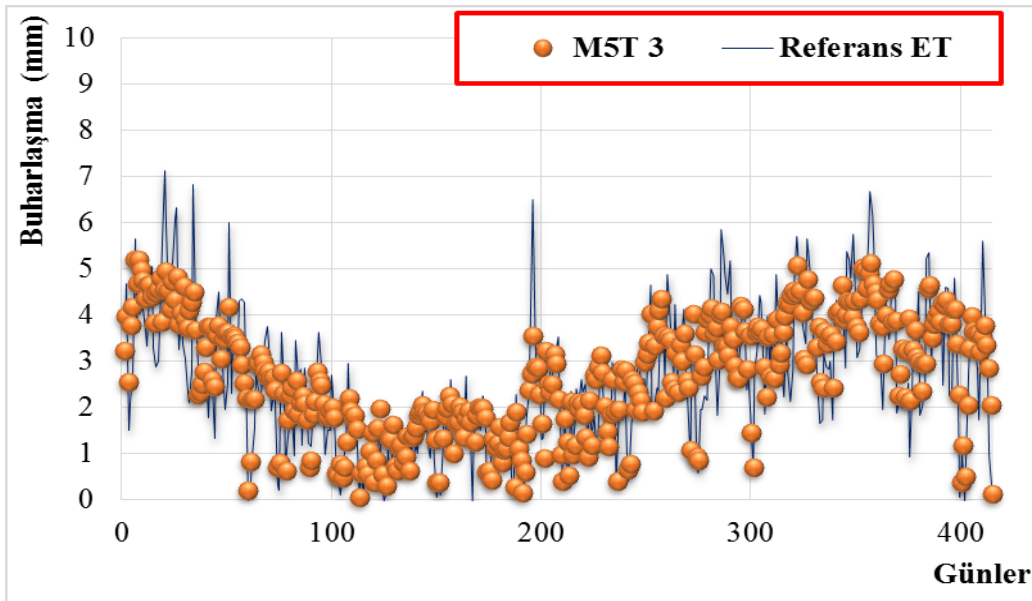


Şekil 4.29. M5T yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

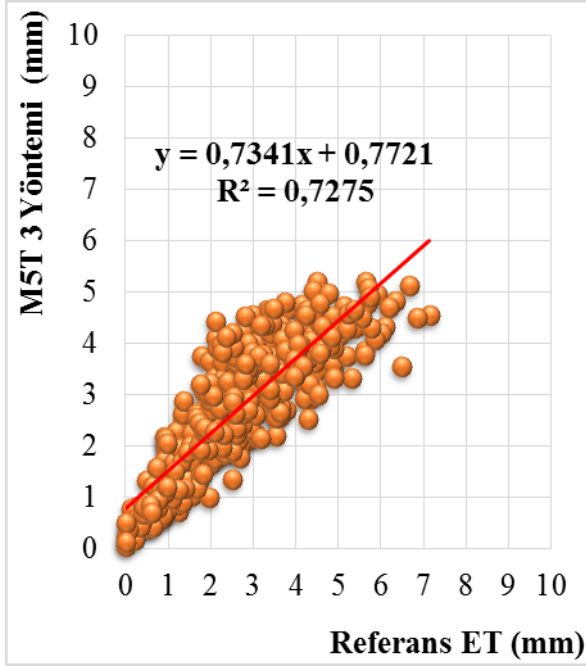


Şekil 4.30. M5T yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 SR, TM, RH parametrelerinin eğitim kümesinde M5T yöntemine girdi olarak kullanılmasıyla elde edilen günlük buharlaşma tahminlerinin dağılımını göstermek amaçlanmıştır. R^2 değerinin 0,7164 olarak bulunması ET_0 ile büyük ölçüde örtüştüğü sonucuna ulaştırmıştır.

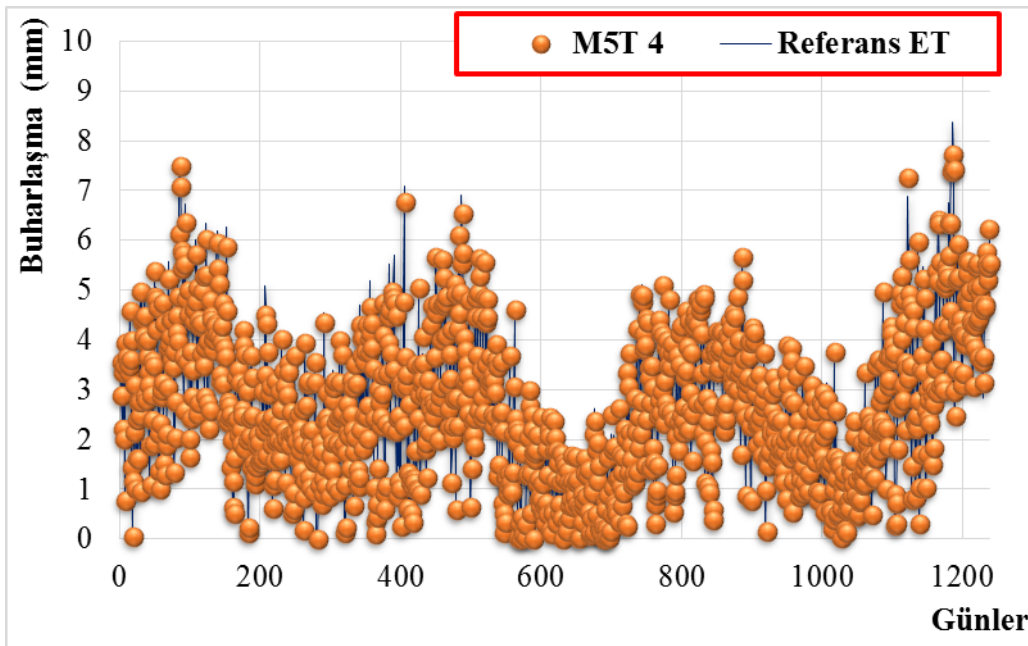


Şekil 4.31. M5T yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

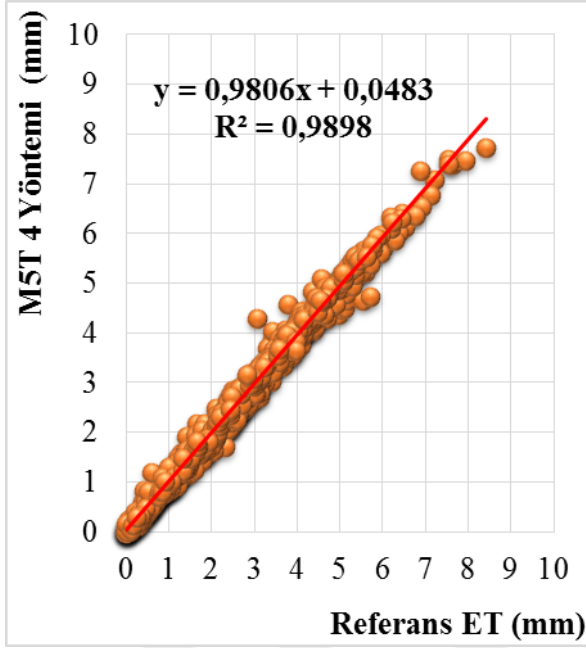


Şekil 4.32. M5T yöntemi test kümesine aitsaçılım grafiği

Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de SR, TM, RH parametreleritest kümesinde M5T yöntemine girdi olarak kullanılmıştır. Saçılım grafiğinde $R^2 0,7275$ bulunmuştur. Aynı girdili eğitim kümesine göre daha iyi sonuç vermiştir.

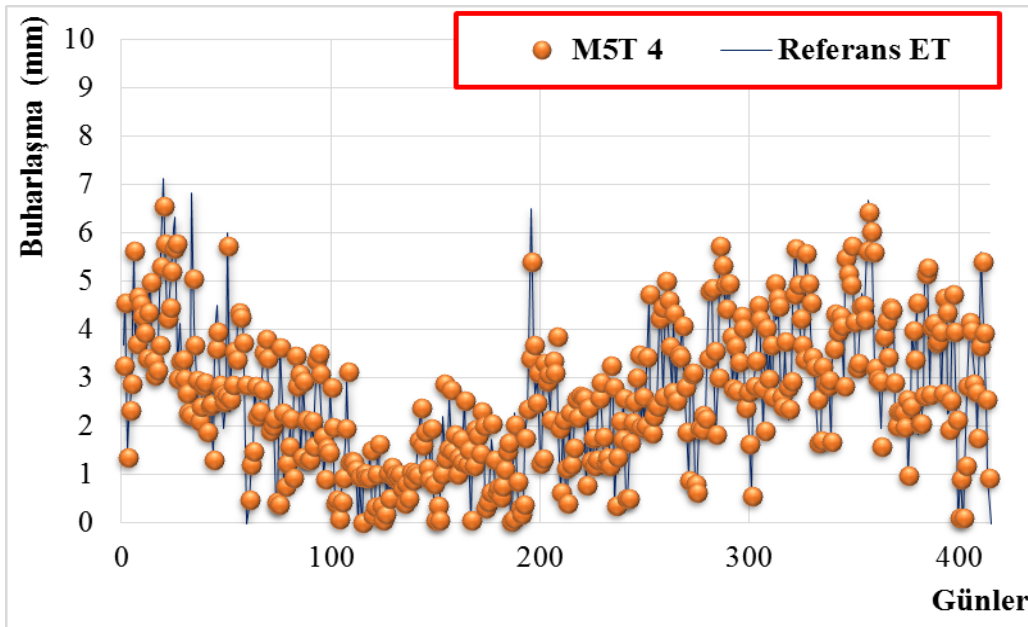


Şekil 4.33. M5T yöntemi eğitim kümesine ait dağılım grafiği

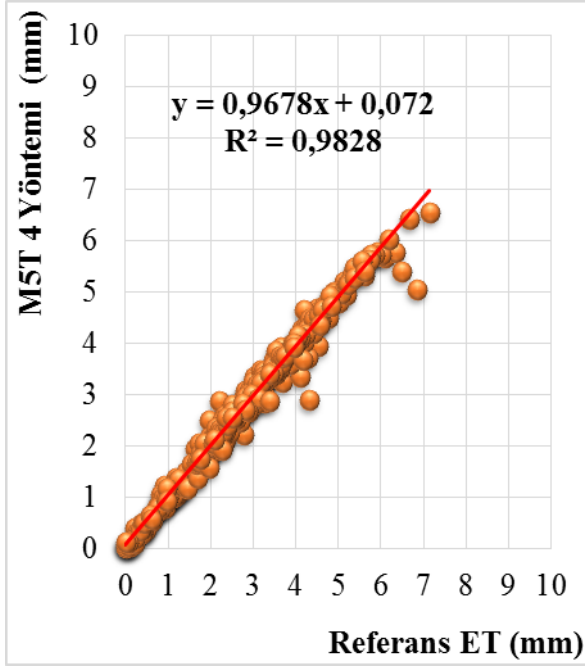


Şekil 4.34. M5T yöntemi eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.13 ve 4.14 ile tüm parametrelerin kullanıldığı kombinasyon olan SR, TM, RH, U kombinasyonun eğitim kümesi M5T yöntemi tahmin sonuçları dağılım ve saçılım grafiği verilmiştir. Tüm parametreleri içeren bu kombinasyon, diğer kombinasyonlara göre en doğru sonucu vermiştir.



Şekil 4.35. M5T yöntemi test kümesine ait dağılım grafiği

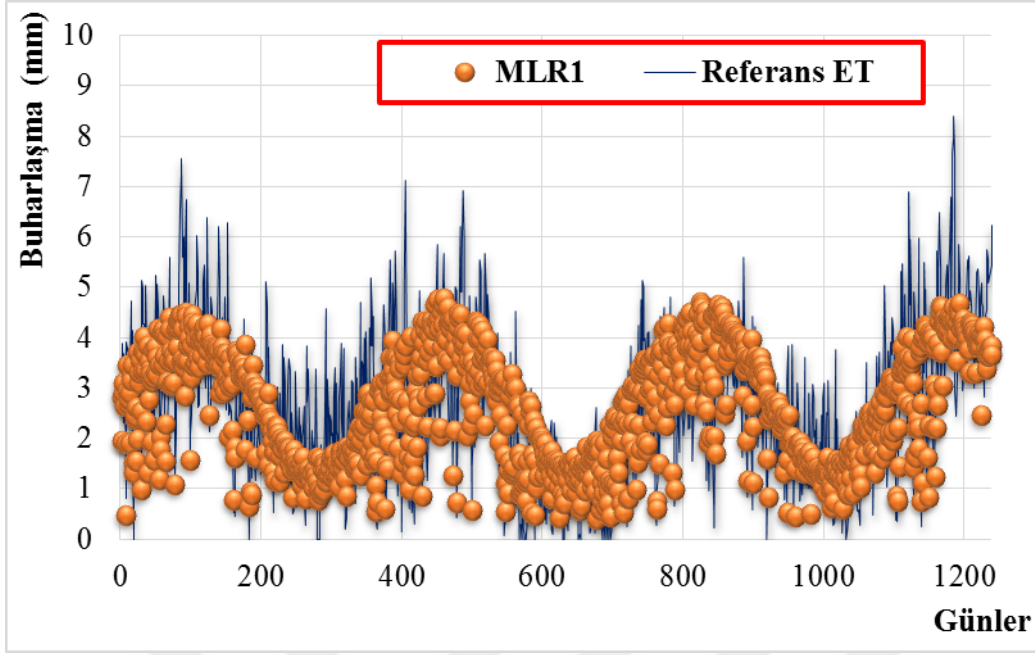


Şekil 4.36. M5T yöntemi test kümesine ait saçılım grafiği

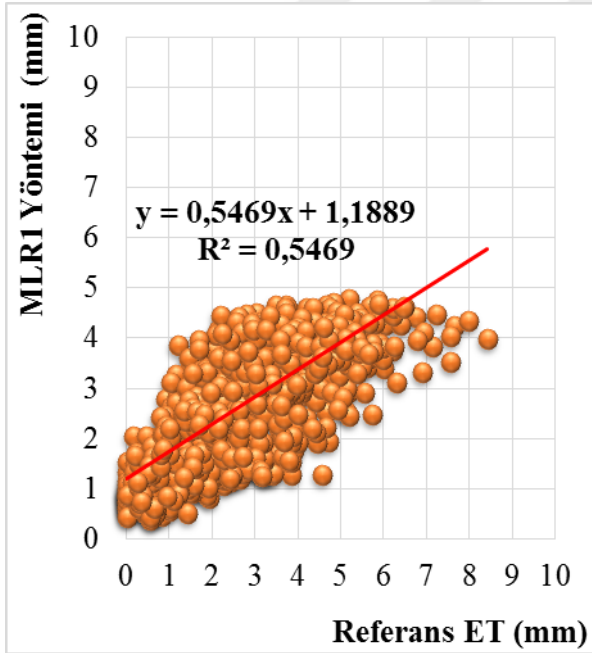
Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da SR, TM, RH, U parametreleri girdi olarak kullanan M5T yöntemi test kümesine ait sırasıyla dağılım ve saçılım grafiği verilmiştir. R^2 0,9828 bulunmuştur. Bu sonuç M5T yöntemine ait diğer test sonuçları arasında elde edilen en yüksek sonuç olmuştur.

4.4. Çoklu Lineer Regresyon Model Sonuçları

MLR yöntemi ile buharlaşma tahmini yapılmıştır. ET_0 buharlaşma tahminleri için referans olarak kabul edilmiştir. MLR metodu kullanılarak SR, TM, RH, U girdili kombinasyonlar ile buharlaşma tahmini yapılmıştır.

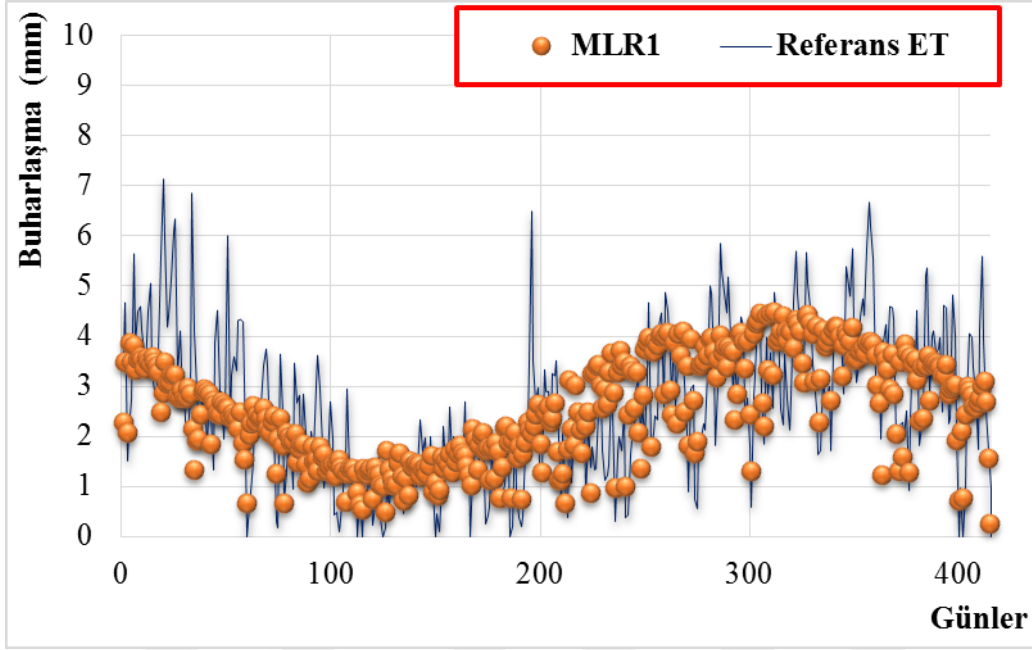


Şekil 4.37. MLRmetodu eğitim kümesine ait dağılım grafiği

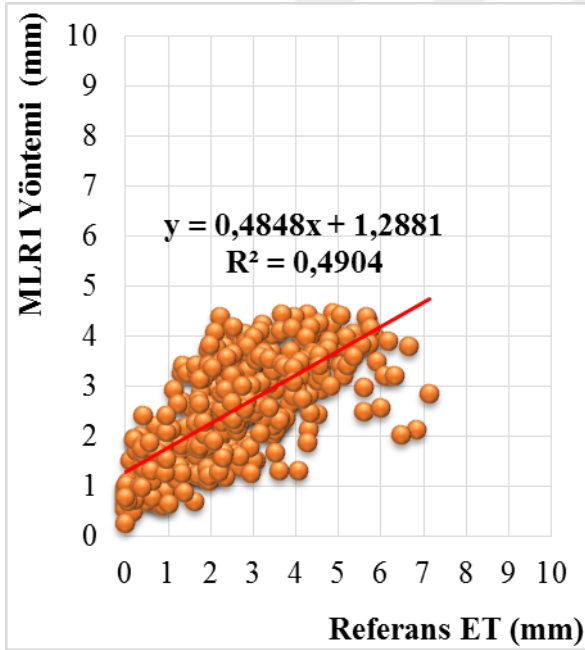


Şekil 4.38. MLRmetodu eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.37’de MLR yöntemine yalnız SR girdi parametresikullanılarak yapılan tahminlere ait dağılım görülmektedir. Şekil 4.38’de SR parametresine ait saçılım grafiği verilmiştir. Tek parametre olarak SR kullanıldığında R^2 0,5469 bulunmuştur. Orta seviye bir tahmin olduğu sonucuna varılmıştır.

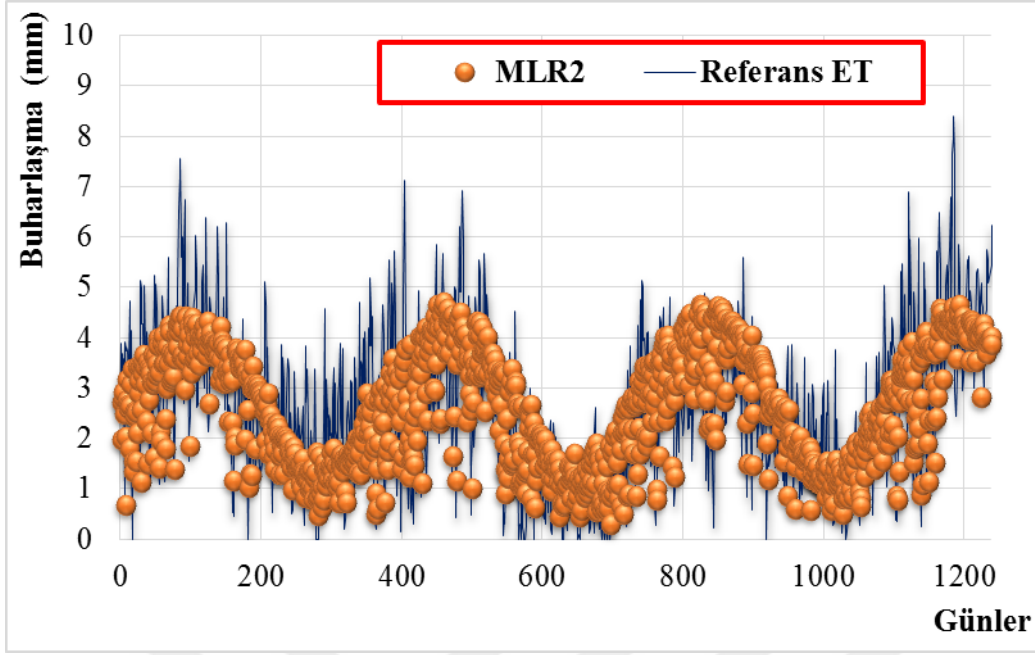


Şekil 4.39. MLRmetodu test kümesine ait dağılım grafiği

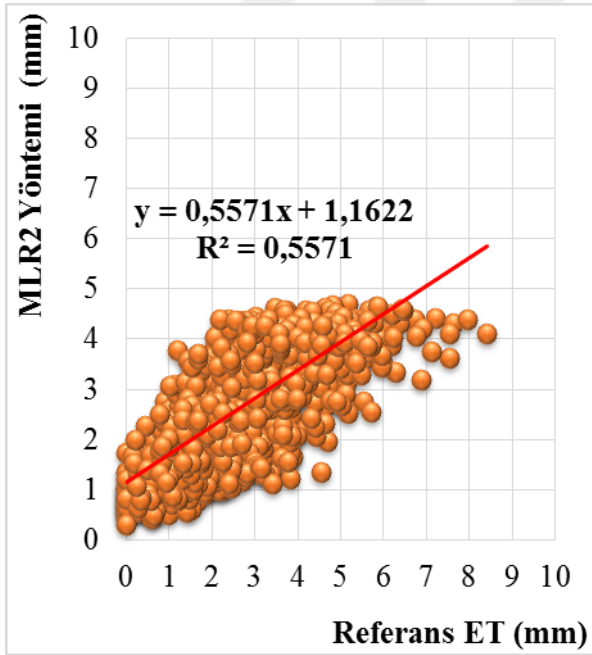


Şekil 4.40. MLRmetodu test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.39'te verilen test kümesine ait SR parametresini kullanılarak yapılan tahminler ile günlük tahmin değerlerinin kısmen uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 4.40'ta verilen saçılım grafiği verilmiştir. R^2 değeri 0,4904 olduğu görülmektedir. Bu değer, SR parametresi kullanan eğitim kümesine ait sonuçtan daha düşük sonuç verdiği görülmüştür.



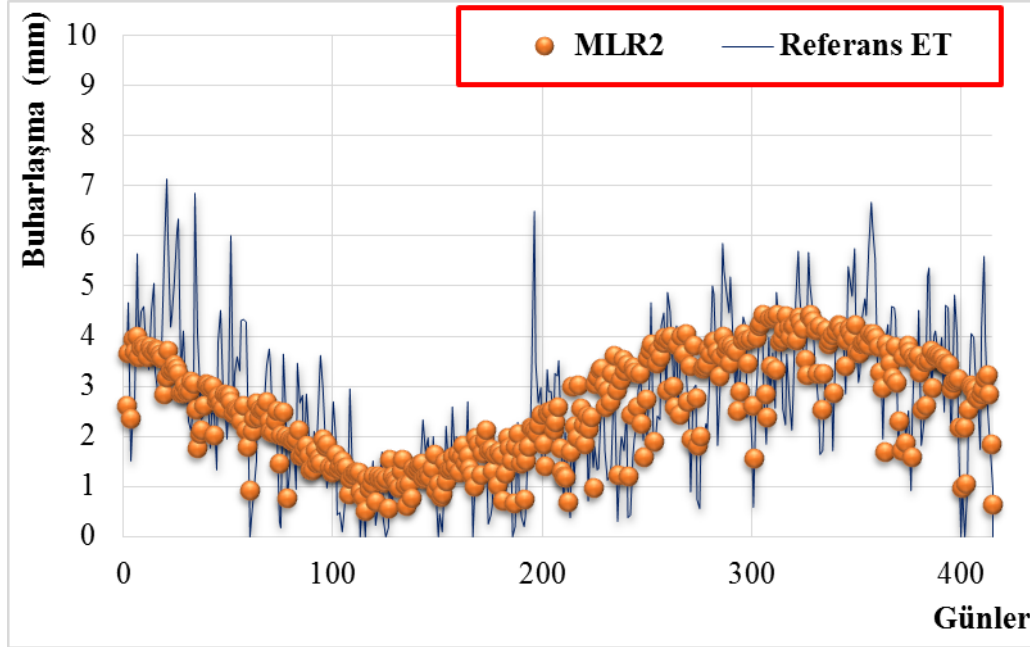
Şekil 4.41. MLRmetodu eğitim kümesine ait dağılım grafiği



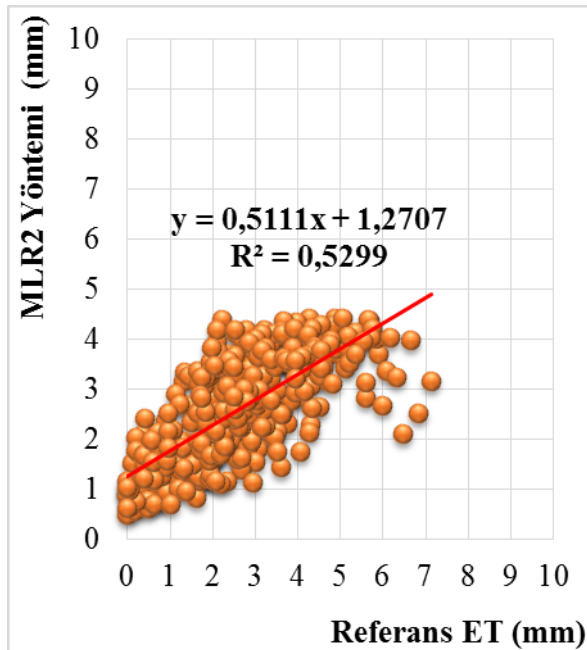
Şekil 4.42. MLRmetodu eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.41'de SR, TM parametresi kullanılarak yapılan tahminlere ait dağılım görülmektedir. Şekil 4.42'da SR, TM parametresine ait saçılım grafiği verilmiştir. Bu

parametreler kullanıldığında R^2 0,5571 bulunmuştur. Kısmen geçerli bir tahmin olduğu sonucuna varılmıştır.



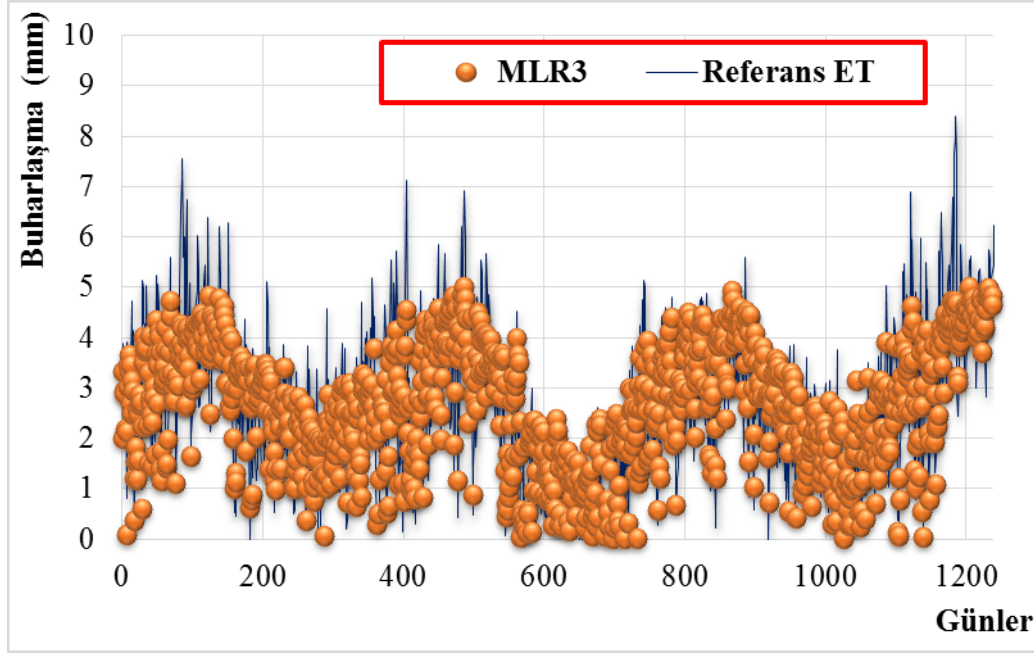
Şekil 4.43. MLR2metodu test kümesine ait dağılım grafiği



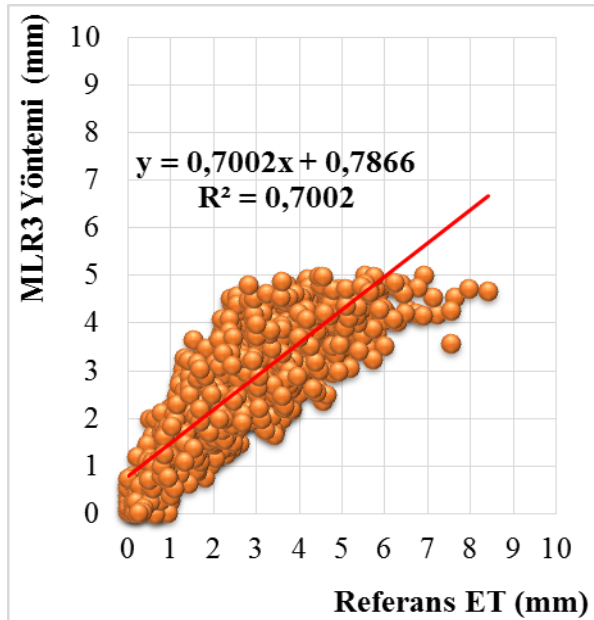
Şekil 4.44. MLR2metodu test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.43'te verilen test kümesine ait SR, TM parametresini kullanılarak yapılan tahminler ile günlük tahmin değerlerinin kısmen uyumlu olduğu görülmektedir Şekil 4.44'te verilen

saçılım grafiği verilmiştir. R^2 değeri 0,5299 olduğu görülmektedir. Bu değer SR, TM parametresi kullanan eğitim kümesine ait sonuçtan daha düşük sonuç verdiği görülmüştür.



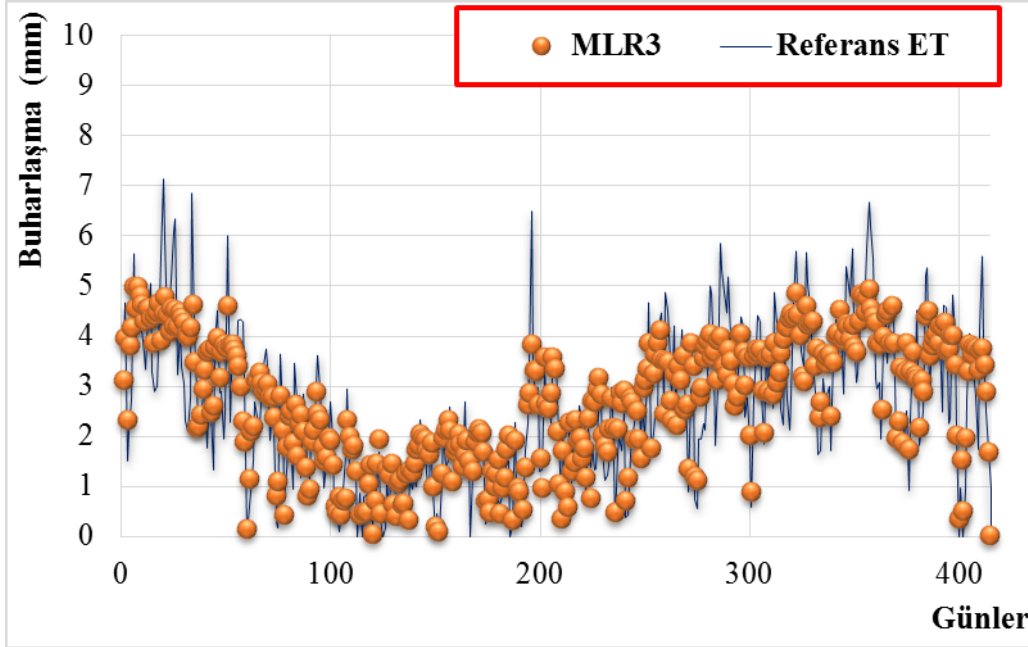
Şekil 4.45. MLR3metodu eğitim kümesine ait dağılım grafiği



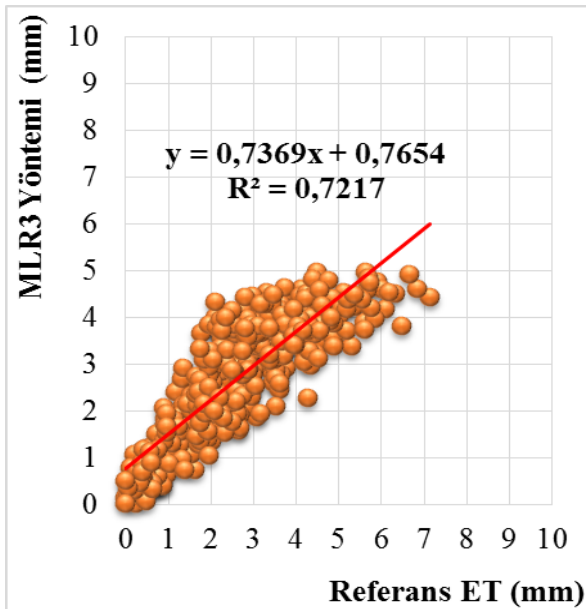
Şekil 4.46. MLR3metodu eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da SR, TM, RH parametrelerinin eğitim kümesinde MLR yöntemine girdi olarak kullanılmasıyla elde edilen günlük buharlaşma tahminlerinin

dağılım ve saçılım grafikleri sırasıyla gösterilmiştir. R^2 'nin 0,7002 olarak bulunması ET_0 ile büyük ölçüde örtüştüğü sonucuna ulaştırmıştır.

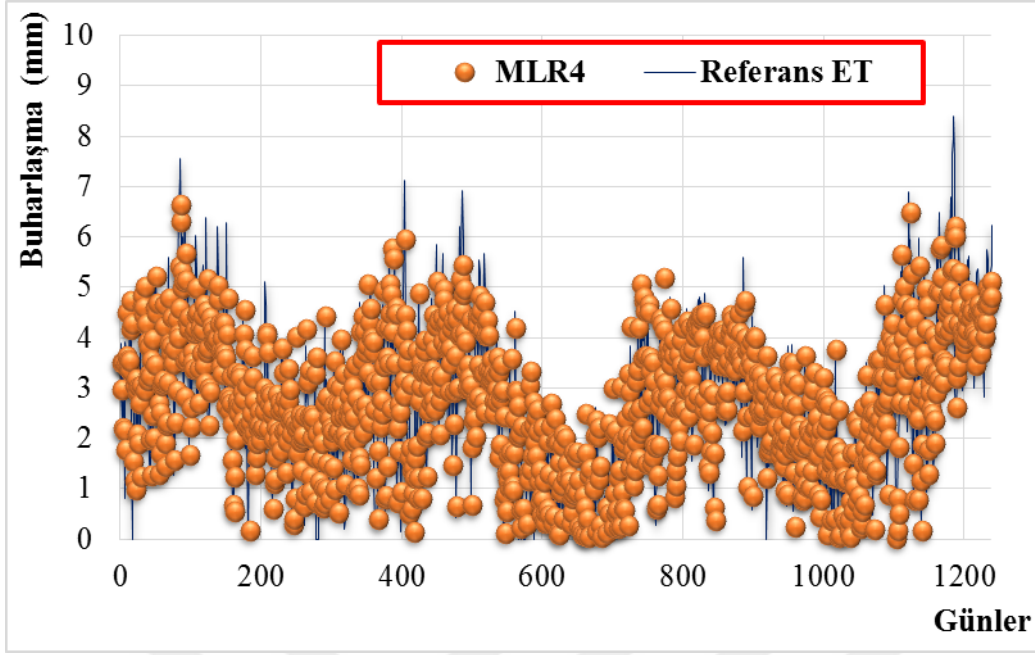


Şekil 4.47. MLR3 yöntemiyle test kümesine ait dağılım grafiği

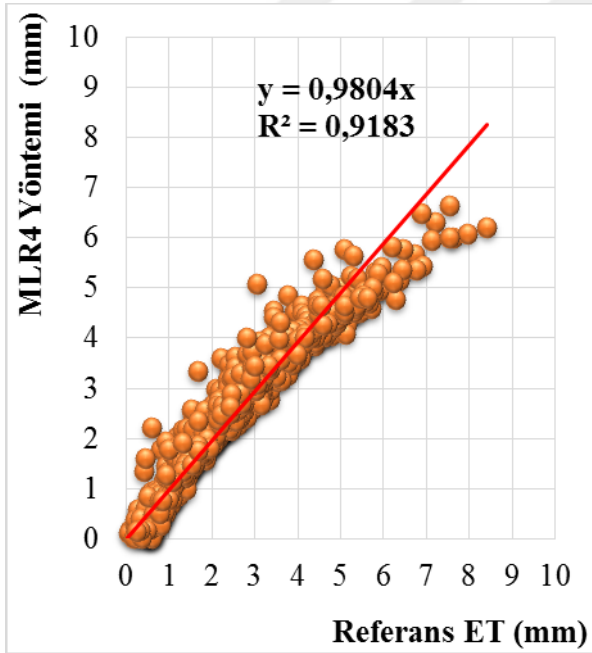


Şekil 4.48. MLR3 yöntemiyle test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de SR, TM, RH parametreleri test kümesinde MLR3 yöntemine girdi olarak kullanılmıştır. Saçılım grafiğinde determinasyon katsayısı 0,7217 bulunmuştur. Aynı girdili eğitim kümesine göre daha iyi sonuç vermiştir.

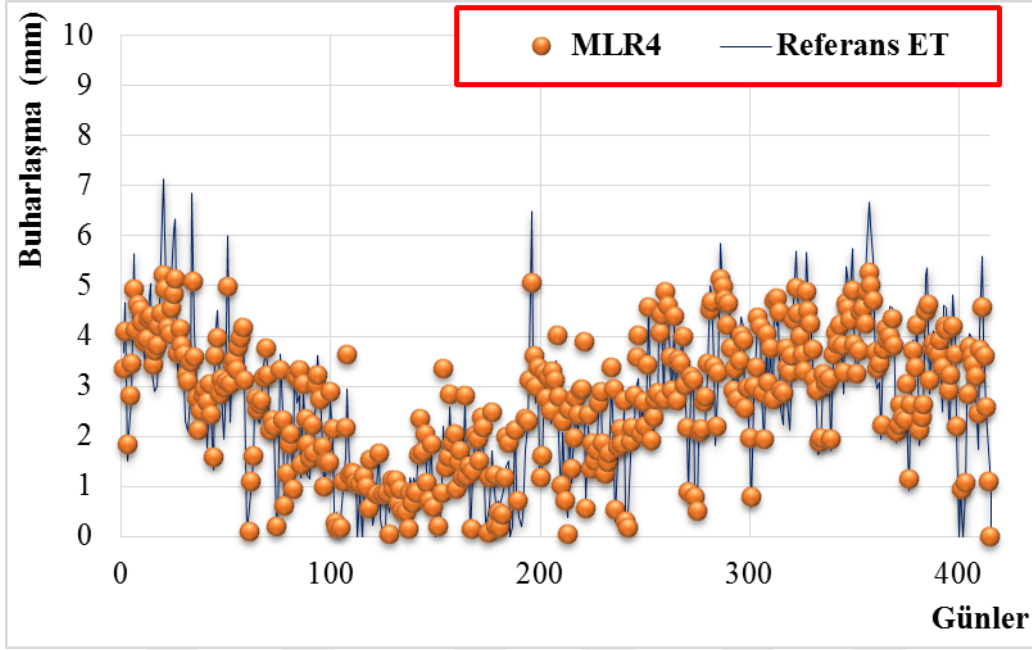


Şekil 4.49. MLRmetodu eğitim kümesine ait dağılım grafiği

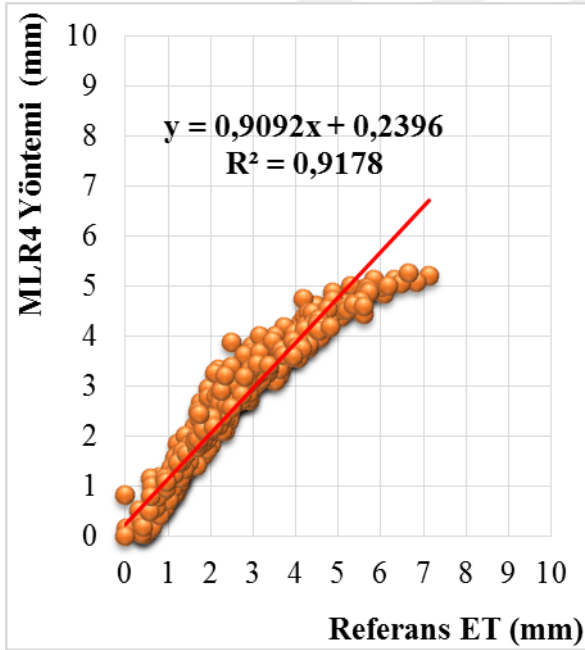


Şekil 4.50. MLRmetodu eğitim kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.49 ve 4.50 ile tüm parametrelerin kullanıldığı kombinasyon olan SR, TM, RH, U kombinasyonun eğitim kümesi MLR yöntemi tahmin sonuçları dağılım ve saçılım grafiği verilmiştir. Tüm parametreleri içeren bu kombinasyon, diğer kombinasyonlara göre en doğru sonucu vermiştir.



Şekil 4.51. MLRmetodu test kümesine ait dağılım grafiği



Şekil 4.52. MLRmetodu test kümesine ait saçılım grafiği

Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de SR, TM, RH, U parametrelerini girdi olarak kullanan MLR yöntemi test kümesine ait sırasıyla dağılım ve saçılım grafiği verilmiştir. Determinasyon katsayısı 0,9178 bulunmuştur. Bu sonuç MLR yöntemine ait diğer test sonuçları arasında elde edilen en yüksek sonuç olmuştur.

Günlük buharlaşma miktarı tahmininde kullanılan modellerin test kümesine ait sonuç karşılaştırılması Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Günlük buharlaşma miktarı tahmininde kullanılan model sonuçlarının karşılaştırılması

MODEL İSİMLERİ	MODEL GİRDİLERİ	MOH	KKOH	R ²
ANFIS1	SR	0,824	1,074	0,491
ANFIS 2	SR, TM	0,784	1,019	0,542
ANFIS 3	SR, TM, RH	0,589	0,767	0,741
ANFIS 4	SR, TM, RH, U	0,066	0,104	0,996
Turc	SR, TM, RH	1,428	1,819	0,342
M5T 1	SR	0,826	1,074	0,490
M5T 2	SR, TM	0,781	1,025	0,535
M5T 3	SR, TM, RH	0,610	0,789	0,727
M5T 4	SR, TM, RH, U	0,117	0,199	0,983
MLR 1	SR	0,826	1,074	0,490
MLR 2	SR, TM	0,795	1,031	0,530
MLR 3	SR, TM, RH	0,628	0,798	0,722
MLR 4	SR, TM, RH, U	0,317	0,431	0,918

Çizelge incelendiğinde ANFIS1 ve ANFIS2’nin kısmen geçerli bir sonuç verdiği görülmüştür. ANFIS3 modelin parametre sayısı artırıldığında determinasyon katsayısının daha hızlı artış gösterdiği, hata oranlarının ise düştüğü görülmüştür. T,SR, RH ve U

parametrelerini kullanarak buharlaşma tahmini yapılan ANFIS4 modelde ise en yüksek determinasyon katsayısı ve en düşük hata oranlarına ulaşılmıştır.

En yüksek MOH değeri (1,428), en yüksek KKOH değeri (1,819) ve en düşük determinasyon katsayısı (0,342) Turc modelinde ulaşılmıştır. Bu çalışmada Turc denkleminin buharlaşma tahmini için sağlıklı sonuç vermediği görülmüştür.

Çizelge dikkatlice incelendiğinde M5T 1 ve M5T 2'nin kısmen geçerli bir sonuç verdiği görülmüştür. M5T 3 modelde ise parametre sayısını arttırdığımızda diğer iki modele nazaran dahi iyi sonuçlara ulaşılmıştır. T,SR, RH ve U parametrelerini kullanarak buharlaşma tahmini yaptığımız ANFIS4 modelde ise en yüksek determinasyon katsayısı ve en düşük hata oranlarına ulaşılmıştır. Buharlaşma tahmini için iyi sonuçlar vermiştir.

Buharlaşma tahmini için en iyi ilişkiyi koyan parametreler seçildiğinde MLR yöntemi içinde MLR1 ve MLR2 modellerde orta dereceli güvenilir sonuca ulaşıldığı görülmektedir. MLR3 modelin kabul edilebilir düzeyde R^2 değeri vermesine rağmen en iyi sonuca MLR 4 modelinde ulaşılmıştır.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada günlük referans buharlaşma miktarı (ET₀), Penman-Monteith denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Günlük referans buharlaşma, Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), M5 Karar Ağacı (M5T), Çoklu Lineer Regresyon (MLR) yöntemleri ve Turc geleneksel denklemleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanı olarak Lewisville Gölü (Texas, ABD) yakınındaki USGS 330716096592400nolu istasyon seçilmiştir. Çalışılan istasyondan 2008- 2012 yıllarına ait 4 yıllık toplamda 1650 tane günlük meteorolojik veri kullanılmıştır. Çalışmada, tüm verilerin %75'i eğitim; %25'si test için ayrılmıştır. Eğitim için 1240 günlük veri, test için 410 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır. Günlük ortalama buharlaşma tahmini için ortalama günlük hava sıcaklığı (TM), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) kullanılmıştır.

İstatistiksel performans değerlendirme ölçütü olarak determinasyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hataların karekökü (KKOH) ve mutlak ortalama hata (MOH) kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında TM, SR, RH, U parametrelerinin buharlaşma olayı üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. ANFIS, M5T ve MLR modelde parametre girdileri değiştirilerek buharlaşma tahminleri incelenmiştir. İlk olarak T ve T,SR parametreleri girdi olarak kullanılıp ANFIS, M5T ve MLR yöntemlerinde buharlaşma tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçların pek sağlıklı olmadığı kanısına varılmıştır. Kullanılan üç yöntemin hem eğitim hem test için sonuçlarına göre en etkin sonuçlara SR, TM, RH, U parametrelerinin kullanıldığı dördü kombinasyonda ulaşılmıştır.

Turc ampirik denklemi kullanıldığında ise buharlaşma tahmini için yüksek hata ve düşük determinasyon katsayısı verdiği görülmüştür. Buharlaşma tahmininde tek başına kullanılmasının yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışma sonucunda bulanık mantık ve yapay sinir ağları yönteminin bir birleşimi olan ANFIS metodu, M5 Karar Ağacı yöntemi ve MLR modelinin iklim verileri kullanılarak

buharlaşma tahmini yapılmış ve sonuçların kullanılabilir düzeyde anlamlı olduğu istatistiksel değerlendirme yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Al-Jamimi, H. A., & Saleh, T. A. (2019). Transparent Predictive Modelling Of Catalytic Hydrodesulfurization Using An Interval Type-2 Fuzzy Logic. *Journal Of Cleaner Production*, 231, 1079-1088.
- Arunkumar, R., Jothiprakash, V., & Sharma, K. (2017). Artificial Intelligence Techniques For Predicting And Mapping Daily Pan Evaporation. *Journal Of The Institution Of Engineers (India): Series A*, 98(3), 219-231.
- Ataseven, B. (2013). Yapay Sinir Ağları İle Öngörü Modellemesi.
- Aydın, Y. (2019). Yarı Kurak İklim Koşullarında A Sınıfı Kap'tan Olan Buharlaşmanın Penman Ve Kohler-Nordenson-Fox (KNF) Modelleri İle Tahmini. *Turk J Agric Res*, 6(3), 319-327.
- Ayşe, Özel, & Büyükyıldız, M. Aylık Buharlaşma Tahmininde Yapay Zeka Yöntemlerinin Kullanılabilirliği. *Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 244-254.
- Baykal, N., Beyan, T. (2004), Bulanık Mantık, Uzman Sistem Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Çodur, (2008). Y. Sinirsel Bulanık Sistemler İle Trafik Gürültüsünün Tahmini.
- Demirci, (2019). M. Destek Vektör Makineleri Ve M5 Karar Ağacı Yöntemleri Kullanılarak Yağış Akışı İlişkisinin Tahmini. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1113-1124.
- Demirci, M., Unes, F., Kaya, Y. Z., Tasar, B., & Varcin, H. (2018). Modeling Of Dam Reservoir Volume Using Adaptive Neuro Fuzzy Method. *Aerul Si Apa. Componente Ale Mediului*, 145-152.
- Doğan, E., Işık, S., & Sandalcı, M. (2007). Günlük Buharlaşmanın Yapay Sinir Ağları Kullanarak Tahmin Edilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 4119(4131), 271.
- Doğan, O. (2016). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sisteminin (ANFIS) Talep Tahmini İçin Kullanımı Ve Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1).
- Dündar, O., & Laboratuvarı, H. (2009). Dolusavak Akımlarının Modellemesinde Sayısal Hesaplama Yönteminin Güvenli Kullanımı. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Hidromekanik Laboratuvarı*, Ankara, 55-56.
- Eray, O., Mert, C., & Kisi, O. (2018). Comparison Of Multi-Gene Genetic Programming And Dynamic Evolving Neural-Fuzzy Inference System In Modeling Pan Evaporation. *Hydrology Research*, 49(4), 1221-1233.
- Falamarzi, Y., Palizdan, N., Huang, Y. F., & Lee, T. S. (2014). Estimating Evapotranspiration From Temperature And Wind Speed Data Using Artificial And Wavelet Neural Networks (Wnns). *Agricultural Water Management*, 140, 26-36.

- Goodarzi, M., & Eslamian, S. (2018). Performance Evaluation Of Linear And Nonlinear Models For The Estimation Of Reference Evapotranspiration. *International Journal Of Hydrology Science And Technology*, 8(1), 1-15.
- Gümüş, V., Şimşek, O., Soydan, N. G., Aköz, M. S., & Yenigün, K. (2016). Adana İstasyonunda Buharlaştırmanın Farklı Yapay Zeka Yöntemleri İle Tahmini. *Dümmühendislik Dergisi*, 7(2), 309-318.
- Gümüş, V., Yenigün, K., Toprak, Z. F., & Nazife, Oruç (2018). Şanlıurfa Ve Diyarbakır İstasyonlarında Sıcaklık Tabanlı Buharlaştırma Tahmininde Ysa, Anfis Ve Gep Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 553-562.
- İnternet: USGS. URL <https://www.usgs.gov/> Son Erişim Tarihi: 23.11.2020
- İnternet: Wikipedia URL <http://tr.wikipedia.org/> Son Erişim Tarihi: 25.11.2020
- Irmak, S., Haman, D. Z., & Jones, J. W. Evaluation Of Class A Pan Coefficients For Estimating Reference Evapotranspiration In Humid Location. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*, (2002), 128(3), 153-159.
- Jang, J. S. (1993). ANFIS: Adaptive-Neuro-Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. (1990). *Evapotranspiration And Irrigation Water Requirements*. ASCE.
- Juttner, A., Szabó, I., Ve Szentesi, A. (2003). On Bandwidth Efficiency Of The Hose Resource Management Model In Virtual Private Networks. *Twenty-Second Annual Joint Conference Of The IEEE Computer And Communications Societies*, 1, 386-395.
- Kale Ataç, G. (2017). Karma Yapılı Yeni Bir Bulanık-Sinirsel Ağ Yapısının Geliştirilmesi Ve Başarımının İncelenmesi (Master's Thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Keshtegar B, Kisi O (2017) Modified Response-Surface Method: New Approach For Modeling Pan Evaporation. *J Hydrol Eng* 22(10):04017045
- Keshtegar, B., Kişi, O., Arab, H. G., & Zounemat-Kermani, M. (2018). Subset Modeling Basis ANFIS For Prediction Of The Reference Evapotranspiration. *Water Resources Management*, 32(3), 1101-1116.
- Keskin, M. E., & Terzi, Ö. (2006). Artificial Neural Network Models Of Daily Pan Evaporation. *Journal Of Hydrologic Engineering*, 11(1), 65-70.
- Kişi, Ö. (2009). Modeling Monthly Evaporation Using Two Different Neural Computing Techniques. *Irrigation Science*, 27(5), 417-430.
- Ladlani, I., Houichi, L., Djemili, L., Heddami, S., & Belouz, K. (2012). Modeling Daily Reference Evapotranspiration (ET₀) In The North Of Algeria Using Generalized Regression Neural Networks (GRNN) And Radial Basis Function Neural Networks

- (RBFNN): A Comparative Study. *Meteorology And Atmospheric Physics*, 118(3-4), 163-178.
- Malik, A., Kumar, A., & Kisi, O. (2018). Daily Pan Evaporation Estimation Using Heuristic Methods With Gamma Test. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*, 144(9), 04018023.
- Maroufpoor, E., Sanikhani, H., Emamgholizadeh, S., & Kişi, Ö. (2018). Estimation Of Wind Drift And Evaporation Losses From Sprinkler Irrigation Systems By Different Data-Driven Methods. *Irrigation And Drainage*, 67(2), 222-232.
- Mohamadi, S., Ehteram, M., & El-Shafie, A. (2020). Accuracy enhancement for monthly evaporation predicting model utilizing evolutionary machine learning methods. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-24.
- Ölgen, M. (1993). Türkiye'de Buharlaştırma Koşullarını Etkileyen Faktörler Ve Buharlaştırma Rejim Tipleri. *Ege Coğrafya Dergisi*, 7 (1), . Retrieved From <https://dergipark.org.tr/en/pub/ecd/issue/4887/67000>
- Özdülkar, K., Üneş, F., Demirci, M., & Kaya, Y. Z. (2019). Günlük Buharlaştırma Miktarının Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Bölgesel Olarak Modellenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 23-29.
- Özel, A., & Büyükyıldız, M. (2019). Aylık buharlaşma tahmininde yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilirliği.
- Özgür, Kişi & Afşar, S. (2010). Yapay Sinir Ağı Ve Bulanık Yapay Sinir Ağı Yöntemleri Kullanılarak Tava Buharlaştırma Tahmini. *International Journal Of Agricultural And Natural Sciences*, 3(1), 45-51.
- Penman, H. L. (1948). Natural Evaporation From Open Water, Bare Soil And Grass. *Proceedings Of The Royal Society Of London. Series A. Mathematical And Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Piri, J., Mohammadi, K., Shamshirband, S., & Akib, S. (2016). Assessing The Suitability Of Hybridizing The Cuckoo Optimization Algorithm With ANN And ANFIS Techniques To Predict Daily Evaporation. *Environmental Earth Sciences*, 75(3), 246.
- Quinlan, JR (1990). Decision Trees And Decision-Making. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, 20(2), 339-346.
- Quinlan, JR (1992) Learning With Continuous Classes. In 5th Australian Joint Conference On Artificial Intelligence. Vol 92, Pp 343-348
- Saphioğlu, K., & Çimen, M. (2010). Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Miktarının Tahmini. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 1(1), 14-21.
- Sezer, Ç., Öztekin, T., & Sezer, E. (2017). A Sınıfı Buharlaştırma Kabından Olan Günlük Buharlaştırmanın Kohler-Nordenson-Fox (Knf) Ve Christiansen Modelleri Ile Tahmini. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(Özel Sayı (Bsm 2017)), 184-196.

- Sezer,Ç. Ö., Öztekin, T., & Sezer, E. K. (2018). A-Sınıfı Buharlaşma Kabından Olan Buharlaşma Miktarının Penman Ve Priestley-Taylor (Pt) Modelleri Ile Tahmini. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 55(4), 11-20.
- Shiri, J. (2019). Evaluation Of A Neuro-Fuzzy Technique İn Estimating Pan Evaporation Values İn Low-Altitude Locations. Meteorological Applications, 26(2), 204-212.
- Shiri, J., Dierickx, W., Pour-Ali Baba, A., Neamati, S., & Ghorbani, M. A. (2011). Estimating Daily Pan Evaporation From Climatic Data Of The State Of Illinois, USA Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) And Artificial Neural Network (ANN). Hydrology Research, 42(6), 491-502.
- Sudheer, K. P., Gosain, A. K., Mohana Rangan, D., & Saheb, S. M. Modelling Evaporation Using An Artificial Neural Network Algorithm. Hydrological Processes, 2002, 16(16), 3189-3202.
- Taşar, B., Kaya, Y. Z., Varçin, H., Üneş, F., & Demirci, M. (2017). Forecasting Of Suspended Sediment In Rivers Using Artificial Neural Networks Approach. International Journal Of Advanced Engineering Research And Science, 4(12), 237333.
- Taşar, B., Üneş, F., Demirci, M., & Kaya, Y. Z. (2018). Yapay Sinir Ağları Yöntemi Kullanılarak Buharlaşma Miktarı Tahmini. DÜMF Mühendislik Dergisi, 9(1), 543-551.
- Terzi, Ö., & Ergin, G. (2014). Forecasting Of Monthly River Flow With Autoregressive Modeling And Data-Driven Techniques. Neural Computing And Applications, 25(1), 179-188.
- Terzi, Ö., & Keskin, M. E. (2005). Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı Kullanılarak Günlük Tava Buharlaşması Tahmini. Teknik Dergi, 16(4), 3683-3693.
- Turc L. (1961). Evaluation Des Besoins En Eau D'irrigation, 'Evapotranspiration Potentielle, Formulation Simplifi'EEt Mise `A Jour. Annales Agronomiques 12: 13-49.
- Turhan, E., & Çağatay, H. Ö. (2016). Eksik Akım Verilerinin Tahmin Modelinin Oluşturulmasında Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı: Asi Nehri-Demirköprü Akım Gözlem Tasyonunun Örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(1), 93-106.
- Üneş, F. (2011). Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı İle Tahtaköprü Barajındaki Aylık Buharlaşma Tahmini Özet. E-Journal Of New World Sciences Academy, 6(1), 1a0132.
- Unes, F. Prediction Of Dam Reservoir Volume Fluctuations Using Adaptive Neuro Fuzzy Approach. EJENS, 2017, 2(1), 144-148.
- Üneş, F., Demirci, M., Taşar, B., Kaya, Y. Z. Ve Varçin, H. (2019). Estimating Dam Reservoir Level Fluctuations Using Data-Driven Techniques. Pol. J. Environ. Stud. 28 (5), 3451-3462.

- Üneş, F., Demirci, M., Zelenakova, M., Çalışıcı, M., Taşar, B., Vranay, F., & Kaya, Y. Z. (2020). River Flow Estimation Using Artificial Intelligence And Fuzzy Techniques. *Water*, 12(9), 2427.
- Unes, F., Kaya, Y. Z., & Mamak, M. (2020). Daily reference evapotranspiration prediction based on climatic conditions applying different data mining techniques and empirical equations. *Theoretical And Applied Climatology*.
- Üneş, F., Maruf, A. G. Ve Taşar, B. (2019). Ground Water Level Estimation For Dörtüyl Region In Hatay. *International Journal Of Environment, Agriculture And Biotechnology*, 4(3), 859-864.
- Wang, L., Kisi, O., Zounemat-Kermani, M., & Li, H. (2017). Pan Evaporation Modeling Using Six Different Heuristic Computing Methods In Different Climates Of China. *Journal Of Hydrology*, 544, 407-427.
- Witten, I. H., Paynter, G. W., Frank, E., Gutwin, C., & Nevill-Manning, C. G. (2005). Kea: Practical Automated Keyphrase Extraction. In *Design And Usability Of Digital Libraries: Case Studies In The Asia Pacific* (Pp. 129-152). IGI Global.
- Yildirim, D., Cemek, B., & Küçüktopçu, E. (2019) Bulanık Yapay Sinir Ağları Ve Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları İle Günlük Buharlaşma Tahmini. *Toprak Su Dergisi*, 24-31.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information And Control*, 8(3), 338-353
- Zadeh, L. A. (1973). Outline Of A New Approach To The Analysis Of Complex Systems And Decision Processes. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, (1), 28-44.
- Zadeh, L. A. (1975). The Concept Of A Linguistic Variable And Its Application To Approximate Reasoning—I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.

DİZİN

A

ANFIS

74,iv,8, 9,10, 11,12,14,15,
22,24,29,36,37,38,39,40,41,42
,43, 44, 45, 65, 66, 67, 68

B

Buharlaşma

74,1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
11, 12, 13, 14, 15, 16, 22, 23,
24, 31, 35, 36, 37, 42, 48, 53,
56, 61, 65, 66, 67, 68

Bulanık Mantık

iii, 9, 13, 15, 24, 25, 26, 28,
68

D

Determinasyon

74,9,34,38,40,43,45,47,49,51,
54,56,57,59,62,64,65,66,67

E

Evapotranspirasyon

74,2, 12, 23, 31

H

Hidroloji

74,1,2,5,14

K

Karar Ağacı

74,vi,11,12,15,22,28,32,33,36,
48,66,67,68

M

MLR

iii,iv,10,11,12,15,16,22,34,36,
37,56,57,58,59,60,61,62,63,64
,65,66,67,68

MOH

iii,iv,7,9,15,34,35,65,66,67

M5T

iii,iv,10,11,15,18,32,36,37,48,
49,50,51,52,53,54,55,56,65,66
,67

P

Penman Monteith

iii,iv,,7,15,18,23,37,67

R

Referans

i,iii,xiii,12,15,18,23,36,37,46,
48,56,67,75

Regresyon

,8,10,11,12,13,14,15,32,34,56,
74

T

Tahmin

74,1,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,
14,15,18,22,23,29,31,32,35,36
,37,38,39,40,41,42,43,44,46,4
8,49,50,51,52,53,55,58,59,60,
61,63,65,66,67,68

Turc

iii,iv,11,15,18,22,31,36,37,46,
47,48,65,66,67

Y

Yapay Sinir Ağları

7,8,10,11,13,14,15,24,27,28,6
8



TEKNOVERSİTE

