T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE GAP BÖLGESİNDEKİ AYLIK TAVA BUHARLAŞMA DEĞERLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Yunus YEŞİLTAŞ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE GAP BÖLGESİNDEKİ AYLIK TAVA BUHARLAŞMA DEĞERLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Yunus YEŞİLTAŞ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ danışmanlığında, Yunus YEŞİLTAŞ'ın hazırladığı **"Yapay Zekâ Yöntemleri İle GAP Bölgesindeki Aylık Tava Buharlaşma Değerlerinin Tahmin Edilmesi"** konulu bu çalışma 09/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ …….

Üye : Prof. Dr. Kasım YENİGÜN …….

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇELİK …….

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. H.Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 18013

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER DİZİNİ vii
1.GİRİŞ 1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
3.MATERYAL ve YÖNTEM 14
3.1.Materyal 14
3.1.1.Çalışma alanı 14
3.1.2.Veriler 15
3.2.Yöntem 17
3.2.1. Çoklu doğrusal regresyon 17
3.2.2. Yapay sinir ağları 18
3.2.3. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) 18
3.2.4. Gen ekspresyon programlama (Gene-expression programing-GEP) 19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 20
4.1. Adıyaman İstasyonu Buharlaşma Tahmini 21
4.1.1. Adıyaman istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları 26
4.1.2. Adıyaman istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları 27
4.2. Batman İstasyonu Buharlaşma Tahmini 31
4.2.1. Batman istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları 36
4.2.2. Batman istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları 37
4.3. Diyarbakır İstasyonu Buharlaşma Tahmini 40
4.3.1. Diyarbakır istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları 45
4.3.2. Diyarbakır istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları 45
4.4. Gaziantep İstasyonu Buharlaşma Tahmini 49
4.4.1. Gaziantep istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları 54
4.4.2. Gaziantep istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları 55
4.5. Kilis İstasyonu Buharlaşma Tahmini 58
4.5.1. Kilis istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları 63
4.5.2. Kilis istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları 64
4.6. Mardin İstasyonu Buharlaşma Tahmini 67
4.6.1. Mardin istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları 72
4.6.2. Mardin istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları 73
4.7. Siirt İstasyonu Buharlaşma Tahmini 76
4.7.1. Siirt istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları 81
4.7.2. Siirt istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları 82
4.8. Şanlıurfa İstasyonu Buharlaşma Tahmini 85
4.8.1. Şanlıurfa istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları 90
4.8.2. Şanlıurfa istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları 91
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER 95
KAYNAKLAR 98
ÖZGEÇMİŞ 101

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE GAP BÖLGESİNDEKİ AYLIK TAVA BUHARLAŞMA DEĞERLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Yunus YEŞİLTAŞ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Yıl:2018, Sayfa:101

Bu çalışmada Türkiye'nin buharlaşma oranının en yüksek olduğu Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde (GAP) bulunan sekiz istasyona ait tava buharlaşma değerleri tahmin edilmiştir. Ölçülen uzun süreli sıcaklık, rüzgâr hızı, nisbi nem, basınç, güneşlenme şiddeti ve aylık açık gün sayısı parametreleri kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ve Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemleri ile aylık tava buharlaşması tahmini yapılmıştır. Üç farklı girdi kombinasyonu için ölçülen buharlaşma değerleri ile tahmin edilen buharlaşma değerleri arasında R^2, Ortalama Karesel Hata (OKH) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) değerleri karşılaştırma kriteri olarak kullanılmıştır. Tüm istasyonlar için farklı yöntemlerle yapılan tava buharlaşma tahminleri incelendiğinde, GEP ve ÇDR yöntemlerinin başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı parametrelerinin girdi olarak ele alındığı kombinasyonun az girdi verisine ihtiyaç duymasına rağmen oldukça başarılı sonuçlar verdiği ve uygulamada başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: GAP, buharlaşma, yapay zekâ yöntemleri, çoklu doğrusal regresyon, gen-ekspresyon programlama

ABSTRACT

MSc Thesis

ESTIMATION OF MONTHLY PAN EVAPORATION IN THE GAP REGION WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Yunus YEŞİLTAŞ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Year:2018, Page:101

In this study, pan evaporation are estimated for eight meteorological stations in the GAP region, where the evaporation rate is highest in Turkey. Monthly pan evaporations are estimated with Artificial Neural Networks (ANN), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), Gene-Expression Programming (GEP) and Multiple Linear Regression (MLR) methods using weather parameters of temperature, wind speed, relative humidity, air pressure, solar radiation and number of open days per month. The measured and estimated evaporation values for the three different input combinations are compared according to R^2, Mean Square Error (MSE) and Mean Absolute Error (MAE) values. According to the pan evaporation estimates made by different methods for all the stations, the GEP and MLR methods are given better results than ANN and ANFIS methods. It has been shown that only the temperature and wind speed are used as inputs in estimation of pan evaporation, although it has few input data, it gives good results and can be used successfully in practice

KEY WORDS: GAP, evaporation, artificial intelligence methods, multiple linear regression, gene-expression programming

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen ve akademik gelişimime katkı sağlayan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ'e,

Ve her şey için aileme teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Hidrolojik çevrim 1
Şekil 3.1. Çalışma alanı 15
Şekil 3.2. Üç tabakalı bir yapay sinir ağı 18
Şekil 4.1. DM01 için Adıyaman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 23
Şekil 4.2. DM02 için Adıyaman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 24
Şekil 4.3. DM03 için Adıyaman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 25
Şekil 4.4. Adıyaman istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı 26
Şekil 4.5. Adıyaman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 28
Şekil 4.6. Adıyaman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 29
Şekil 4.7. Adıyaman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 30
Şekil 4.8. DM01 için Batman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 33
Şekil 4.9. DM02 için Batman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 34
Şekil 4.10. DM03 için Batman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 35
Şekil 4.11. Batman istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı 36
Şekil 4.12. Batman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 37
Şekil 4.13. Batman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 38
Şekil 4.14. Batman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 39
Şekil 4.15. DM01 için Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 41
Şekil 4.16. DM02 için Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 42
Şekil 4.17. DM03 için Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 43
Şekil 4.18. Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı 44
Şekil 4. 19. Diyarbakır istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 46
Şekil 4.20. Diyarbakır istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 47
Şekil 4.21. Diyarbakır istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 48
Şekil 4.22. DM01 için Gaziantep istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 51
Şekil 4. 23. DM02 için Gaziantep istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 52
Şekil 4.24. DM03 için Gaziantep istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 53
Şekil 4.25. Gaziantep istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı 54
Şekil 4.26. Gaziantep istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 55

Şekil 4.27. Gaziantep istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 56
Şekil 4.28. Gaziantep istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 57
Şekil 4.29. DM01 için Kilis istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 60
Şekil 4.30. DM02 için Kilis istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 61
Şekil 4.31. DM03 için Kilis istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 62
Şekil 4.32. Kilis istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı 63
Şekil 4.33. Kilis istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 64
Şekil 4.34. Kilis istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 65
Şekil 4.35. Kilis istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 66
Şekil 4.36. DM01 için Mardin istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 68
Şekil 4.37. DM02 için Mardin istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 69
Şekil 4.38. DM03 için Mardin istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 70
Şekil 4.39. Mardin istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı 72
Şekil 4.40. Mardin istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 73
Şekil 4.41. Mardin istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 74
Şekil 4.42. Mardin istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 75
Şekil 4.43. DM01 için Siirt istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 78
Şekil 4.44. DM02 için Siirt istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 79
Şekil 4.45. DM03 için Siirt istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 80
Şekil 4.46. Siirt istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı 81
Şekil 4.47. Siirt istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 82
Şekil 4.48. Siirt istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 83
Şekil 4.49. Siirt istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 84
Şekil 4.50. DM01 için Şanlıurfa istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 87
Şekil 4.51. DM02 için Şanlıurfa istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 88
Şekil 4.52. DM03 için Şanlıurfa istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri 89
Şekil 4.53. Şanlıurfa istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı 90
Şekil 4.54. Şanlıurfa istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 91
Şekil 4.55. Şanlıurfa istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 92
Şekil 4.56. Şanlıurfa istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü 93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

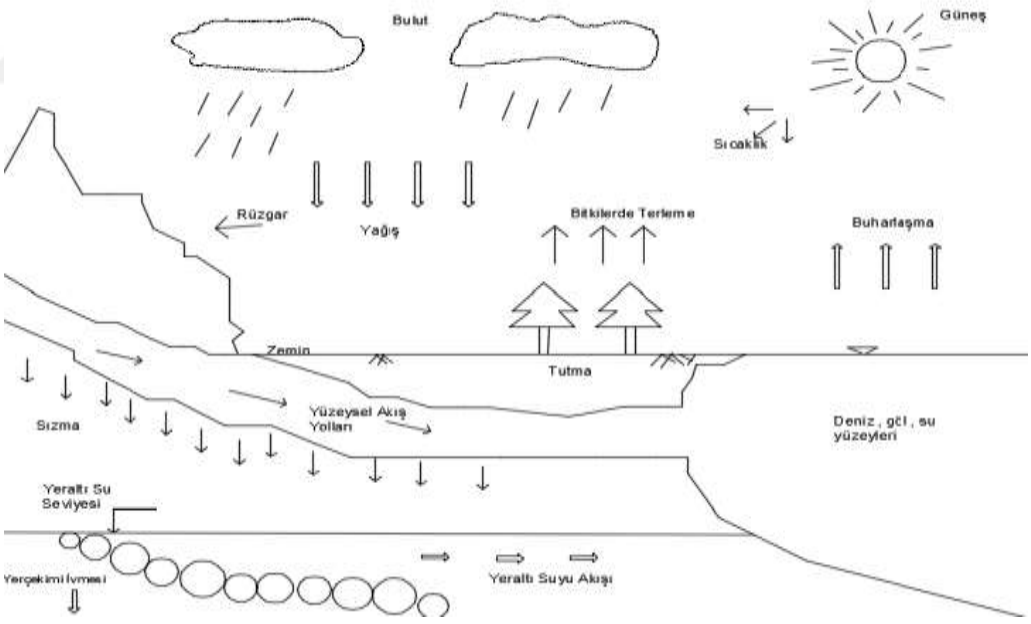
Çizelge 3.1. Ele alınan istasyonların meteorolojik değerleri için istatistiksel parametreler 16
Çizelge 3.2. İstasyonlara ait coğrafik veriler 17
Çizelge 4.1. Tahmin çalışması için kombinasyonlar ve girdi parametreleri 21
Çizelge 4.2. Adıyaman istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları 22
Çizelge 4.3. Adıyaman istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar 26
Çizelge 4.4. GEP yönteminde kullanılan kısaltmalar 27
Çizelge 4.5. Batman istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları 32
Çizelge 4.6. Batman istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar 36
Çizelge 4.7. Diyarbakır istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları 40
Çizelge 4.8. Diyarbakır istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar 45
Çizelge 4.9. Gaziantep istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları 50
Çizelge 4.10. Gaziantep istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar 54
Çizelge 4.11. Kilis istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları 59
Çizelge 4.12. Kilis istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar 63
Çizelge 4.13. Mardin istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları 67
Çizelge 4.14. Mardin istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar 72
Çizelge 4.15. Siirt istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları 77
Çizelge 4.16. Siirt istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar 81
Çizelge 4.17. Şanlıurfa istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları 86
Çizelge 4.18. Şanlıurfa istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar 90

SİMGELER DİZİNİ

T	Aylık Ortalama Sıcaklık
W	Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı
H	Aylık Ortalama Nisbi Nem
P	Aylık Ortalama Aktüel Basınç
OD	Aylık Ortalama Açık Gün Sayısı
PE	Buharlaşma Miktarı
SR	Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti Aylık Ortalaması
$ÇDR$	Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi
YSA	Yapay Sinir Ağları Yöntemi
$ANFIS$	Uyarlamalı Ağ tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi
GEP	Gen Ekspresyon Programlama Yöntemi
X_{ort}	Ortalama Değer
X_{mak}	Maksimum Değer
X_{min}	Minimum Değer
S_x	Standart Sapma
C_{sx}	Çarpıklık Katsayısı
OKH	Ortalama Karesel Hata
OMH	Ortalama Mutlak Hata
R^2	Belirlilik Katsayısı
hPa	Hektopaskal
cal	Kalori
$°C$	Santigrat

1.GİRİŞ

Tabiatta farklı hallerde (sıvı, katı, gaz) bulunan su, yeryüzünün çeşitli katmanları arasında devir daim halindedir. Suyun doğada dönüp durduğu yolların hepsine birden hidrolojik çevrim adı verilir. Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi, atmosferde buhar durumunda olan su yoğunlaşarak yağış olarak yeryüzüne iner. Anakara üzerine düşen suyun büyük bir kısmı (%60-74 kadarı) zeminden, su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner. Bir kısmı bitkiler tarafından tutulup kullanılır, diğer bir kısmı ise çatlaklardan sızarak yeraltına iner. Geriye kalan diğer sular ise yerçekimi etkisiyle ve diğer dış etkiler ile birlikte hareket ederek göllere, nehirlere ve nihai olarak yüzeysel akış ile deniz ve okyanuslara ulaşır. Yeraltına sızan su ise yeraltı akışı yoluyla sonunda yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır. Dünya üzerindeki su birikintilerine kavuşan su da buharlaşarak atmosfere geri çıkar.



Şekil 1.1. Hidrolojik çevrim

Su moleküllerinin su durumundan buhar durumuna dönüşmesi olayına buharlaşma denir. Hidrolojik çevrimin en önemli bileşenlerinden biri buharlaşmadır. Sulama sistemi tasarımı, hidrolojik modelleme, nehir akışı tahmini ve sulama planlaması da dâhil olmak üzere pek çok uygulamada buharlaşma önemli bir olay

olarak karşımıza çıkmaktadır. Buharlaşmayı atmosferik basınç, sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem, güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddeti gibi parametreler etkiler. Buharlaşma bu kadar çok parametreye bağlı olması nedeniyle, hesaplanması ve doğru tahmin edilmesi oldukça zordur. Ayrıca buharlaşmanın tahmini su kaynaklarının ölçülmesi, yönetimi ve izlenmesi için de önemlidir. Özellikle baraj gölleri ya da sulama amaçlı tasarlanan göletlerde buharlaşma tasarımda ana faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Meteorolojik parametrelerin gerçeğe yakın bir şekilde tahmini ve çözümlenmesi bu sebeplerden ötürü çok önemlidir. Buharlaşma bütün su kaynakları çalışmaları için göz ardı edilemez bir parametre olduğundan bitkilerin su tüketim miktarını, havzalardaki verimi, haznelerin kapasitelerini ve pompa istasyonlarının büyüklüğünü etkiler.

Buharlaşmayı ölçmek için genellikle bu amaç için tasarlanan buharlaştırma tavası kullanılır. Bu tava sayesinde belirli bir zaman aralığında buharlaşmanın miktarını ölçmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca, geleneksel yöntemler ile de meteorolojik veriler girdi olarak ele alınarak buharlaşma tahmin edilebilmektedir. Bunun yanında son yıllarda hidro-meteorolojik çalışmalarda yapay zekâ yöntemlerinin önemi ve kullanım faaliyetleri gün geçtikçe çoğalmaktadır. Özellikle, doğrusal olmayan sistemlerin davranışlarını modellemede yapay zekâ yöntemleri (Yapay Sinir Ağları-YSA, Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi-ANFIS, Genetik Programlama-GP vb.) sıklıkla kullanılmaktadır. Uygulama kolaylığı açısından, fazla girdiye ihtiyaç duymamasından ötürü bu yöntemler kullanışlıdır.

Bu çalışmada GAP bölgesindeki Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt ve Şanlıurfa illeri için aylık tava buharlaşma değerlerini yapay zeka yöntemleri olan Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Gen Ekspresyon Programlama (GEP) yöntemler ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, daha klasik bir yöntem olan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemi ile de tava buharlaşma değerleri tahmin edilmiştir. Adı geçen iller için aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama rüzgâr hızı, aylık ortalama nisbi nem, aylık ortalama aktüel basınç, aylık açık günler sayısı ve günlük toplam güneşlenme şiddeti aylık ortalaması meteorolojik değişkenlerini içeren, çeşitli girdi kombinasyonları denenerek yapılan bu çalışmada, ÇDR, YSA, ANFIS ve GEP

yöntemleri kullanılarak modeller oluşturulmuş, aylık tava buharlaşması tahminleri yapılmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Doğan ve ark. (2007), çalışmalarında, Sapanca gölüne ait günlük buharlaşmayı tahmin etmek için iki farklı YSA yöntemi kullanmışlardır. İleri Beslemeli Geri Yayınımlı (İBGYSA) ve Radyal Temelli Yapay Sinir Ağı (RTYSA) modelleri ve klasik Penman-Monteith (PM) modeli ile karşılaştırılmışlardır. Girdi parametresi olarak, maksimum güneşlenme süresi, gerçek güneşlenme süresi, bağıl nem, rüzgâr hızı, minimum ve maksimum sıcaklık verilerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda İBGYSA yönteminin ele alınan diğer yöntemlerden daha başarılı bir şekilde buharlaşma tahmini yaptığını belirlemişlerdir.

Rahimikhoob (2009), çalışmasında, İran'ın güneybatısı Khuzestan ovası'nda bulunan Safiabad Tarımsal Araştırma Merkezi (SARC)'ndeki tava buharlaşmasını Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle tahmin etmiştir. SARC hava istasyonunda 1996-2001 yılları arasını kapsayan günlük minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık ve güneşlenme şiddeti verileri kullanılmıştır. Ayrıca YSA yöntemi ile elde edilen sonuçlar ampirik Hargreaves denklemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, YSA yönteminin, Hargreaves yönteminden daha iyi tahminler verdiğini bildirmiştir.

Shirsath ve Singh (2009), çalışmalarında Yapay Sinir Ağlarının (YSA), istatistiksel regresyon ve iklim esaslı modelleri ile (Penman, Priestley-Taylor ve Stephens-Stewart) performans karşılaştırılmalarını yapmıştır. Yeni Delhi'de (Hindistan) günlük tava buharlaşma tahmini için maksimum ve minimum hava sıcaklığı, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı, bağıl nem parametrelerini kullanarak tava buharlaşma değerleri farklı yöntemler ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA ve regresyon modellerinin eğitim sürecinde 1096 günlük veri, test sürecinde ise 365 günlük veri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, YSA ile tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin ele alından diğer yöntemlere göre biraz daha başarılı olduğunu belirtilmiştir.

Tabari ve ark. (2009), çalışmalarında İran'ın yarı kurak bölgelerinde Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Çok Değişkenli Doğrusal Olmayan Regresyon (ÇDOR) yöntemleri ile günlük tava buharlaşma değerleri tahmin edilmiştir. Tava buharlaşmasını tahmin etmek için bağıl nem, hava sıcaklığı, güneşlenme şiddeti, rüzgâr hızı ve yağış miktarı parametrelerinin girdi olarak alındığı YSA ve ÇDOR modelleri geliştirilmiştir. Model tahminlerinin karşılaştırılmasında, tüm girdi parametrelerinin beraber kullanıldığı YSA yönteminin, günlük tava buharlaşma değerini tahmin etmede ÇDOR yöntemine göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Moghaddamnia ve ark. (2009), çalışmalarında İran'ın Sistan bölgesi Chahnimeh rezervuarındaki buharlaşmayı tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemleri ile, ampirik Marciano yöntemi karşılaştırılmıştır. Girdi verisi olarak 1983-2005 yılları arasındaki toplam 11 yıla ait günlük hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, buhar basıncı ve bağıl nem parametreleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, YSA ve ANFIS yöntemlerinin ampirik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini (test sonuçları için YSA R^2=0.97, ANFIS R^2=0.92 ve Marciano R^2=0.54) ve YSA yönteminin de ANFIS yöntemine göre biraz daha iyi sonuç vermiş olsa da aralarındaki farkın oldukça küçük olduğunu bildirmişlerdir.

Shiri ve ark. (2010), çalışmalarında, günlük iklim parametrelerini kullanarak günlük buharlaşma modellemesi için Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada, ABD'nin Illinois eyaletindeki üç farklı meteoroloji istasyonuna ait Ağustos 2005-Eylül 2008 arasını kapsayan günlük hava sıcaklığı, güneşlenme şiddeti, rüzgâr hızı, bağıl nem, yüzey toprak sıcaklığı ve yağış parametreleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, özellikle sınırlı iklim parametreleri kullanıldığında ANFIS yönteminin buharlaşmanın modellemesinde daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Güven ve Kisi (2010), çalışmalarında, günlük tava buharlaşma tahmini için Genetik Programlama (GP) tekniğinin bir uzantısı olan Lineer Genetik Programlama (LGP) yönteminin yeteneğini araştırmışlardır. Buharlaşma tahmini yapmak için

Kaliforniya'daki Fresno, Los Angeles ve San Diego meteoroloji istasyonlarının günlük hava sıcaklığı, güneşlenme şiddeti, rüzgâr hızı, basınç ve nem girdi olarak kullanılmıştır. LGP tahminleri, GP'nin bir diğer dalı olan Gen Ekspresyon Programlama (GEP), Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (YSA) ,Radyal Temel Sinir Ağları (RTYSA), Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağları (GRYSA) ve Stephens-Stewart (SS) modelleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda LGP yönteminin buharlaşmayı tahmin etmede başarılı bir şekilde uygulanabileceği belirtmişlerdir.

Abudu ve ark. (2010), çalışmalarında, günlük tava buharlaşmasını tahmin etmede Kısmi En Küçük Kareler Regresyonunun (Partial Least Squares Regression - PLSR) yönteminin uygulanmasını yapmışlardır. Çalışmada, Elephant Butte Reservoir (New Mexico, ABD) ve Shanshan County (Xinjiang, Çin)'de bulunan iki meteoroloji gözlem istasyonundan ölçülen maksimum ve minimum sıcaklık, maksimum ve minimum bağıl nem, rüzgâr hızı ve güneşlenme şiddeti verilerini girdi olarak kullanarak günlük tava buharlaşma değerlerini tahmin etmişlerdir. Modelleme sonuçları, aynı girdi değişkenlerine sahip Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, PLSR kullanılarak geliştirilen doğrusal olmayan denklemlerin, YSA yaklaşımıyla benzer performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Kişi ve Shiri (2011), çalışmalarında günlük buharlaşma tahmini için Genetik Programlamanın (GP) yeteneklerini araştırmışlardır. Buharlaşmanın tahmininde, hava sıcaklığı, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve bağıl nemi kullanarak çeşitli kombinasyonlarını içeren farklı GP modelleri geliştirmişlerdir. GP'nin yeteneklerini değerlendirmek için aynı veri setini kullanarak birkaç ANFIS ve YSA modelleri kurulmuş ve GP'nin ANFIS ve YSA yaklaşımlarına üstünlüğü belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, GP modelinin mevcut iklim verileri ile buharlaşmanın tahmin edilmesinde oldukça başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Ariapour ve Nassaji (2011), İran için yapmış oldukları çalışmalarında, yapay sinir ağı modelinde günlük sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi verilerini kullanarak günlük buharlaşma tahmin edilmiştir. Çalışmada ileri beslemeli

çok katmanlı bir ağ yapısı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda günlük buharlaşmayı tahmin etmede yapay sinir ağlarının buharlaşmayı tahmin etmede kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Terzi (2012), çalışmasında, hidrolojik ve meteorolojik araştırmalarda önemli bir parametre olan günlük tava buharlaşmasını tahmin etmek için Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemleri ele alınmıştır. Girdi parametresi olarak 1998-2005 yılları arasındaki Kovada gölü ve Karacaören baraj gölüne ait buharlaşma değerleri ile Eğirdir gölünün 1, 2 ve 3 gün önceki buharlaşma değerleri kullanılmıştır. Çeşitli girdi kombinasyonları denenerek yapılan tahminlerde GEP yönteminin ANFIS yöntemine göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Sanikhani ve ark. (2012), Çalışmasında, günlük tava buharlaşmasını tahmin etmek için iki farklı ANFIS modelinin (Grid Partitioning-GP, Subtractive Clustering-SC) başarısı araştırılmıştır. ANFIS-GP ve ANFIS-SC modellerinin sonuçları Çok Değişkenli Doğrusal Olmayan Regresyon (ÇDOR), Yapay Sinir Ağları (YSA), Stephens-Stewart (SS) ve Penman modelleri ile karşılaştırılmıştır. Tava buharlaşma tahmini için Kaliforniya eyaletinde bulunan San Francisco ve San Diego meteoroloji istasyonlarına ait hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, güneşlenme şiddeti ve bağıl nem parametreleri kullanılmıştır. Sonuçların karşılaştırılması, ANFIS-GP ve ANFIS-SC, yöntemlerinin ÇDOR, YSA, SS ve Penman'dan daha üstün olduğu ve ANFIS-GP ile ANFIS-SC'nin performansları arasındaki farkın buharlaşma tahmininde anlamlı olmadığını bildirmişlerdir.

Chung ve ark. (2012), çalışmalarında Tayvan'da tava buharlaşmasını ANFIS ile kringing yöntemini birleştiren bir hibrid modeli olan (AK) ile tahmin etmişlerdir. Tayvan'ın tamamını kapsayan on dokuz meteoroloji istasyonundan toplanan üç yıllık günlük veriler ile (basınç, sıcaklık, rüzgâr hızı, yağış, güneşlenme şiddeti, güneşlenme süresi ve nem) tahmin modeli tasarlanmış ve bu verileri eğitim ve test sürecinde kullanmışlardır. Ayrıca tava buharlaşmasını amprik formül ile hesaplamışlardır.

Çalışma sonucunda, önerilen AK modelinin ampirik formüle kıyasla buharlaşma tahmininin doğruluğunu etkin bir şekilde artırabileceğini bildirmişlerdir.

Tabari ve ark. (2012), çalışmalarında, İran'ın yarı kurak bölgesinde günlük buharlaşma tahmini için Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Koaktiv Bulanık Sinir Sistemi (CANFIS) yöntemlerini kullanmışlardır. Çeşitli meteorolojik parametrelerin (maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve güneşlenme şiddeti) girdilerini içeren altı YSA ve CANFIS modeli geliştirilmiş ve çalışmalarının sonucunda, tava buharlaşmasını tahmin etmede YSA yönteminin, CANFIS yöntemine göre daha uygun olduğunu göstermişlerdir.

Kumar ve ark. (2012) , çalışmalarında Pantogar (Hindistan)'da aylık potansiyel buharlaşma tahmini için, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemlerini kullanmışlardır. Nem, güneşlenme şiddeti, sıcaklık, rüzgâr hızı verilerini buharlaşmayı tahmin etmek için oluşturulan modelleri eğitmek ve test etmek için ele almışlardır. Çalışma sonucunda ANFIS yönteminin YSA ye göre biraz daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir.

Güven ve Kisi (2013), çalışmalarında Antalya ve Mersin istasyonlarına ait tava buharlaşmalarının modellemesinde Lineer Genetik Programlama (LGP), Bulanık Genetik (Fuzzy Genetic-FG), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Stephens-Stewart (SS) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Tava buharlaşma değerini tahmin etmek için güneşlenme şiddeti, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı girdi olarak kullanılmıştır. Çalışmada Antalya ve Mersin istasyonlarının buharlaşmasını ayrı ayrı tahmin etmede LGP modelinin FG, ANFIS, YSA ve SS modelleri ile karşılaştırılmış ve LGP modellerinin diğer yöntemlerden daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Baba ve ark. (2013), Çalışmalarında Güney Kore'deki iki meteoroloji istasyonuna ait hava sıcaklığı, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve bağıl nem parametrelerine ait 8 yıllık (1985-1992) ölçümleri kullanılarak, günlük referans buharlaşma miktarı değerlerini tahmin etmişlerdir. Günlük buharlaşma değerlerini

tahmin etmek için Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, ANFIS ve YSA yöntemlerinin referans buharlaşma değerlerinin tahmininde oldukça başarılı sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Goyal ve ark. (2014), çalışmalarında, tropikal bölgelerdeki günlük tava buharlaşma tahminini yapmak için Yapay Sinir Ağları (YSA), En Küçük Kareler - Destek Vektör Regresyonu (Least Squares – Support Vector Regression-LS-SVR), Bulanık Mantık (Fuzzy Logic-FL) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemlerini kullanmış ve bu yöntemleri karşılaştırmışlardır. Günlük tava buharlaşma tahmini için Hindistan'daki Karso su havzasına ait 2000-2010 yılları arasındaki 3801 günlük yağış, minimum ve maksimum hava sıcaklıkları, minimum ve maksimum nem miktarı ve güneşlenme süresi parametreleri kullanılmıştır. YSA, LS-SVR, FL ve ANFIS modelleri tarafından elde edilen tahmin sonuçları karşılaştırılmış ve FL ile LS-SVR yaklaşımlarının mevcut iklim verilerinden günlük buharlaşma sürecinin modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Benzaghta (2014), çalışmasında, Libya'nın Sirt kentinin yakınlarında bulunan Algardabiya rezervuarındaki buharlaşmanın tahmini için, Yapay Sinir Ağları yöntemini (YSA) ve iklime dayalı yöntemler ile (Penman, Priestley-Taylor ve Stephens-Stewart) karşılaştırmıştır. Buharlaşma tahmini için kurulan modellerde, 2004-2006 yılları arasında ölçülen günlük meteorolojik veriler (hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda YSA yönteminin, iklim esaslı yöntemlere göre buharlaşmayı tahmin etmede daha başarılı olduğunu bildirmiştir.

Ali ve Saraf (2015), çalışmalarında Hindistan'nın Udaipur bölgesindeki tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemlerinin yetenekleri araştırılmıştır. Tahmin modellerinin performansının değerlendirilmesinde korelasyon katsayısı (R) ve karekök ortalama karesel hata (KOKH) değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda,

buharlaşmanın tahmininde YSA yönteminin, ÇDR yöntemine göre daha başarılı olduğunu belirlemişlerdir.

Tezel ve Büyükyıldız (2015), çalışmalarında, aylık tava buharlaşmasını hesaplamak için Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı (ÇKYSA), Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RTYSA) yöntemleri ve Yöntem Destek Vektör Regresyon (Support Vector Regression-SVR) metodunun kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla 1972-2005 yılları arasındaki Beyşehir meteoroloji istasyonuna ait aylık sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yağış verileri girdi parametreleri olarak kullanılmış ve tava buharlaşma değerleri tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, OKH, OMH ve R2 değerlerine göre ele alınan YSA yöntemlerinin (ÇKYSA, RTYSA) ve SVR yönteminin benzer sonuçları verdiğini vurgulamışlardır.

Antonopoulos ve ark. (2015), çalışmalarında Kuzey Yunanistan'daki Vegorit Gölü'nden günlük buharlaşmayı hesaplamak için Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılmış ve elde edilen bulgular Penman, Priestley-Taylor ve kütle transfer yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. YSA yöntemin için eğitim ve test sürecinde, hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi girdi parametresi olarak kullanılmış ve günlük buharlaşma tahmin edilmeye çalışılmıştır. YSA ile buharlaşma tahmininde en iyi yapı 4 girdi, 4 gizli katman ve 1 çıktı katmanı ile elde edilmiştir. Ayrıca, kurulan YSA modellerinde karekök ortalama karesel hata (KOKH) 0.69 ila 1.35 mm/gün ve korelasyon katsayısı ise 0.79 ila 0.92 arasında belirlenmiştir.

Gümüş ve ark. (2016), çalışmalarında Adana istasyonuna ait aylık ortalama buharlaşmayı tahmin etmek amacıyla Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Gen Ekspresyon Programlama (GEP) yöntemlerini kullanmışlardır. Bağıl nem, atmosfer basıncı, güneşlenme şiddeti, aylık ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi parametrelerini kullanarak buharlaşma değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Farklı girdi parametreleri ile kombinasyonları oluşturularak, GEP, ANFIS ve YSA yöntemleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ele alınan tüm yöntemlerin buharlaşma tahmininde kullanılabilir olduğu ve ANFIS yönteminde 6 girdili kombinasyonun, oluşturulan diğer tüm

modellemelerin içinde buharlaşmayı tahmin etmede en başarılı sonucu verdiğini bildirmişlerdir.

Chaudhari ve Chaudhari (2016), çalışmalarında, Hindistan'ın Raigad bölgesi Pali'de tava buharlaşmasını tahmin etmek için Genetik Programlama (GP) ve Model Ağacı (MT) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Bu yöntemler için iki yıllık yedi adet günlük meteorolojik girdi (minimum ve maksimum nem, minimum ve maksimum sıcaklık, rüzgâr hızı, deniz suyu sıcaklığı ve güneşlenme şiddeti) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, her iki yönteminde iki yıllık veriler için buharlaşma tahmin etmede iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Allawi ve El-Shafie (2016), çalışmalarında, Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RTYSA) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemlerini karşılaştırmıştır. Günlük buharlaşmayı tahmin etmek için Malezya'nın güneydoğu kesiminde yer alan Layang rezervuarında 14 yıl boyunca ölçülen sıcaklık, güneşlenme şiddeti ve bağıl nem verileri girdi olarak kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarda, RTYSA ve ANFIS modelleri arasında, RTYSA yönteminin günlük buharlaşma oranının tahmininde daha iyi sonuç verdiği bildirmişlerdir.

Wang ve ark. (2016), çalışmalarında, Çin'in Guangxi eyaletinin Karst bölgesindeki günlük referans buharlaşma tahmini yapmak için Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Baise, Duan, Hechi ve Rongan adlı dört hava istasyonundan beş yıllık süre boyunca (2008-2012), maksimum ve minimum hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresinden oluşan meteorolojik verilerini girdi olarak kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, GEP ve YSA'nın günlük referans buharlaşmasını tahmin etme de başarıyla kullanılabileceğini ayrıca aynı girdi değişkenlerini kullanırken, YSA yönteminin GEP'ten daha üstün olduğunu bildirmişlerdir.

Arunkumar ve ark. (2017), çalışmalarında, günlük tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları (YSA), Model Ağacı (MT) ve Genetik Programlama (GP) gibi yapay zekâ yöntemlerini kullanmışlardır. Buharlaşmanın

tahmin edilmesi için 10 yıla ait günlük maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme süresi, işba (dew point) sıcaklığı değerleri kullanılmıştır. Her bir modelin performansı, ortalama karesel hata (OKH), ortalama mutlak hata (OMH), normalleştirilmiş karesel hata (NKH) ve korelasyon katsayısı (R) parametreleri ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, GP'nin tekli buharlaşmaya ait zaman serisinin modellenmesinde daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Wang ve ark. (2017), çalışmalarında, günlük tava buharlaşma tahmininde Bulanık Genetik (Fuzzy Genetic-FG), En Küçük Kareli Destek Vektör Regresyonu (Least Square Support Vector Regression-LSSVR), Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Düzlemi (Multivariate Adaptive Regression Spline-MARS), M5 Model Ağacı (M5Tree) ve Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemleri kullanılmıştır. Çin'in Dongting Gölü havzasındaki sekiz istasyondan, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı, rüzgâr hızı, bağıl nem ve güneşlenme süresi parametreleri buharlaşmayı tahmin edecek modelin eğitim ve test aşamaları için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, günlük tava buharlaşma değerlerinin hesaplamasında ele alınan tüm yöntemlerin başarıyla kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Wang ve ark. (2017), çalışmalarında aylık tava buharlaşmasını tahmin etmek için, Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı (ÇKYSA), Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağı (GRYSA), Bulanık Genetik (FG), En Küçük Kareler Destek Vektör Makinesi (Least Square Support Vector Machine -LSSVM), Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Düzlemi (MARS), ANFIS, Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) , Stephens Ve Stewart (SS) yöntemlerini kullanmışlardır. Çin'de bulunan sekiz istasyona ait 40 yıllık (1961-2000) hava sıcaklığı, güneşlenme şiddeti, güneşlenme süresi, bağıl nem ve rüzgâr hızı parametreleri kullanılarak tava buharlaşma değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan yöntemlerin başarı sıralaması ise ÇKYSA, GRYSA, LSSVM, FG, ANFIS, MARS ve ÇDR şeklinde belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, tava buharlaşma parametresinin tahimininde ele alınan tüm yöntemlerin başarılı bir şekilde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Gavili ve ark. (2017), çalışmalarında İran'ın batısındaki Kürdistan eyaletinde bulunan beş meteoroloji istasyonuna ait veriler ile buharlaşma tahmini yapmışlardır. Üç farklı hesaplama yönteminin, Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Gen Ekspresyon Programlama (GEP) yöntemi ile buharlaşma tahmini modellemeleri yapıp sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu hesaplama yöntemleri arasında YSA'nın, ANFIS ve GEP' ten daha iyi olduğu bildirilmiştir.

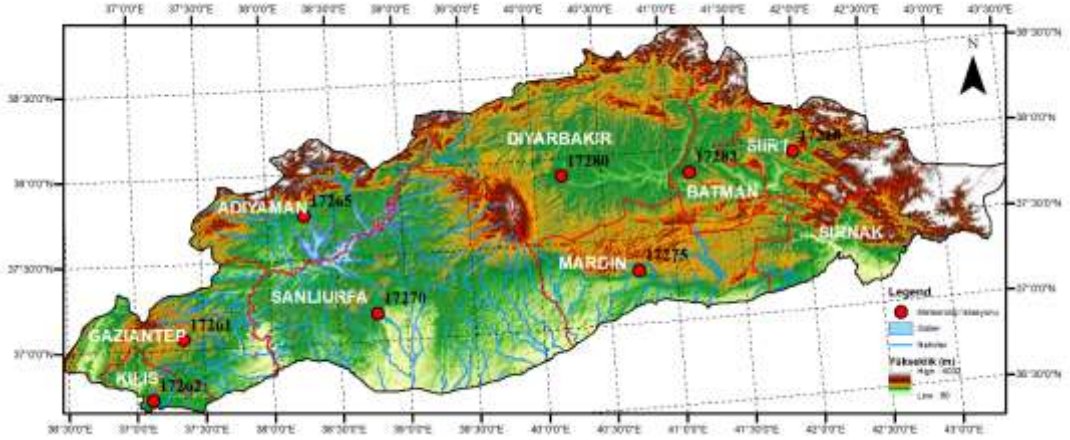
3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1.Materyal

3.1.1.Çalışma alanı

Güney Doğu Anadolu Bölge'si, ülkemizin yüzölçümü bakımından en küçük bölgesidir. Kuzeyde bir yay biçiminde uzanan Güneydoğu Toroslardan, güneyde Suriye ve Irak sınırına kadar uzanan ova ve platolarla kaplıdır. Kısmen Fırat ve Dicle havzalarının içinde yer aldığı bu bölgede önemli su ve toprak kaynakları bulunur. Yaz sıcaklığının ve buharlaşmanın en fazla olduğu bu bölgemizde, Türkiye'nin en büyük barajı olan ve yaklaşık 817 km^2'lik göl alanına sahip Atatürk Barajı bulunmaktadır (DSİ, 2017). Güneydoğu Anadolu Bölge'sini kalkındırma amaçlı 1989 yılında master planı yapılan Güney Doğu Anadolu Projesi (GAP), ülkemizde şimdiye kadar planlanmış en detaylı ve maliyetli projedir. GAP Bölgesinde yapılması düşünülen baraj göllerinin faaliyete geçmesi ile yaklaşık 198473 hektar su yüzey alanı oluşacaktır. Etkileşimli bölgesel kalkınma yaklaşımı ve sürdürülebilir insani gelişme felsefesi ile GAP, dünya çapında adından söz ettirmiş ve marka değeri olan bir projedir. GAP tamamlandığında, oluşacak yüksek tarım ve sanayi potansiyeli ile bölgede ekonomik hasıla yaklaşık 5 kat artacak, toplamda 4 milyon kişiye yakın istihdam olanağı oluşmuş olacaktır. Proje alanı Fırat-Dicle Havzası ile yukarı Mezopotamya ovalarında yer alan 9 ili (Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa, Şırnak) kapsamaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'nin en küçük bölgesi olmasına rağmen su kaynakları ve tarımsal açıdan stratejik bir öneme sahip olan Güney Doğu Anadolu Bölge'si (GAP) illeri ele alınmıştır (Şekil 3.1). GAP bölgesinde bulunan Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt ve Şanlıurfa illerindeki toplam 8 yağış gözlem istasyonu kullanılmıştır. Şırnak istasyonundan yeterli veri temin edilemediği için çalışma kapsamına alınamamıştır.



Şekil 3.1.Çalışma alanı

3.1.2.Veriler

Çizelge 3.1.'de tez kapsamında ele alınan GAP bölgesindeki 8 istasyonun buharlaşmasını tahmin etmede kullanılan meteorolojik değerlerinin istatistiksel parametreleri verilmiştir. Bu istasyonlara ait coğrafik veriler ise Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

İstatiksel parametreler aritmetik ortalaması (X_{ort}), minimum değeri (X_{min}), maksimum değeri (X_{mak}) , standart sapma (S_x) ve çarpıklık katsayısı (C_{sx}) şeklindedir. Kullanılan meteorolojik veriler Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Buna göre Çizelge 3.1. incelendiğinde, 8 ilin arasında en yüksek ortalama sıcaklık ve maksimum sıcaklık değerine sahip Şanlıurfa istasyonu olduğu görülmektedir. Ancak, Mardin istasyonu ortalama buharlaşma değerinin en yüksek olduğu istasyondur. Gaziantep istasyonunda gözlenen değerlere baktığımızda ortalama nisbi nem değerinin, Diyarbakır istasyonunda ise ortalama güneşlenme şiddeti değerinin en yüksek olduğu ölçülmüştür. Bunun yanında maksimum rüzgâr hızı değeri Diyarbakır istasyonunda iken en yüksek ortalama rüzgâr hızı değeri ise Mardin istasyonunda olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.1. Ele alınan istasyonların meteorolojik değerleri için istatistiksel parametreler

İstasyon	Parametre	Birim	X_{ort}	X_{mak}	X_{min}	S_x	C_{sx}
Adıyaman	Sıcaklık	°C	20.7	33.5	3.1	7.88	-0.258
	Rüzgâr Hızı	m/s	2.1	4	0.7	0.56	0.515
	Nispi Nem	%	44.9	80.6	13.8	15.19	0.319
	Aktüel Basınç	hPa	934.6	944	920.5	4.34	-0.041
	Açık Günler Sayısı		17.9	31	2	8.59	-0.021
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	366.5	637.5	94.2	124.31	-0.374
	Buharlaşma (PE)	mm	164.1	467.2	1.4	99.95	0.280
Batman	Sıcaklık	°C	22.3	33.3	5.7	7.03	-0.309
	Rüzgâr Hızı	m/s	1.7	3.0	0.3	0.54	-0.054
	Nispi Nem	%	49.8	82.5	22.5	13.73	0.167
	Aktüel Basınç	hPa	944.7	955.2	933.1	5.02	-0.055
	Açık Günler Sayısı		19.9	31.0	1.0	8.28	-0.359
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	382.1	674.4	98.4	121.00	-0.173
	Buharlaşma (PE)	mm	205.4	533.3	1.0	114.09	0.502
Diyarbakır	Sıcaklık	°C	21.2	33.3	3.3	7.57	-0.282
	Rüzgâr Hızı	m/s	2.6	5.2	0.9	0.73	0.328
	Nispi Nem	%	46.1	83.2	15.1	17.13	0.227
	Aktüel Basınç	hPa	934.0	943.8	925.2	4.57	0.124
	Açık Günler Sayısı		18.0	31.0	1.0	8.68	-0.161
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	469.8	730.6	114.2	146.59	-0.471
	Buharlaşma (PE)	mm	226.6	625.8	0.9	133.70	0.256
Gaziantep	Sıcaklık	°C	20.2	31.5	2.4	6.66	-0.475
	Rüzgâr Hızı	m/s	1.6	4.2	0.4	0.78	0.974
	Nispi Nem	%	55.7	86.8	27.8	11.76	0.109
	Aktüel Basınç	hPa	914.8	923.3	907.7	3.57	0.249
	Açık Günler Sayısı		20.4	31	1	8.46	-0.442
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	414.3	779.5	109.8	124.47	-0.387
	Buharlaşma (PE)	mm	176.5	378	0	92.46	-0.083
Kilis	Sıcaklık	°C	22.6	31.3	5.2	5.30	-0.640
	Rüzgâr Hızı	m/s	2.6	5.0	0.6	0.86	0.429
	Nispi Nem	%	48.7	68.1	30.8	7.58	0.076
	Aktüel Basınç	hPa	937.8	948.0	931.9	3.43	0.300
	Açık Günler Sayısı		20.9	31.0	1.0	8.58	-0.513
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	495.5	702.2	171.0	118.29	-0.582
	Buharlaşma (PE)	mm	198.4	413.2	0.8	87.98	0.013
Mardin	Sıcaklık	°C	22.9	33.3	1.8	6.19	-0.517
	Rüzgâr Hızı	m/s	3.7	5.0	1.8	0.50	-0.040
	Nispi Nem	%	37.7	77.5	12.5	12.71	0.529
	Aktüel Basınç	hPa	894.4	903.9	874.6	4.28	-0.857
	Açık Günler Sayısı		20.8	31.0	1.0	8.14	-0.529
	Buharlaşma (PE)	mm	325.3	833.7	6.6	153.14	0.386
Siirt	Sıcaklık	°C	20.6	33.5	1.0	8.08	-0.343
	Rüzgâr Hızı	m/s	1.5	2.7	0.3	0.52	0.081
	Nispi Nem	%	44.8	79.4	13.6	15.94	0.278
	Aktüel Basınç	hPa	911.1	921.2	902.0	4.39	0.065
	Açık Günler Sayısı		18.9	31.0	1	8.21	-0.240
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	412.7	684.0	102.6	144.76	-0.412
	Buharlaşma (PE)	mm	203.6	515.2	0.8	127.85	0.183
Şanlıurfa	Sıcaklık	°C	24.1	34.8	5.8	6.83	-0.507
	Rüzgâr Hızı	m/s	1.8	3.6	0.5	0.64	0.464
	Nispi Nem	%	45.6	76.3	20.9	11.99	0.406
	Aktüel Basınç	hPa	946.5	956.8	938.5	4.40	0.135
	Açık Günler Sayısı		21.5	31.0	4.0	7.92	-0.402
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	468.6	696.0	131.3	129.35	-0.568
	Buharlaşma (PE)	mm	186.8	417.8	6.0	91.03	0.041

Çizelge 3.2. İstasyonlara ait coğrafik veriler

İstasyon No	İstasyon Adı	Bulunduğu İl	Koordinat Enlem (K)	Koordinat Boylam (D)	Yükseklik (m)
17265	**Adıyaman**	**Adıyaman**	37,7553	38,2775	672
17282	**Batman**	**Batman**	37,8636	41,1562	610
17280	**Diyarbakır**	**Diyarbakır**	37,8973	40,2027	674
17261	**Gaziantep**	**Gaziantep**	37,0585	37,3510	854
17262	**Kilis**	**Kilis**	36,7085	37,1123	640
17275	**Mardin**	**Mardin**	37,3103	40,7284	1040
17210	**Siirt**	**Siirt**	37,9319	41,9354	895
17270	**Şanlıurfa**	**Şanlıurfa**	37,1608	38,7863	550

3.2.Yöntem

3.2.1. Çoklu doğrusal regresyon

Çoklu doğrusal regresyon (ÇDR), veri setinde bulunan bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenin değerinin tahmin edilmesi ve hangi bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkilediğini belirlemek amacıyla kullanılan klasik bir yöntemdir.

Çoklu regresyonda, bağımlı değişken y, bağımsız değişkenler x_1, x_2,..,x_p olarak ifade edilir. Buna göre;

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + ... + b_jx_j + ... + b_px_p + e \qquad (3.1)$$

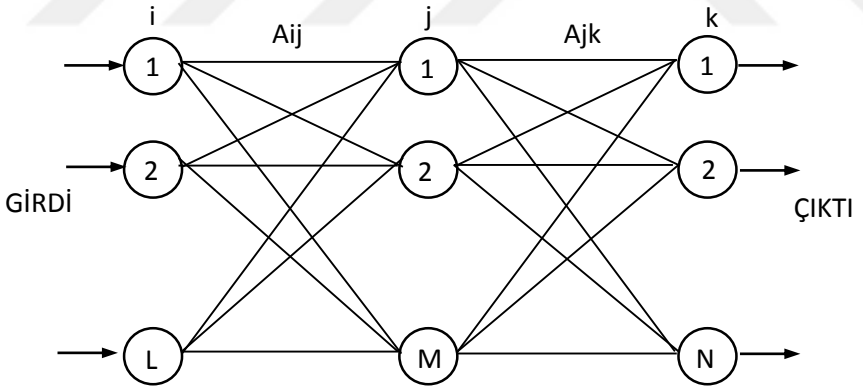
olarak yazılabilir.

Burada regresyon katsayıları $b_0, b_1, b_2, ..., b_j, ..., b_p$ olarak ifade edilmiştir. Herhangi bir b_j katsayısı, diğer değişkenlerin etkisi ortadan kaldırıldığında, yani diğer değişkenler sabit tutulduğunda, x_j değişkeninde ortaya çıkan bir birimlik değişime karşılık *y* değişkenindeki beklenen değişiklik miktarını verir. Bu nedenle, b_j (*j*=1, 2, …, *p*) parametreleri kısmi regresyon katsayıları olarak adlandırılmaktadır. Denklem(3.1) içerisinde ifade edilen b_0 kesim noktası e ise hata terimini temsil etmektedir (Partal, 2003).

3.2.2. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları (YSA), nöronların biyolojik modellerinden esinlenilerek geliştirilmiş paralel bilgi işleme yapılarıdır. YSA metotları içerisinde en çok kullanılanı, hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışanıdır. (Lippman, 1987).

Üç katmanlı bir yapay sinir ağı modeli Şekil 3.2.'de verilmiştir Burada görülen yapay sinir ağı modeli, her katmanda nöronların bulunduğu, girdi katmanı (i), gizli katman (j) ve çıktı katmanı (k) ile yapılandırılmıştır. Hücre katmanları arasındaki bağlantı ağırlıkları ise A_{ij} ve A_{jk} olarak ifade edilmiştir. Bağlantı ağırlık değerleri başlangıçta rastgele atanır ve eğitme sürecinde elde edilen çıktılarla gözlenen veya ölçülen gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak sürekli değiştirilir ve hataları en aza indirgeyecek bağlantı ağırlık değerlerine yakınsayana kadar hatalar geriye doğru yayılır. Bu tez çalışmasında ağırlıkların ayarlanması için Levenberg-Marquardt yöntemi kullanılmıştır (Marquardt, 1963).



Şekil 3.2. Üç tabakalı bir yapay sinir ağı

3.2.3. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS)

Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System-ANFIS) , yapay sinir ağları ile bulanık mantık sistemlerini kombine ederek Jang (1993) tarafından geliştirilmiştir. Temelde ANFIS, yapay sinir ağları ile öğrenme yapan ve Sugeno tipi bulanık sistemlerin bir ağ modeli olarak ortaya çıkar. Giriş ve çıkış verileri arasındaki ilişkiyi elde etmek ve üyelik fonksiyonunu

(Membership function) belirlemek amacıyla eğitim sürecinde yapay sinir ağlarının öğrenme algoritmaları kullanılır (Wu ve ark., 2009). Üyelik fonksiyonu, giriş alanında herhangi bir noktanın 0 ile 1 arasındaki üyelik derecesi ile eşleşmesini tanımlayan bir eğridir. Bu çalışmada, Gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. ANFIS hakkında daha fazla bilgi Jang (1993)'de bulunabilir.

3.2.4. Gen ekspresyon programlama (Gene-expression programing-GEP)

Gen ekspresyon programlama (GEP), genetik bireylerin nüfusunu kullanarak onları uygunluklarına göre seçen ve bir veya daha fazla genetik operatör ile genetik varyasyonu tanıtan genetik algoritma ve genetik programlamaya benzer bir yöntemdir. Genetik algoritmada, girdiler doğrusal ve sabit uzunluktadır, ancak genetik programlamada girdiler farklı uzunluk ve şekillerde olup doğrusal değildir. GEP yönteminde ise girdiler başlangıçta sabit uzunlukta değerlendirilir, daha sonra boyut ve şekilleri doğrusal olmayacak şekilde tanımlanır (Ferreira, 2001). GEP yönteminin uygulamadaki avantajı açık bir yapıya sahip olmasıdır. Bunun yanında GEP modelinin diğer veri odaklı yöntemlere (YSA, ANFIS) göre en güçlü yanı ise fiziksel ilişkiler arasında açık formüller üretebilmesidir (Kişi ve ark., 2012). GEP yönteminde ilk olarak tahmin için, en iyileme yapılacak uygunluk fonksiyonunun seçilmesi gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonu için bağıl hata, mutlak hata veya belirlilik katsayısı seçilebilir.

Tez çalışması kapsamında GEP yönteminde tahmin modeli tasarlanırken uygunluk fonksiyonu olarak karekök ortalama karesel hata parametresi seçilmiştir. Tava buharlaşma değerini tahmin etmek için üç alt fonksiyon kullanılmıştır. Yöntem ile elde edilen her bir alt fonksiyonun toplanması ile buharlaşma tahmini için kullanılacak fonksiyon elde edilmiş olur. (Denklem 3.2)

$$PE = SubET_1 + SubET_2 + SubET_3 \quad (3.2)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışma kapsamında, GAP bölgesinde bulunan 17265 numaralı Adıyaman, 17282 numaralı Batman, 17280 numaralı Diyarbakır, 17261 numaralı Gaziantep, 17262 numaralı Kilis, 17275 numaralı Mardin, 17210 numaralı Siirt ve 17270 numaralı Şanlıurfa istasyonlarına ait aylık tava buharlaşma değerleri ÇDR, YSA, ANFIS ve GEP yöntemleri ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin çalışması için Çizelge 4.1.'de verilen toplam 3 farklı girdi kombinasyonu kullanılmıştır. DM01 kombinasyonu için girdi parametresi olarak aylık ortalama sıcaklık (T) ve aylık ortalama rüzgâr hızı (W), DM02 için aylık ortalama sıcaklık (T), aylık ortalama rüzgâr hızı (W), aylık ortalama nisbi nem (H) ve aylık ortalama basınç (P) değerleri kullanılmıştır. DM03 için aylık ortalama sıcaklık (T), aylık ortalama rüzgâr hızı (W), aylık ortalama nisbi nem (H), aylık ortalama aktüel basınç (P), aylık toplam açık gün sayısı (OD) ve günlük toplam global güneşlenme şiddeti aylık ortalaması (SR) değerleri kullanılmıştır. Ancak 17275 numaralı Mardin istasyonunda SR değerleri temin edilemediğinden bu istasyonda DM03 kombinasyonunda SR değerleri kullanılamamıştır. Ayrıca tez çalışmasına konu olan istasyonlara ait aylık ortalama buharlaşmayı tahmin etmek amacıyla kullanılan modellerin başarısını belirlemek maksadıyla sayısal kriter olarak belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) hesaplanmıştır. OKH ve OMH değerlerinin 0'a, R^2 değerinin ise 1'e yakın olması tahmin edilen değerin, ölçülen değere yakın olduğunu göstermektedir. Burada kullanılan R^2, OKH ve OMH değerlerinin hesaplanması Denklem 4.1, Denklem 4.2 ve Denklem 4.3'te verilmiştir.

$$R^2 = \frac{\sum_{n=1}^{N}(PE_{hesap} - PE_{ortalama})^2 - \sum_{n=1}^{N}(PE_{hesap} - PE_{tah\min})^2}{\sum_{n=1}^{N}(PE_{hesap} - PE_{ortalama})^2} \quad (4.1)$$

$$OKH = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(PE_{hesap} - PE_{tah\min})^2 \quad (4.2)$$

$$OMH = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left|PE_{hesap} - PE_{tah\min}\right| \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanırlar. Burada N, toplam veri sayısını PE_{hesap}, hesaplanan tava buharlaşma değerini, $PE_{ortalama}$ hesaplanan tava buharlaşma değerlerinin ortalaması, PE_{tahmin} ise model sonucunda elde edilen tava buharlaşma değerini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında analizler YSA, ÇDR ve ANFIS için Matlab programında hazırlanan kodlar ile yapılmış, GEP yöntemi ise Genexprotools yazılımı ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen değerlerin negatif değer olması durumu için hazırlanan kodlarda bu değerlerin 0 olarak alınması programlanmıştır.

Çizelge 4.1. Tahmin çalışması için kombinasyonlar ve girdi parametreleri

Kombinasyon Adı	Girdi Parametreleri
DM01	T, W
DM02	T, W, H, P
DM03	T, W, H, P, OD, SR

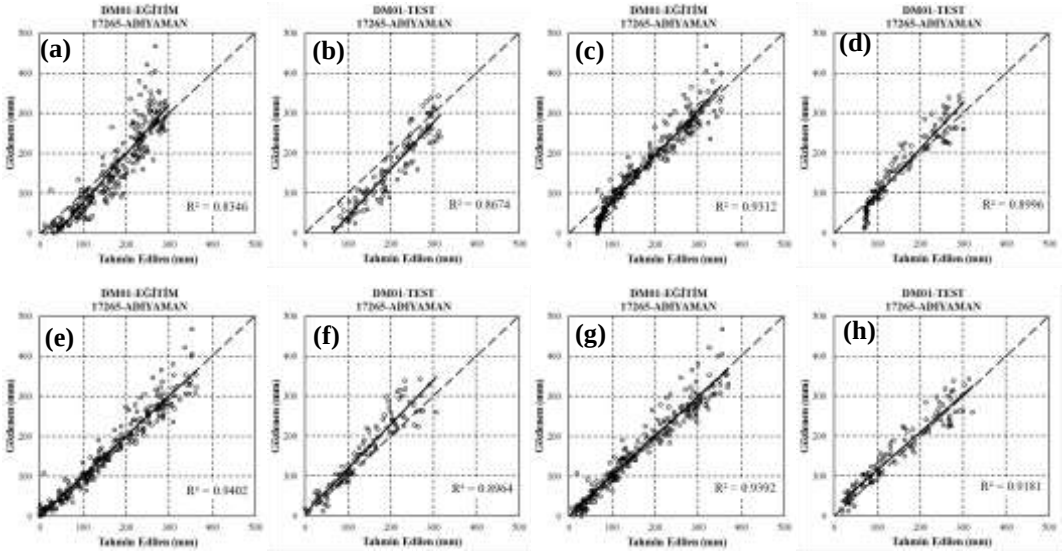
4.1. Adıyaman İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Adıyaman istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modellere göre Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Burada karşılaştırma kriteri olarak verilen R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem GEP olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.939, test sürecinde ise 0.918 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonunda ise test sürecinde 0.923 ile en yüksek R^2 değerini GEP yöntemi vermiş olsa da diğer karşılaştırma parametreleri olan OKH ve OMH değerleri bakımından en uygun değerleri ÇDR yönteminin verdiği, ayrıca test sürecinde ÇDR yöntemi ile elde edilen R^2 değerinin de 0.922 olduğu görülmüştür. Bu nedenle DM02 için en iyi yöntem ÇDR olarak belirlenmiştir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0.927 R^2, 899.87 OKH ve 23.74 OMH değerleri ile en başarılı yöntemin ÇDR olduğu görülmüştür. Özellikle DM02 ve DM03 kombinasyonlarının OKH ve OMH değerleri bakımından yeni eklenen açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerlerinin sonuçları iyileştirmek yerine az da olsa arttırdığı görülmüştür. DM02'de 778.54 olan OKH değeri DM03'de 899.87 değerine çıkmıştır.

Çizelge 4.2. Adıyaman istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

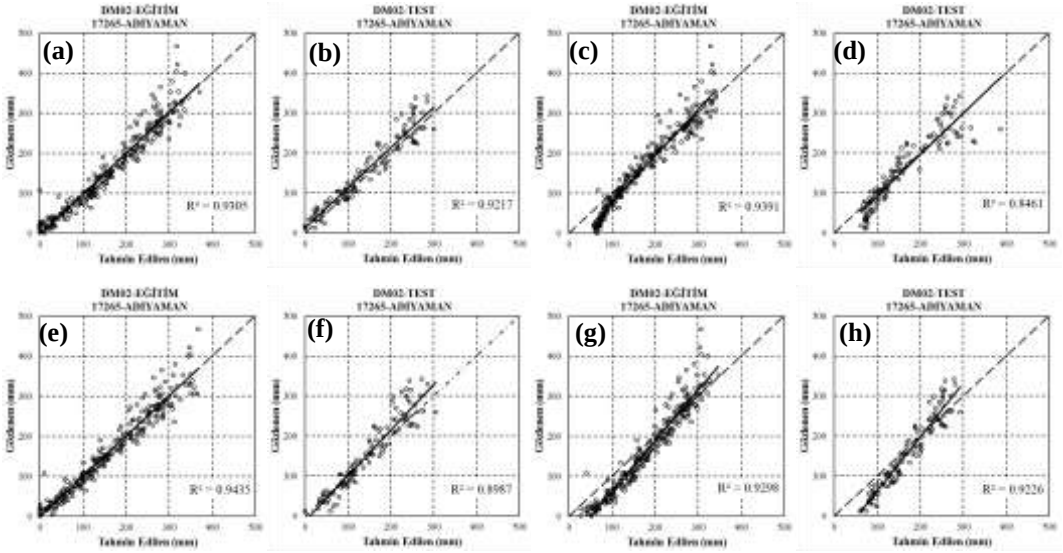
		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
ÇDR	Eğitim	0.835	2150.05	35.35	0.930	756.33	19.35	0.931	751.27	19.08
	Test	0.867	2856.15	46.94	0.922	**778.54**	**22.24**	**0.927**	**899.87**	**23.74**
YSA	Eğitim	0.931	1016.76	24.72	0.939	968.99	23.83	0.940	974.28	23.38
	Test	0.900	937.60	24.53	0.846	1252.35	27.87	0.873	1184.75	29.46
ANFIS	Eğitim	0.940	646.53	17.83	0.943	610.96	17.38	0.946	579.27	16.45
	Test	0.896	1386.33	27.61	0.899	976.22	22.36	0.899	958.65	23.78
GEP	Eğitim	0.939	660.98	17.82	0.930	1419.20	30.90	0.937	686.18	18.23
	Test	**0.918**	**823.48**	**23.28**	**0.923**	1273.25	30.58	0.910	1159.12	24.24

Adıyaman istasyonu için kullanılan yöntemlerle elde edilen buharlaşma değerleri ile ölçülmüş buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri, üç farklı kombinasyon için Şekil 4.1., 4.2. ve 4.3.'te verilmiştir. Şekil 4.1.'de DM01 için saçılım grafikleri incelendiğinde sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile buharlaşma tahmin etmek için kurulan modellerde YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinin eğitim sürecinde başarılı sonuçlar verdiği, ancak ÇDR yönteminin ele alınan diğer yöntemlere nazaran daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde ÇDR ve YSA yöntemleri ile yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde yaklaşık 400 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise ÇDR ve YSA yöntemlerinin eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM01 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde ÇDR yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin, ölçülmüş değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. DM01 için eğitim sürecinde başarılı sonuçlar veren ANFIS yöntemi test sürecinde ise başarılı olmamıştır. Adıyaman istasyonuna ait DM01 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



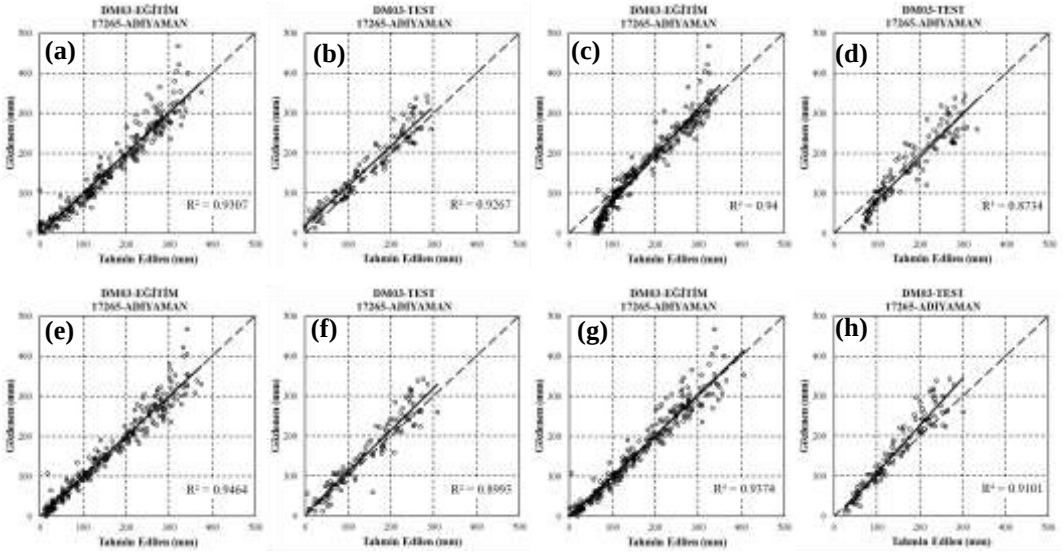
Şekil 4.1. DM01 için Adıyaman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun saçılım grafikleri Şekil 4.2.'de verilmiştir. Burada DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA ve GEP yöntemleri ile yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 400 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM02 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde en iyi R^2 değerine sahip GEP yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde, 200 mm altındaki değerlerin ölçülmüş değerlerinden daha büyük, 200 mm üstündeki değerlerin ise ölçülmüş değerlerden daha küçük olacak şekilde tahmin edildiği görülmektedir. Bu sonuç Çizelge 4.2.'de verilmiş olan OKH ve OMH değerleri ile de örtüşmektedir. Adıyaman istasyonuna ait DM02 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ÇDR yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.2. DM02 için Adıyaman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

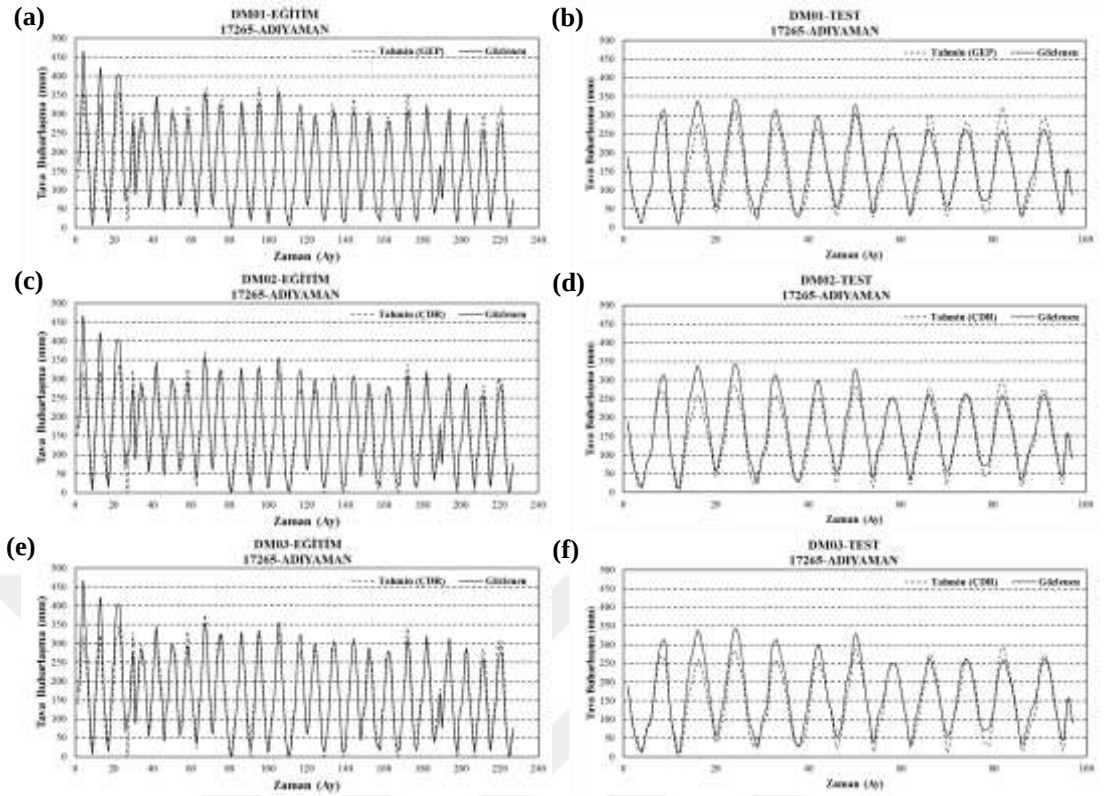
Tez kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 4.3.'te verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonları ile benzer bir şekilde YSA yönteminin yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 400 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM03 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Adıyaman istasyonuna ait DM03 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ÇDR yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.3. DM03 için Adıyaman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için GEP yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda ÇDR yöntemi daha başarılı olmuştur, özellikle YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinde eklenen bu iki parametre buharlaşmayı tahmin etmede pek olumlu sonuçlar ortaya koymamıştır. Buharlaşmanın ana etken parametrelerinden biri olan güneşlenme şiddetinin ve açık gün sayılarında eklemesi ile oluşturulan DM03 modelinde de DM02'ye benzer olarak ÇDR yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu görülmüştür.

Şekil 4.4.'te Adıyaman istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01 için GEP, DM02 ve DM03 için ise ÇDR ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 400 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca DM02 ve DM03'ün 50-250 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Adıyaman istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı (a)DM01-GEP-Eğitim, b)DM01-GEP-Test, c)DM02-ÇDR-Eğitim, d)DM02-ÇDR-Test, e)DM03-ÇDR-Eğitim, f)DM03-ÇDR-Test)

4.1.1. Adıyaman istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları

Adıyaman istasyonunda tava buharlaşma değerinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı girdi kombinasyonu için ÇDR yöntemi ile kurulan modelin katsayıları Çizelge 4.3.'te yer almaktadır. Ayrıca bu yöntemle tava buharlaşmasının tahmini için elde edilen formüller Denklem 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Adıyaman istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar

Kombinasyon	T	W	H	P	OD	SR
DM01	10.013	-12.280				
DM02	9.785	55.925	-0.195	-0.162		
DM03	9.557	59.768	0.131	-0.194	1.017	-0.020

$$PE = 10.013T - 12.280W \quad (4.4)$$

$$PE = 9.785T + 55.925W - 0.195H - 0.162P \quad (4.5)$$

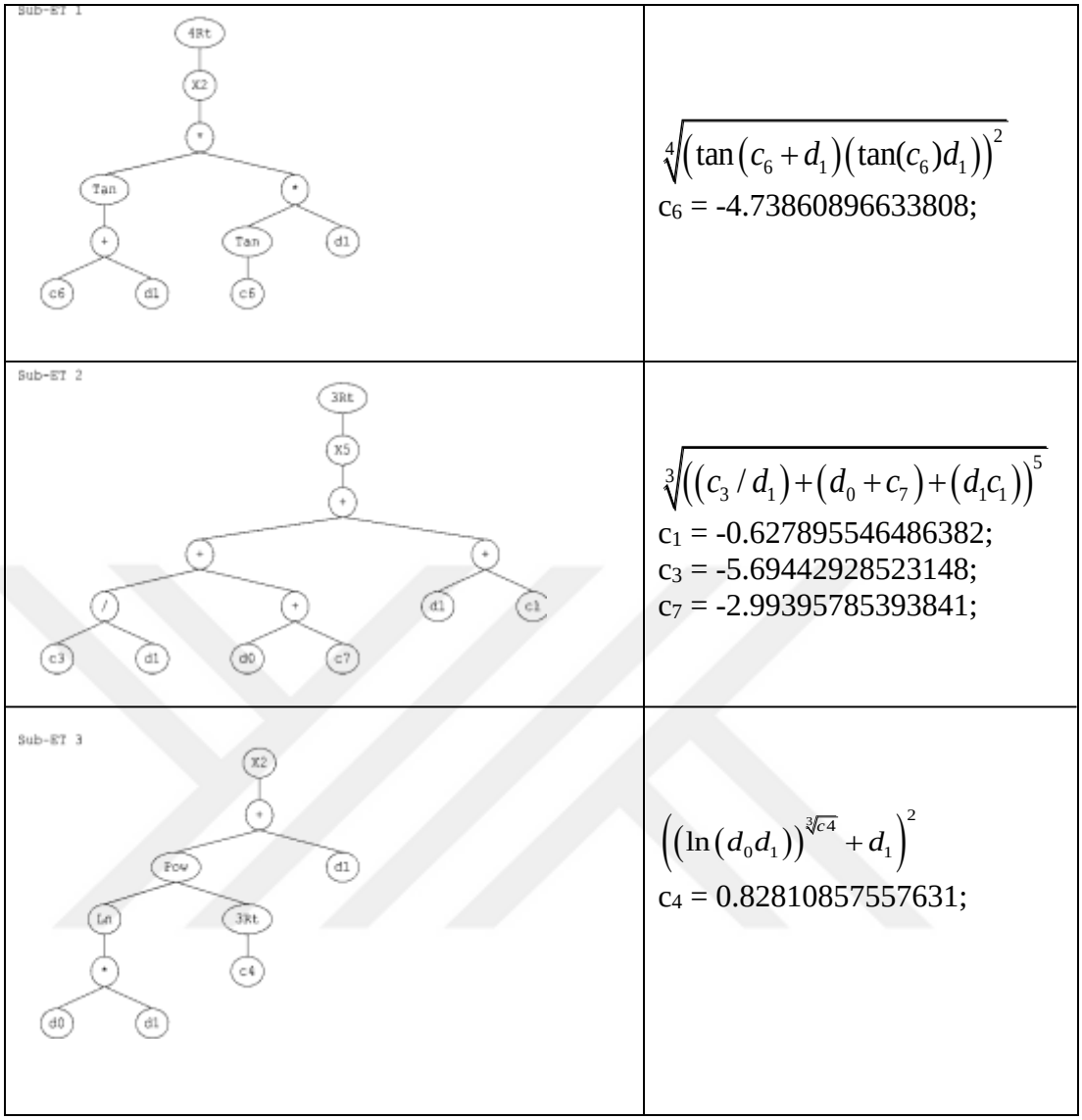
$$PE = 9.557T + 59.768W + 0.131H - 0.194P + 1.017OD - 0.020SR \quad (4.6)$$

4.1.2. Adıyaman istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları

Şekil 4.5., 4.6. ve 4.7.'de GEP yöntemi ile elde edilen açık formüllerin ifade ağaçları ve her model için formüller verilmiştir. Burada kullanılan kısaltmalar Çizelge 4.4.'de görülmektedir.

Çizelge 4.4. GEP yönteminde kullanılan kısaltmalar

Simge	Kısaltma	Açıklama
d0	T	Aylık Ortalama Sıcaklık (ºC)
d1	W	Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
d2	H	Aylık Ortalama Nispi Nem (%)
d3	P	Aylık Ortalama Aktüel Basınç (hPa)
d4	OD	Aylık Açık Günler Sayısı
d5	SR	Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti Aylık Ortalaması (cal/cm²)



$$\sqrt[4]{\left(\tan\left(c_6 + d_1\right)\left(\tan(c_6)d_1\right)\right)^2}$$

c_6 = -4.73860896633808;

$$\sqrt[3]{\left(\left(c_3 / d_1\right)+\left(d_0 + c_7\right)+\left(d_1 c_1\right)\right)^5}$$

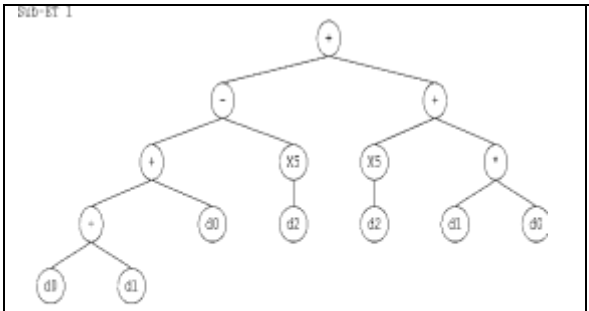
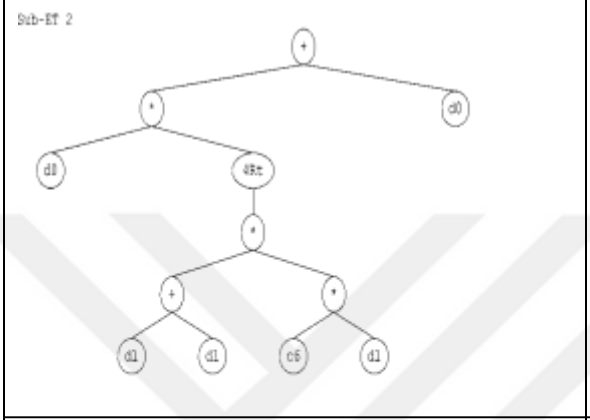
c_1 = -0.627895546486382;
c_3 = -5.69442928523148;
c_7 = -2.99395785393841;

$$\left(\left(\ln\left(d_0 d_1\right)\right)^{\sqrt[3]{c4}} + d_1\right)^2$$

c_4 = 0.82810857557631;

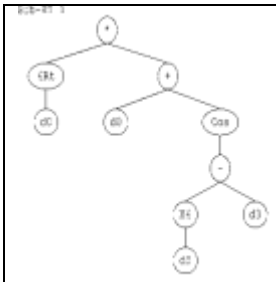
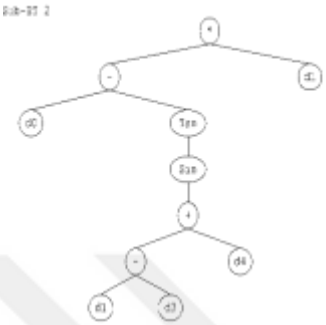
Şekil 4.5. Adıyaman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.5. incelendiğinde, Adıyaman ili için DM01 modeli için sıcaklığı temsil eden d0 değeri, üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 2 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun tamamında toplam 6 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM01 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde rüzgâr hızının, tava buharlaşmasının hesaplanmasında, sıcaklığa nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.

	$\left(\left((d_0+d_1)+d_0\right)-\left(d_2\right)^5\right)+\left(\left(d_2\right)^5+(d_0 d_1)\right)$
	$\left(d_0\sqrt[4]{\left(d_1+d_1\right)c_6 d_1}\right)+d_0$ c_6 = 3.34147160252693;
	d_0

Şekil 4.6. Adıyaman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.6.'da Adıyaman ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin yanında, nisbi nem ile basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun tamamında toplam 6 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 5 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan sadece birinde 2 defa kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri ise hiçbir alt fonksiyonda kullanılmamıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın tava buharlaşmasının hesaplanmasında rüzgâr hızına, neme ve basınca nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında rüzgâr hızının azımsanmayacak bir öneme sahip olduğu görülmektedir.

	$\sqrt[4]{d_0}\left(d_0+\cos\left(\left(d_5\right)^4-d_3\right)\right)$
	$\left(d_0+\tan\left(\sin\left(d_1+d_3+d_4\right)\right)\right)d_0$
	$\left(\left(\left(d_0-c_7\right)+d_0\right)d_1\right)+\left(\left(d_2/c_5\right)+\left(c_0-c_6\right)\right)$ c_0 = 6.85293954283273; c_5 = -3.16067399702017; c_6 = -6.02074649756424; c_7 = 9.68004699850459;

Şekil 4.7. Adıyaman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Adıyaman ili DM03 modeline ait ifade ağacı ve formülü Şekil 4.7.'de verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun tamamında toplam 5 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 3 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan sadece birinde 1 sefer kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri alt fonksiyonlardan ikisinde toplamda 2 sefer kullanılmıştır. Açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri ve güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri üç alt fonksiyonun birinde sadece 1'er sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modele göre benzer bir sonuç ortaya çıkarak

tava buharlaşma değerinin hesaplanmasında genelde sıcaklığın birinci etken, rüzgâr hızının ise ikinci ana etken olduğu görülmektedir.

Adıyaman ili için GEP yöntemi ile DM01, DM02 ve DM03 ile elde edilen formüllerin açık ve sadeleştirilmiş halleri sırasıyla Denklem 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

$$PE = 6.13W^{1/2}\tan(-4.738+W)^{1/2} + (T - 5.694W^{-1} - 0.628W - 2.994)^{5/3} + \left(\ln(TW)^{-0.939} + W\right)^2 \quad (4.7)$$

$$PE = T^2 + TW(2 + 1.608T^{1/4}W^{-3/4}) + 2T \quad (4.8)$$

$$PE = T^{5/4} + T^{1/4}\cos\left(SR^4 - P\right) + WT + W\tan\left(\sin\left(W + P + OD\right)\right) + 2TW - 9.68W - 0.316H + 12.874 \quad (4.9)$$

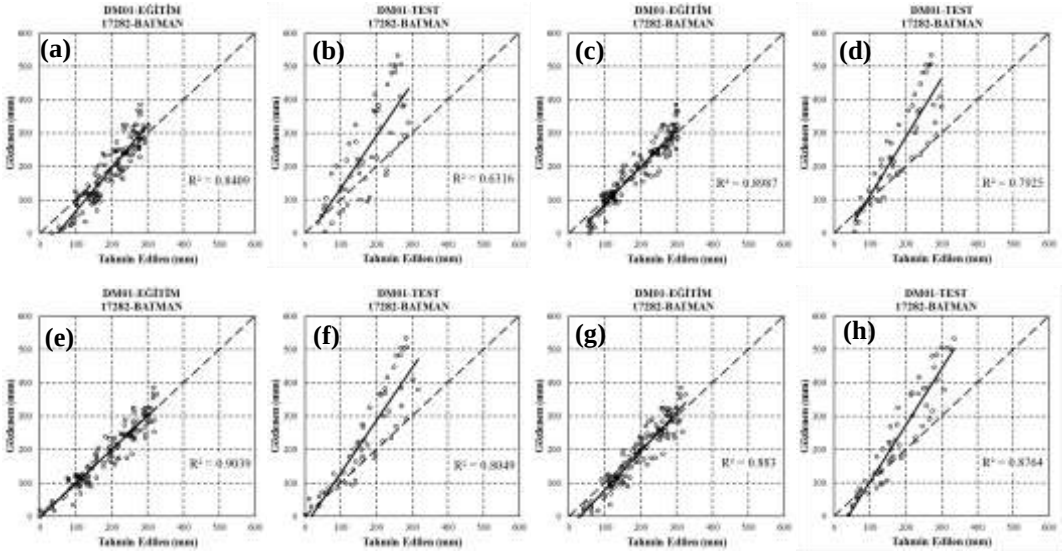
4.2. Batman İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Batman istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modellere göre Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Burada karşılaştırma kriteri olarak R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem GEP olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.883, test sürecinde ise 0.876 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonunda ise test sürecinde karşılaştırma parametrelerinden olan OKH ve OMH değerleri bakımından en uygun değerleri ÇDR yöntemi vermiş olsa da, 0.914 ile en yüksek R^2 değerini GEP yöntemi vermiştir. ÇDR ve GEP yöntemi arasında OKH ve OMH değerleri bakımından çok büyük bir fark olmadığından DM02 için en iyi yöntem GEP olarak belirlenmiştir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0.907 R^2, 9309.12 OKH ve 73.40 OMH değerleri ile en başarılı yöntemin GEP olduğu görülmüştür. Özellikle DM02 ve DM03 kombinasyonlarının OKH değeri bakımından yeni eklenen açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerlerinin sonuçları az da olsa iyileştirdiği görülmüştür. DM01'de 10902.24 olan OKH değeri DM03'de 9309.12 değerine inmiştir.

Çizelge 4.5. Batman istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

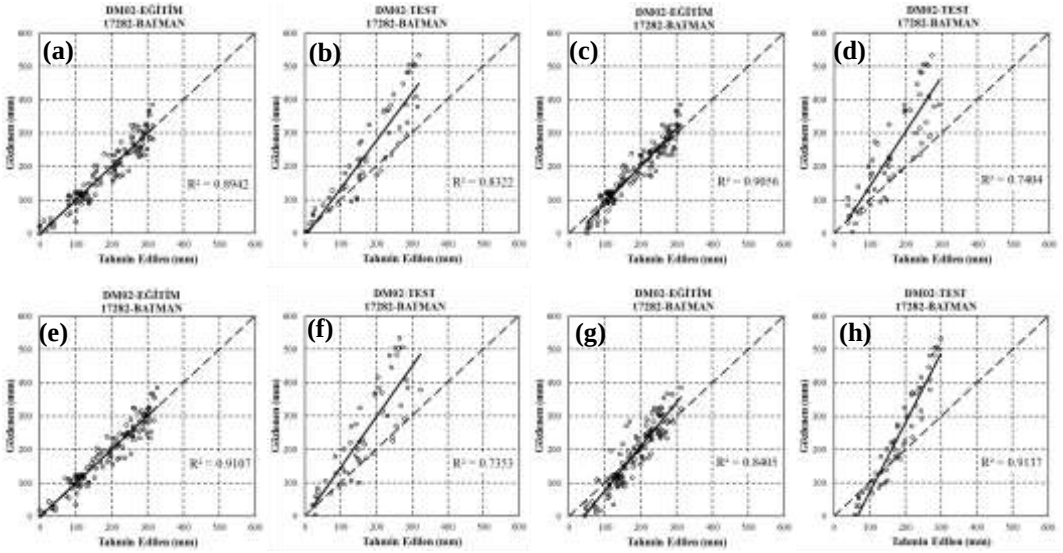
		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
ÇDR	Eğitim	0.841	1751.65	33.96	0.894	895.54	24.20	0.921	673.51	20.42
	Test	0.632	15034.05	94.01	0.832	9564.70	73.65	0.726	10745.67	75.56
YSA	Eğitim	0.899	948.17	24.10	0.906	890.62	24.02	0.903	873.46	23.72
	Test	0.793	12311.88	78.99	0.740	14552.03	91.29	0.486	10966.97	72.49
ANFIS	Eğitim	0.904	814.27	22.06	0.911	756.08	21.15	0.955	381.44	15.34
	Test	0.805	11489.07	76.98	0.735	13689.53	85.93	0.517	16288.98	86.22
GEP	Eğitim	0.883	1169.49	27.90	0.841	1786.35	33.96	0.882	1673.86	33.97
	Test	**0.876**	**9431.67**	**71.71**	**0.914**	**10902.24**	**77.50**	**0.907**	**9309.12**	**73.40**

Batman istasyonu için kullanılan yöntemlerle elde edilen buharlaşma değerleri ile ölçülmüş buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri üç farklı kombinasyon için Şekil 4.8., 4.9. ve 4.10.'da verilmiştir. Şekil 4.8.'de DM01 için saçılım grafikleri incelendiğinde sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile buharlaşma tahmin etmek için kurulan modellerde YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinin eğitim sürecinde başarılı sonuçlar verdiği, ancak ÇDR yönteminin ele alınan diğer yöntemlere nazaran daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde ÇDR, YSA ve GEP yöntemleri ile yaklaşık 50 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise ÇDR, YSA ve GEP yöntemlerinin eğitim sürecinin aksine bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede eğitim sürecine göre daha başarılı olduğu, DM01 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde tüm yöntemler ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin, genelde ölçülmüş değerlerden daha küçük olduğu görülmektedir. DM01 için eğitim sürecinde başarılı sonuçlar veren YSA ve ANFIS yöntemleri, test sürecinde ise başarısız olmuş ve 100 mm üzerindeki ölçülmüş değerleri daha küçük olacak şekilde tahmin etmiştir. Batman istasyonuna ait DM01 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



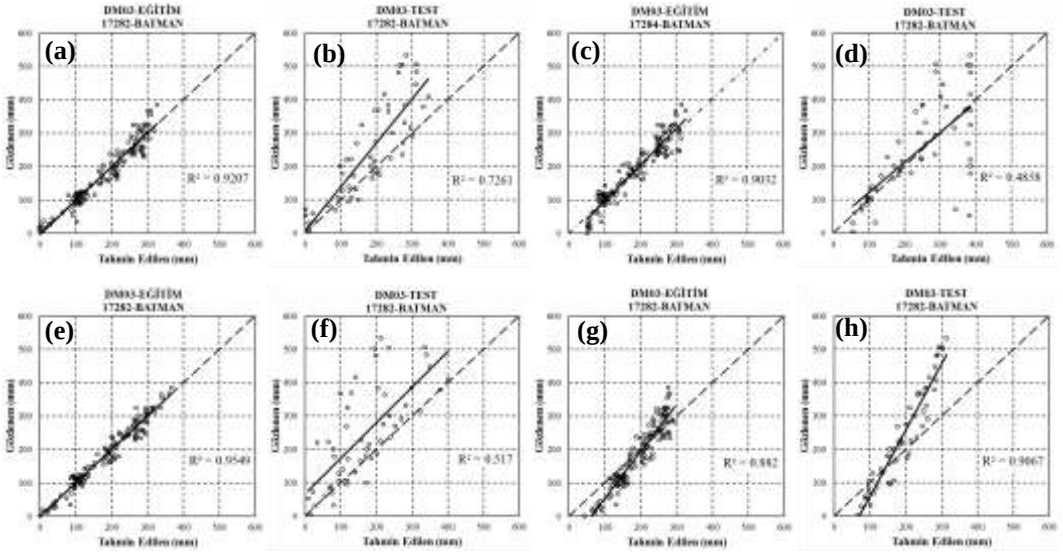
Şekil 4.8. DM01 için Batman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun saçılım grafikleri Şekil 4.9.'da verilmiştir. Burada DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan ele alınan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde ÇDR ve YSA yöntemleri ile yaklaşık 50 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise ÇDR, YSA ve ANFIS yöntemlerinin eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 50 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu Şekil 4.8.'den anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde en iyi R^2 değerine sahip GEP yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde, 100 mm altındaki değerlerin ölçülmüş değerlerinden daha büyük, 100 mm üstündeki değerlerin ise ölçülmüş değerlerden daha küçük olacak şekilde tahmin edildiği görülmektedir. Bu sonuç Çizelge 4.5.'de verilmiş olan OKH ve OMH değerleri ile de örtüşmektedir. Batman istasyonuna ait DM02 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.9. DM02 için Batman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

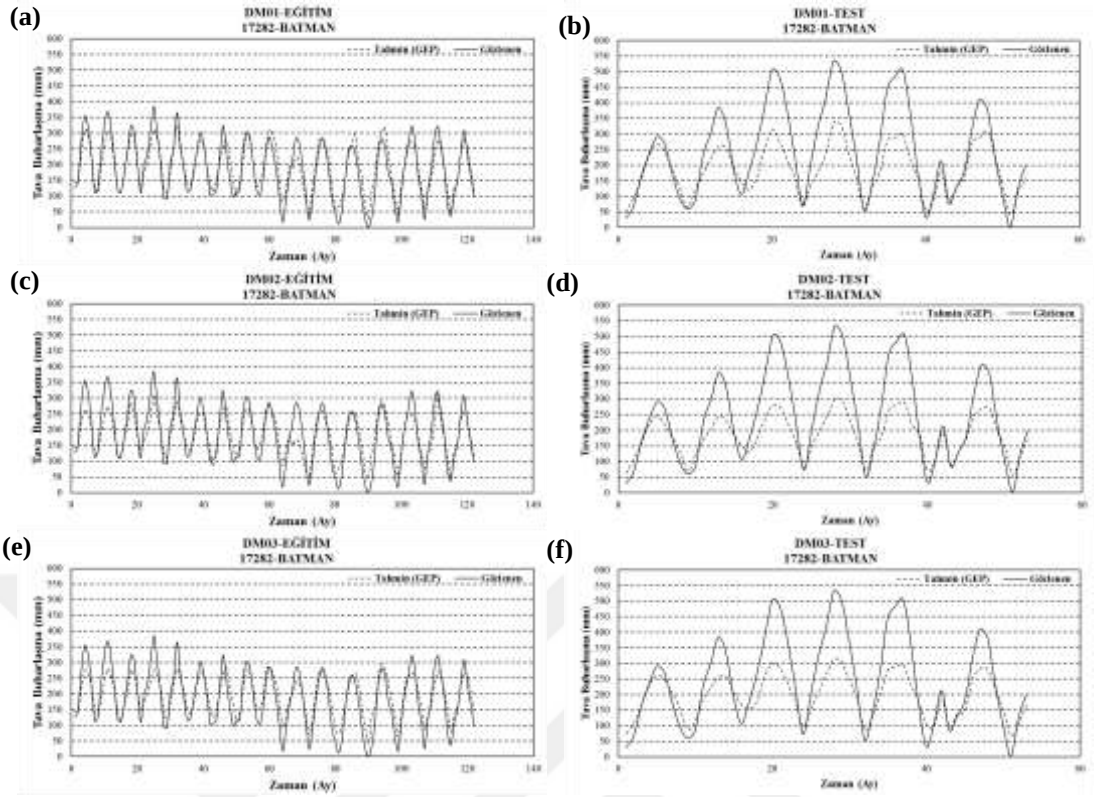
Tez kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonları ile benzer bir şekilde YSA ve GEP yöntemlerinin yaklaşık 50 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise tüm yöntemlerin yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, ANFIS ve ÇDR yöntemleri ile tahmin edilen çoğu değerlerin, ölçülmüş değerlerden daha küçük olduğu bunların yanında YSA yöntemiyle tahmin edilen bazı değerlerin sardığı görülmektedir. Batman istasyonuna ait DM03 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.10. DM03 için Batman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için GEP yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda ÇDR yöntemi de başarılı olmuş olsa da en iyi sonuç veren yöntem GEP olduğu belirlenmiştir. Ayrıca DM02 kombinasyonu için özellikle YSA ve ANFIS yöntemlerinde eklenen bu iki parametre buharlaşmayı tahmin etmede pek olumlu sonuçlar ortaya koymamıştır. DM03 modelinde de GEP yöntemi en iyi tahmini yapmasına karşın, DM02'ye benzer olarak buharlaşmayı tahmin etmede gözle görülür bir iyileştirme ortaya çıkmamıştır.

Şekil 4.11.'de Batman istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01, DM02 ve DM03 için GEP ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 50 mm altındaki değerler ile yaklaşık 300 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, 50-300 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11. Batman istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı (a)DM01-GEP-Eğitim, b)DM01-GEP-Test, c)DM02-GEP-Eğitim, d)DM02-GEP-Test, e)DM03-GEP-Eğitim, f)DM03-GEP-Test)

4.2.1. Batman istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları

Batman istasyonunda tava buharlaşma değerinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı girdi kombinasyonu için ÇDR yöntemi ile kurulan modelin katsayıları Çizelge 4.6.'da yer almaktadır. Ayrıca bu yöntemle tava buharlaşmasının tahmini için elde edilen formüller Denklem 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Batman istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar

Kombinasyon	T	W	H	P	OD	SR
DM01	9.777	-18.246				
DM02	10.772	24.772	-0.898	-0.054		
DM03	8.716	15.180	-0.814	-0.073	0.192	0.189

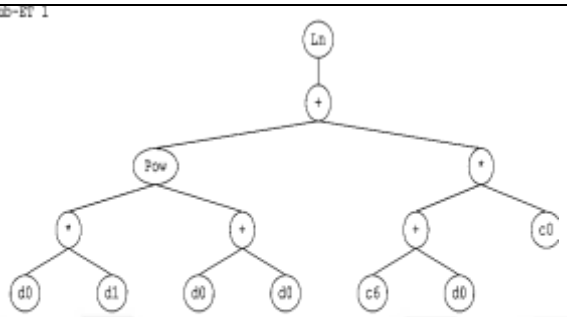
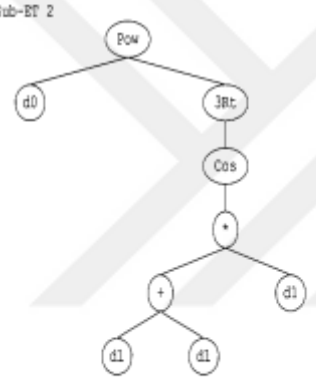
$$PE = 9.777T - 18.246W \quad (4.10)$$

$$PE = 10.772T + 24.722W - 0.898H - 0.054P \quad (4.11)$$

$$PE = 8.716T + 15.180W - 0.814H - 0.073P + 0.192OD + 0.189SR \quad (4.12)$$

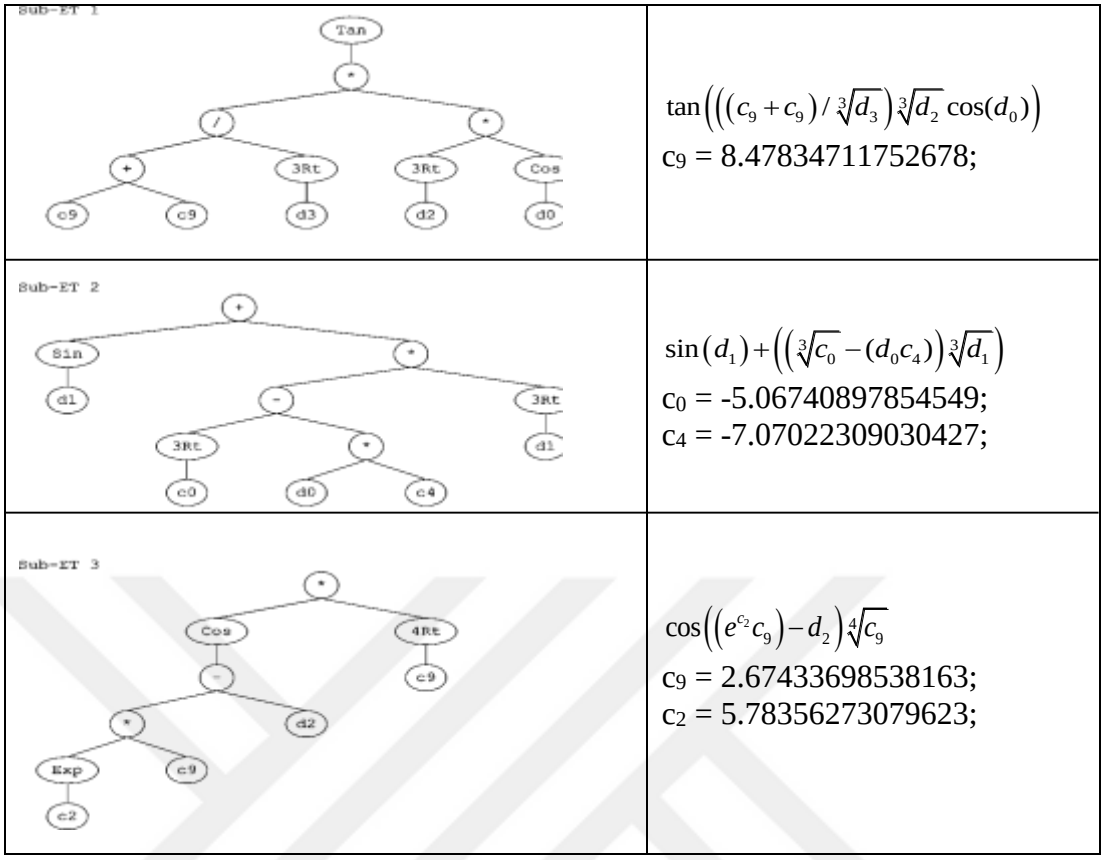
4.2.2. Batman istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları

Şekil 4.12., 4.13. ve 4.14.'te GEP yöntemi ile elde edilen açık formüllerin ifade ağaçları ve her model için formüller verilmiştir.

Sub-ET 1  	$\ln\left(\left(d_0 d_1\right)^{(d_0+d_0)} + (c_6 + d_0)c_0\right)$ c_0 = -8.53022858363597; c_6 = 7.65800958281198;
Sub-ET 2  	$\left(d_0\right)^{\sqrt[3]{\cos((d_1+d_1)d_1)}}$
Sub-ET 3  	d_0

Şekil 4.12. Batman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.12. incelendiğinde, Batman ili için DM01 modeli için sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun tamamında toplam 6 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 4 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM01 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın tava buharlaşmasının hesaplanmasında rüzgâr hızına nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.



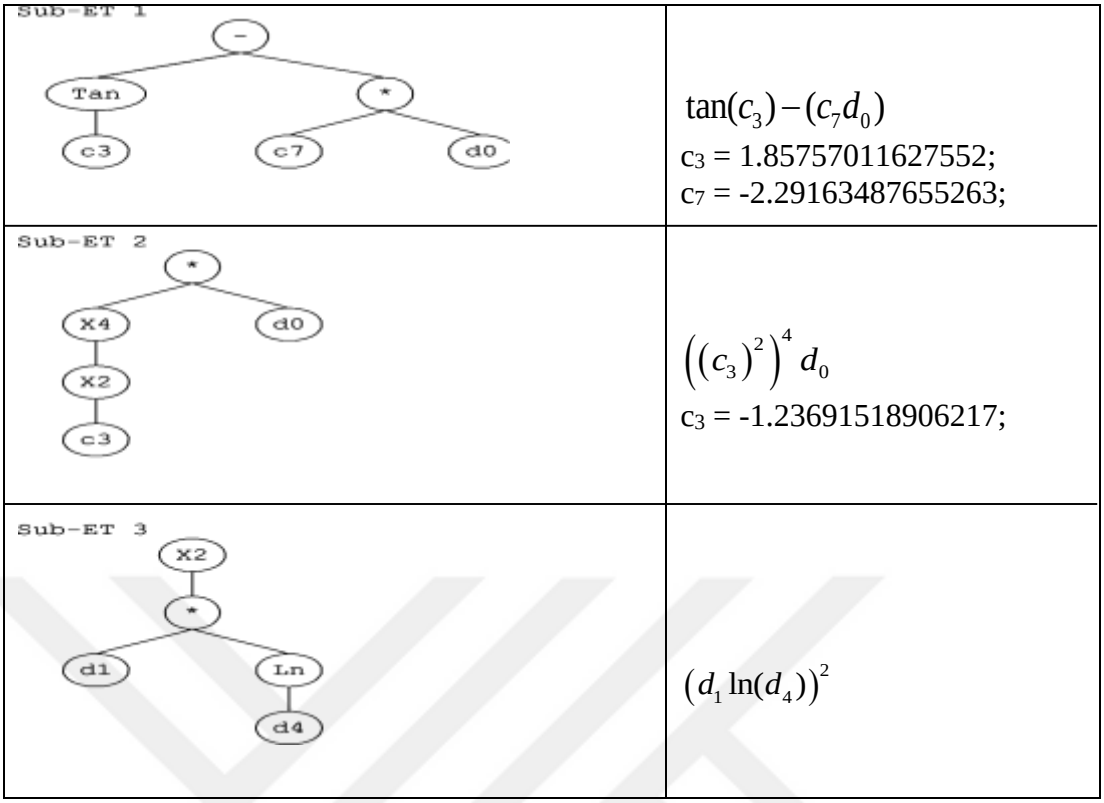
$\tan\left(\left(\left(c_9 + c_9\right) / \sqrt[3]{d_3}\right)\sqrt[3]{d_2}\cos(d_0)\right)$
c_9 = 8.47834711752678;

$\sin(d_1) + \left(\left(\sqrt[3]{c_0} - (d_0 c_4)\right)\sqrt[3]{d_1}\right)$
c_0 = -5.06740897854549;
c_4 = -7.07022309030427;

$\cos\left(\left(e^{c_2} c_9\right) - d_2\right)\sqrt[4]{c_9}$
c_9 = 2.67433698538163;
c_2 = 5.78356273079623;

Şekil 4.13. Batman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.13.'te Batman ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızının yanında, nisbi nem ile basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 2 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun birinde toplam 2 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nisbi nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan ikisinde toplam 2 defa kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri ise alt fonksiyonlardan sadece birinde 1 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde tava buharlaşmasının hesaplanmasında sıcaklığın, nemin ve rüzgâr hızının, basınca nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında basıncında nispeten daha az önemli olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14. Batman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Batman ili DM03 modeline ait ifade ağacı ve formülü Şekil 4.14.'te verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 2 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ve açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri üç alt fonksiyonun birinde toplam 1'er sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri, basıncı temsil eden d3 değeri ve güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri üç alt fonksiyonun hiç birinde kullanılmamıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modele göre benzer bir sonuç ortaya çıkarak tava buharlaşma değerinin hesaplanmasında genelde sıcaklığın birinci etken, rüzgâr hızının ve açık gün sayısı ikinci ana etken olduğu görülmektedir.

Batman ili için GEP yöntemi ile DM01, DM02 ve DM03 ile elde edilen formüllerin açık ve sadeleştirilmiş halleri sırasıyla Denklem 4.13, 4.14 ve 4.15'te verilmiştir.

$$PE = \ln\left((TW)^{2T} - 8.530T - 65.323\right) + (T)^{\left(\cos(2W^2)\right)^{1/3}} + T \quad (4.13)$$

$$PE = \tan\left(16.958(H/P)^{1/3}\cos T\right) + \sin W + (1.718 + 7.07T)W^{1/3} + 1.279\left(\cos(1880.124 - H)\right) \quad (4.14)$$

$$PE = 7.774T + \left(W\ln(OD)\right)^2 + 0.032 \quad (4.15)$$

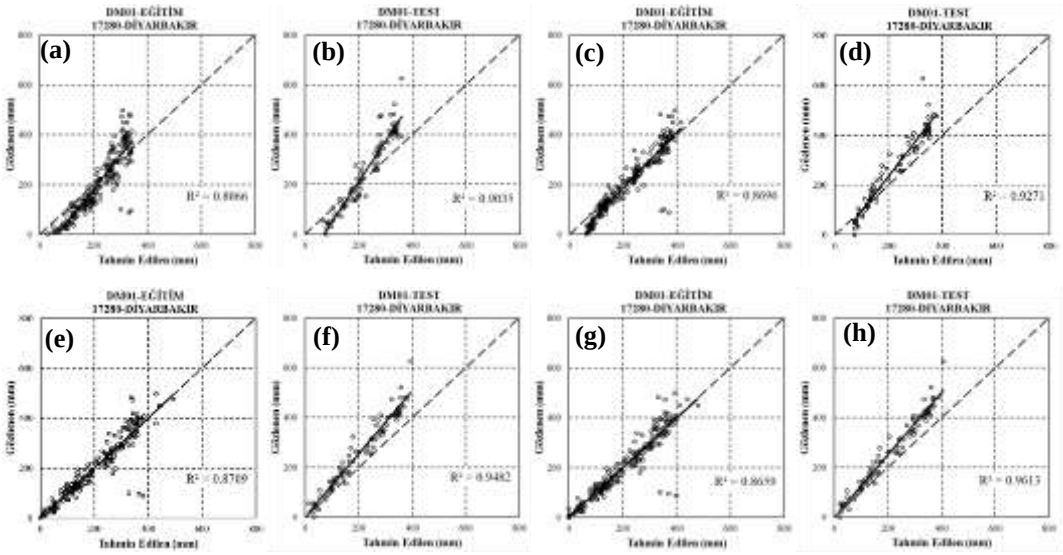
4.3. Diyarbakır İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Diyarbakır istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modellere göre Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Burada karşılaştırma kriteri olarak R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem GEP olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.866, test sürecinde ise 0.961 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonunda ise test sürecinde 0.963 ile en yüksek R^2 değerini GEP yöntemi vermiş olsa da diğer karşılaştırma parametreleri olan OKH ve OMH değerleri bakımından en uygun değerleri ANFIS yönteminin verdiği, ayrıca test sürecinde ANFIS yöntemi ile elde edilen R^2 değerinin de 0.951 olduğu görülmüştür. Bu nedenle DM02 için en iyi yöntem ANFIS olarak belirlenmiştir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0.963 R^2, 1898.75 OKH ve 33.06 OMH değerleri ile en başarılı yöntemin GEP yöntemi olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Diyarbakır istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

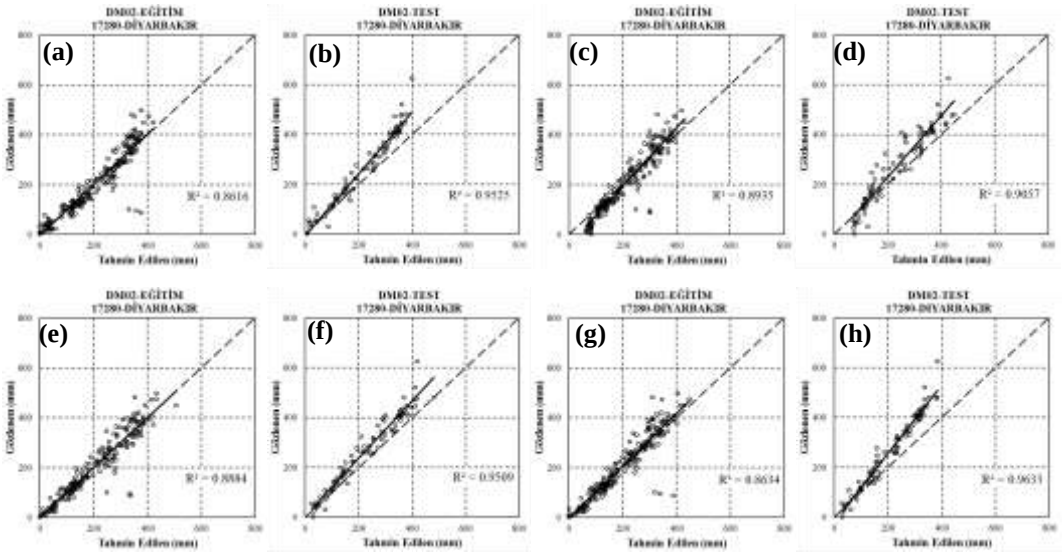
		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
ÇDR	Eğitim	0.807	4006.10	50.10	0.862	2157.50	28.57	0.867	2068.65	27.49
	Test	0.904	5897.30	59.36	0.953	3917.23	49.46	0.950	3326.15	44.30
YSA	Eğitim	0.870	2284.57	31.20	0.893	1985.58	32.09	0.888	2030.75	31.73
	Test	0.927	5020.52	54.63	0.906	3931.39	48.49	0.927	2930.40	41.91
ANFIS	Eğitim	0.871	2007.90	25.59	0.888	1736.50	26.63	0.917	1296.22	23.62
	Test	0.948	5088.86	58.35	0.951	**2940.69**	**42.47**	0.923	1961.42	31.99
GEP	Eğitim	0.866	2094.65	25.65	0.863	2198.09	27.97	0.882	1845.65	24.88
	Test	**0.961**	**4473.74**	**55.14**	**0.963**	5682.85	61.27	**0.963**	**1898.75**	**33.06**

Diyarbakır istasyonu için kullanılan yöntemlerle elde edilen buharlaşma değerleri ile ölçülmüş buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri üç farklı kombinasyon için Şekil 4.15., 4.16. ve 4.17.'de verilmiştir. Şekil 4.15.'te DM01 için saçılım grafikleri incelendiğinde sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile buharlaşma tahmin etmek için kurulan modellerde YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinin eğitim sürecinde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde ÇDR ve YSA yöntemleri ile yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, eğitim sürecinde ÇDR modeli yaklaşık 300 mm üzerindeki, YSA, ANFIS ve GEP modelleri ise yaklaşık 400 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise ÇDR ve YSA yöntemlerinin eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu görülmektedir. Ayrıca test sürecinde ANFIS ve GEP yöntemleri ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin ölçülmüş değerlerden daha küçük olduğu görülmektedir. DM01 için tüm yöntemler test sürecinde eğitim sürecine nazaran daha başarılı sonuçlar vermiştir. Diyarbakır istasyonuna ait DM01 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



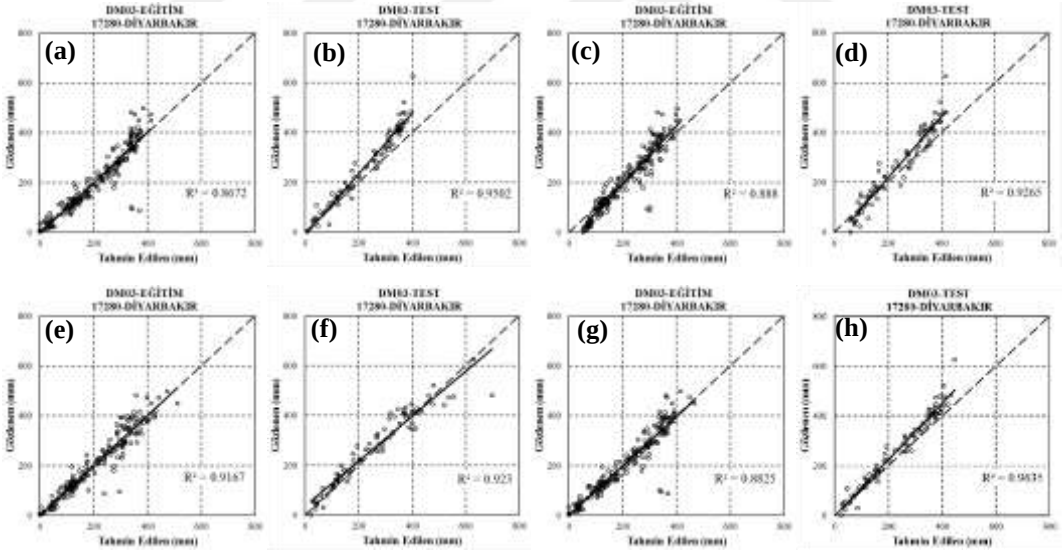
Şekil 4.15. DM01 için Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun saçılım grafikleri Şekil 4.16.'da verilmiştir. Burada DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA yöntemi ile yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 400 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu Şekil 4.16.'dan anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde en iyi R^2 değerine sahip GEP yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde, 80 mm altındaki değerlerin ölçülmüş değerlerinden daha büyük, 200 mm üstündeki değerlerin ise ölçülmüş değerlerden daha küçük olacak şekilde tahmin edildiği görülmektedir. Bu sonuç Çizelge 4.7.'de verilmiş olan OKH ve OMH değerleri ile de örtüşmektedir. Diyarbakır istasyonuna ait DM02 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ANFIS yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.16. DM02 için Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Tez kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 4.17.'de verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde DM02 kombinasyonu ile benzer bir şekilde YSA yönteminin yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 400 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu görülmektedir. Diyarbakır istasyonuna ait DM03 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

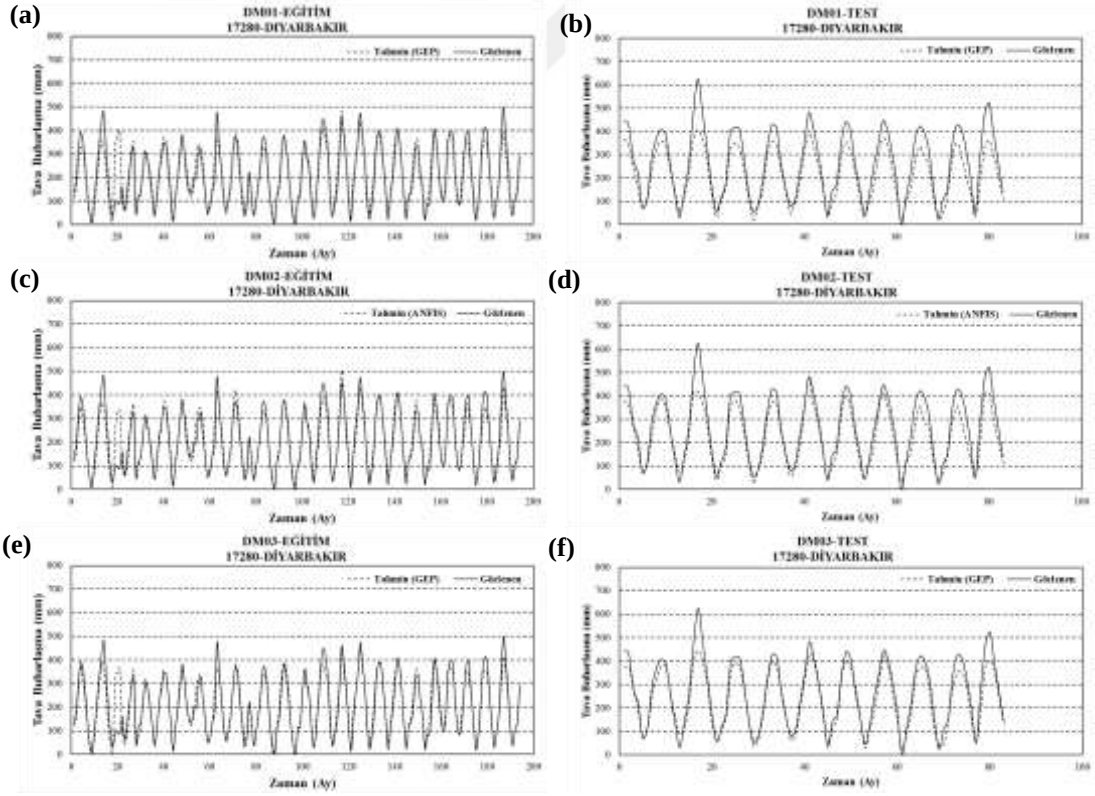


Şekil 4.17. DM03 için Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için GEP yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda ÇDR, YSA ve

GEP yöntemi de başarılı sonuç elde etse de ANFIS yöntemi daha başarılı olmuştur. DM03 kombinasyonu buharlaşmayı tahmin etmede DM02 ile benzer bir R^2 değeri bulmasına rağmen, OKH ve OMH değerleri bakımından ele alınan tüm kombinasyonlar içerisinde en başarılı girdi kombinasyonunun GEP olduğu görülmüştür.

Şekil 4.18.'de Diyarbakır istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01 ve DM03 için GEP, DM02 için ise ANFIS ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 400 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca DM02 ve DM03'ün 100-350 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.18. Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı (a)DM01-GEP-Eğitim, b)DM01-GEP-Test, c)DM02-ANFIS-Eğitim, d)DM02-ANFIS-Test, e)DM03-GEP-Eğitim, f)DM03-GEP-Test)

4.3.1. Diyarbakır istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları

Diyarbakır istasyonunda tava buharlaşma değerinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı girdi kombinasyonu için ÇDR yöntemi ile kurulan modelin katsayıları Çizelge 4.8.'de yer almaktadır. Ayrıca bu yöntemle tava buharlaşmasının tahmini için elde edilen formüller Denklem 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmiştir.

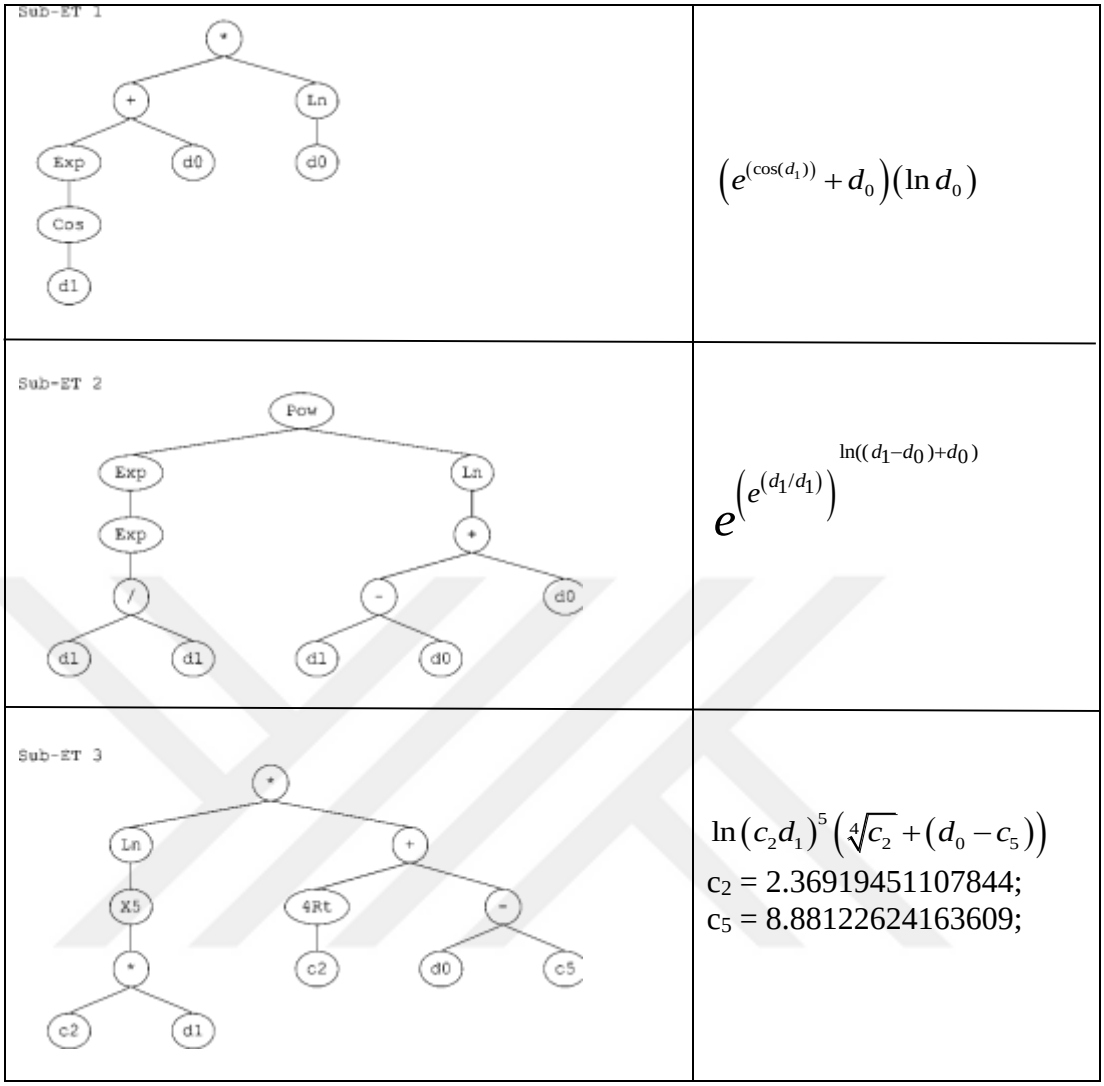
Çizelge 4.8. Diyarbakır istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar

Kombinasyon	T	W	H	P	OD	SR
DM01	11.381	-6.490				
DM02	10.952	36.759	-0.906	-0.079		
DM03	8.731	31.459	-0.445	-0.123	2.244	0.091

$$PE = 11.381T - 6.490W \quad (4.16)$$
$$PE = 10.952T + 36.759W - 0.906H - 0.079P \quad (4.17)$$
$$PE = 8.731T + 31.459W - 0.445H - 0.123P + 2.244OD + 0.091SR \quad (4.18)$$

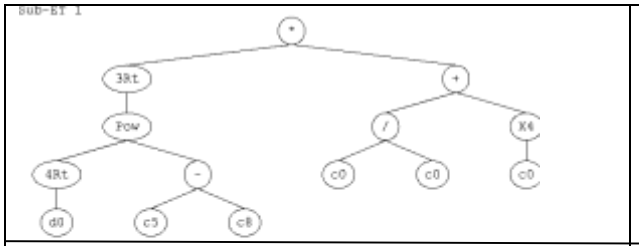
4.3.2. Diyarbakır istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları

Şekil 4.19., 4.20. ve 4.21.'de GEP yöntemi ile elde edilen açık formüllerin ifade ağaçları ve her model için formüller verilmiştir.



Şekil 4. 19. Diyarbakır istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.19. incelendiğinde, Diyarbakır ili için DM01 modeli için sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun tamamında toplam 5 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri de üç alt fonksiyonun tamamında toplam 5 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM01 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde tava buharlaşmasının hesaplanmasında sıcaklık ve rüzgâr hızının eşit bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.



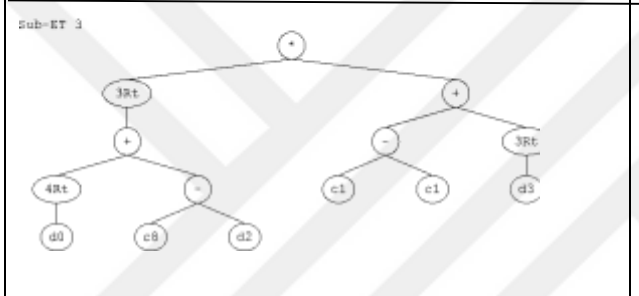
$$\sqrt[3]{\left(\sqrt[4]{d_0}\right)^{(c_5-c_8)}}\left((c_0/c_0)+(c_0)^4\right)$$

c_0 = 1.60435804315317;
c_5 = 5.77562791833247;
c_8 = -7.30887783440657;



$$\sqrt[4]{(d_0+d_0)+d_1}-(\ln c_6+\sin d_1)$$

c_6 = 1.30100405896176;

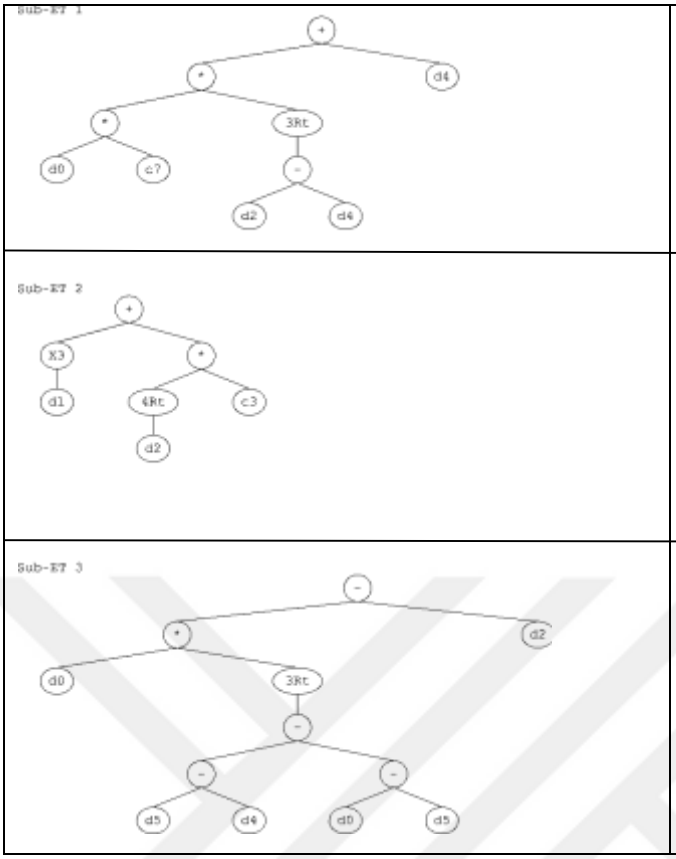


$$\sqrt[3]{\sqrt[4]{d_0}+(c_8-d_2)}\left((c_1-c_1)+\sqrt[3]{d_3}\right)$$

c_1 = -10.6152836695456;
c_8 = -4.21366008484146;

Şekil 4.20. Diyarbakır istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.20.'de Diyarbakır ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızının yanında, nisbi nem ile basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun tamamında toplam 4 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun sadece birinde toplam 2 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan hiçbirinde kullanılmamış olup, basıncı temsil eden d3 değeri ise bir alt fonksiyonda 1 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın tava buharlaşmasının hesaplanmasında rüzgâr hızına, neme ve basınca nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında rüzgâr hızının da etkili olduğu görülmektedir.

	$\left(\left(d_0 c_7\right)\sqrt[3]{\left(d_2 - d_4\right)}\right) + d_4$ c_7 = -0.184245869573412;
	$\left(d_1\right)^3 + \sqrt[4]{d_2}\left(c_3\right)$ c_3 = 8.97640919217505;
	$\left(d_0 \sqrt[3]{\left(d_5 - d_4\right) - \left(d_0 - d_5\right)}\right) - d_2$

Şekil 4.21. Diyarbakır istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Diyarbakır ili DM03 modeline ait ifade ağacı ve formülü Şekil 4.21.'de verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 3 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun birinde toplam 1 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan tamamında toplam 3 defa kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri alt fonksiyonlardan hiçbirinde kullanılmamıştır. Açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri alt fonksiyonların ikisinde toplam 3 sefer ve güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri üç alt fonksiyonun birinde sadece 2 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modele göre farklı bir sonuç ortaya çıkarak tava buharlaşma değerinin

hesaplanmasında sıcaklık, nem ve açık gün sayısının birinci etken, güneşlenme şiddetinin ise ikinci ana etken olduğu görülmektedir.

Diyarbakır ili için GEP yöntemi ile DM01, DM02 ve DM03 ile elde edilen formüllerin açık ve sadeleştirilmiş halleri sırasıyla Denklem 4.19, 4.20 ve 4.21'de verilmiştir.

$$PE = \left(e^{\cos W} + T\right)\left(\ln T\right) + e^{W} + \ln\left(2.369W\right)^{5}\left(T - 7.641\right) \tag{4.19}$$

$$PE = 7.624T^{1.091} + \left(2T + W\right)^{1/4} - \sin W + \left(PT^{1/4} - PW - 4.214P\right)^{1/3} - 0.263 \tag{4.20}$$

$$PE = \left(-0.184T\right)\left(H - OD\right)^{1/3} + OD + W^{3} + 8.976H^{1/4} + T\left(2SR - OD - T\right)^{1/3} - H \tag{4.21}$$

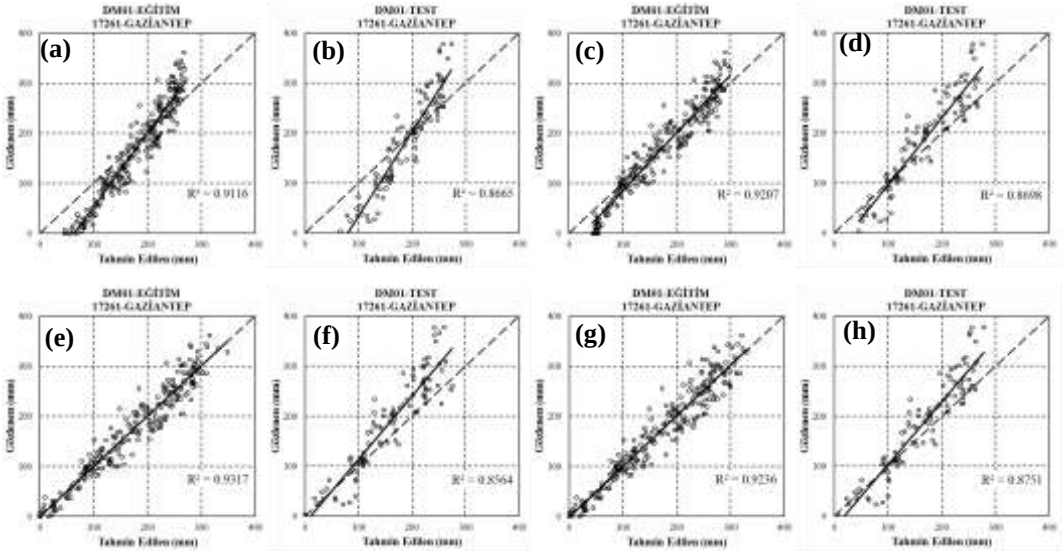
4.4. Gaziantep İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Gaziantep istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modellere göre Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Burada karşılaştırma kriteri olarak R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem GEP olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.923, test sürecinde ise 0.875 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonunda ise test sürecinde 0.875 ile en yüksek R^2 değerini ÇDR yöntemi vermiş olsa da diğer karşılaştırma parametreleri olan OKH değeri bakımından en uygun değerleri GEP yönteminin verdiği, ayrıca test sürecinde GEP yöntemi ile elde edilen R^2 değerinin de 0.853 olduğu görülmüştür. Bu nedenle DM02 için en iyi yöntem GEP olarak belirlenmiştir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0.892 R^2, 1389.79 OKH ve 29.23 OMH değerleri ile en başarılı yöntemin GEP olduğu görülmüştür. Özellikle DM02 ve DM03 kombinasyonlarının OKH değeri bakımından yeni eklenen açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerlerinin sonuçları iyileştirmek yerine az da olsa arttırdığı görülmüştür. DM02'de 1319.00 olan OKH değeri DM03'de 1389.79 değerine çıkmıştır. Ayrıca DM03 kombinasyonu için test sürecinde 0.892 R^2, 1427.35 OKH ve 29.01 OMH değerleri ile ANFIS yöntemi azımsanmayacak bir başarıya ulaşmıştır.

Çizelge 4.9. Gaziantep istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

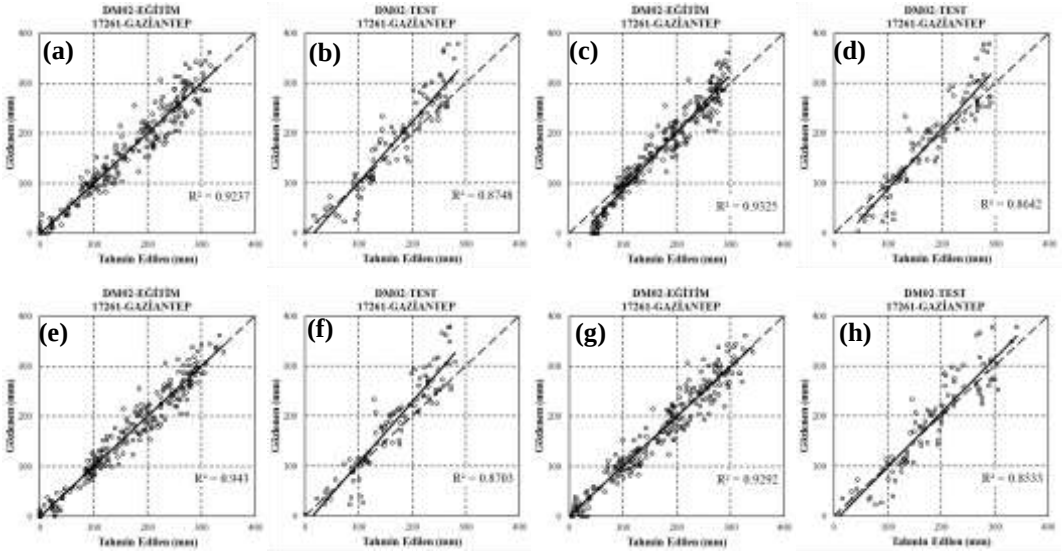
		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
ÇDR	Eğitim	0.912	1596.08	33.62	0.924	643.25	19.54	0.945	468.08	16.36
	Test	0.867	2377.73	38.90	**0.875**	1539.23	29.30	0.880	1651.65	30.89
YSA	Eğitim	0.921	822.99	23.53	0.932	705.97	20.84	0.954	546.12	18.14
	Test	0.870	1978.55	34.06	0.864	1381.42	**28.28**	0.880	1750.95	32.53
ANFIS	Eğitim	0.932	575.67	18.79	0.943	480.48	16.85	0.955	380.37	14.60
	Test	0.856	2399.91	37.48	0.870	1784.06	31.35	0.892	1427.35	**29.01**
GEP	Eğitim	0.923	648.28	19.90	0.929	597.23	19.03	0.919	855.53	22.85
	Test	**0.875**	**1799.52**	**31.68**	0.853	**1319.00**	28.55	**0.892**	**1389.79**	29.23

Gaziantep istasyonu için kullanılan yöntemlerle elde edilen buharlaşma değerleri ile ölçülmüş buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri üç farklı kombinasyon için Şekil 4.22., 4.23. ve 4.24.'te verilmiştir. Şekil 4.22.'de DM01 için saçılım grafikleri incelendiğinde sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile buharlaşma tahmin etmek için kurulan modellerde ANFIS ve GEP yöntemlerinin eğitim sürecinde başarılı sonuçlar verdiği, ancak ÇDR ve YSA yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde ÇDR ve YSA yöntemleri ile yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, yine ÇDR ve YSA eğitim sürecinde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. ANFIS ve GEP yöntemleri diğer iki yöntemin aksine DM01 için eğitim sürecinde daha başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Test sürecinde ise tüm yöntemlerinin eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM01 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. DM01 için eğitim sürecinde başarılı sonuçlar veren ANFIS yönteminin test sürecinde ise başarısız olmuş ve 200 mm üzerindeki ölçülmüş değerleri daha küçük olacak şekilde tahmin etmiştir. Gaziantep istasyonuna ait DM01 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



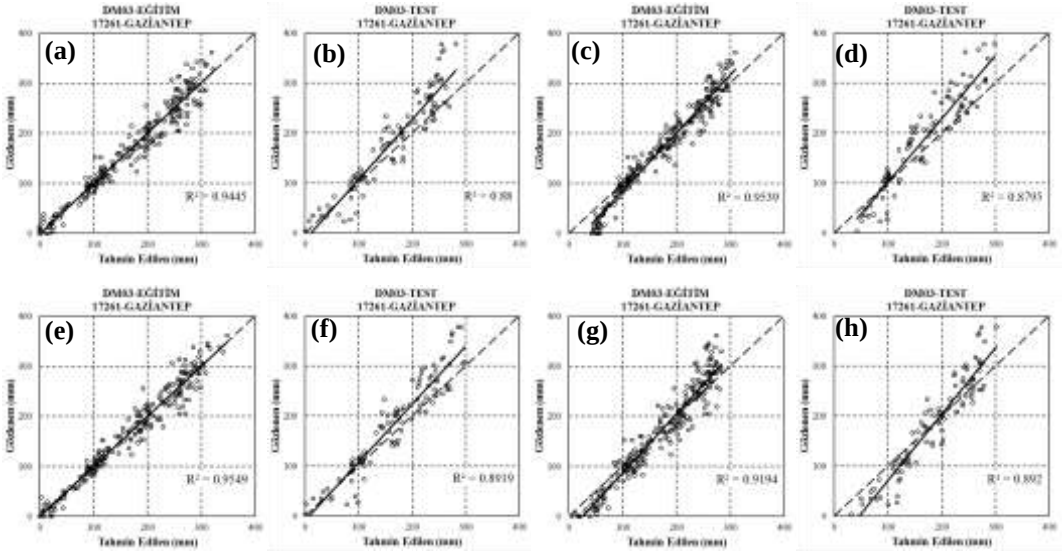
Şekil 4.22. DM01 için Gaziantep istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun saçılım grafikleri Şekil 4.23.'te verilmiştir. Burada DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA yöntemi ile yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise tüm yöntemlerin yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde en iyi R^2 değerine sahip ÇDR yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde, 100 mm altındaki değerleri ölçülmüş değerlerinden büyük, 300 mm üstündeki değerlerin ise ölçülmüş değerlerden daha küçük olacak şekilde tahmin edildiği görülmektedir. Bu sonuç Çizelge 4.9.'da verilmiş olan OKH ve OMH değerleri ile de örtüşmektedir. Gaziantep istasyonuna ait DM02 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 23. DM02 için Gaziantep istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

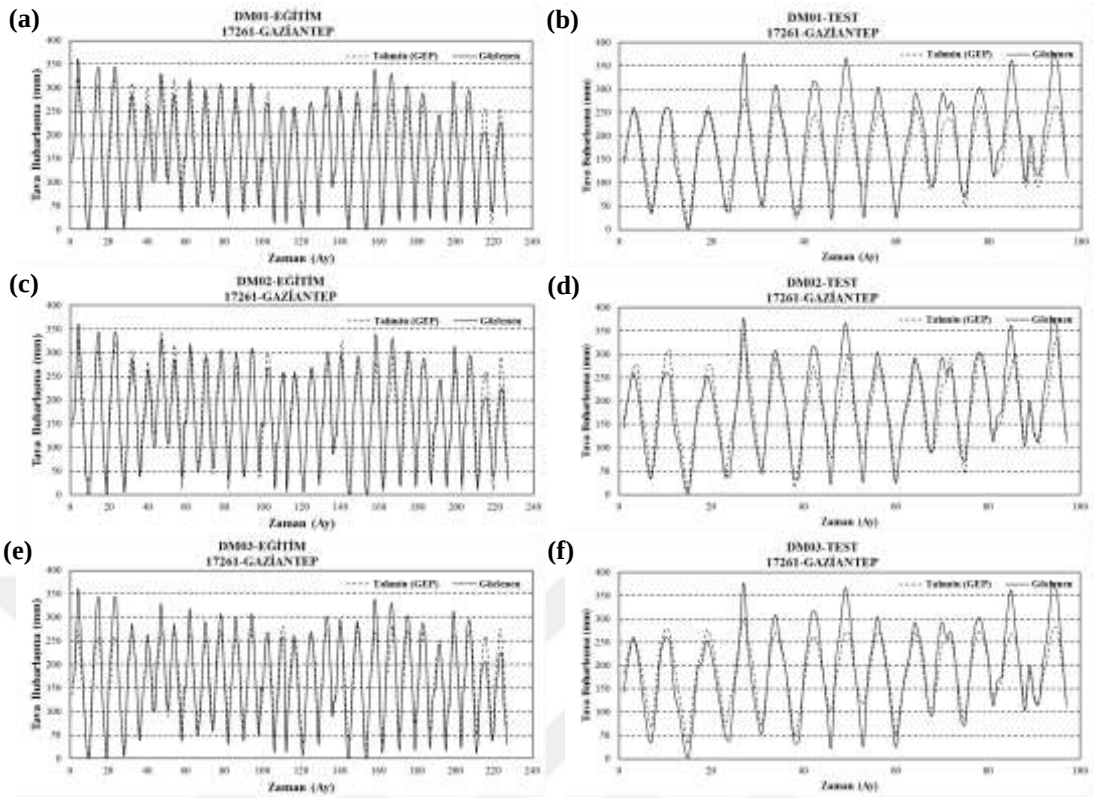
Tez kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 4.24.'te verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA ve GEP yönteminin yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise eğitim sürecinin aksine tüm yöntemlerin yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu görülmektedir. Gaziantep istasyonuna ait DM03 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ANFIS yöntemi de iyi sonuç verse de, GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.24. DM03 için Gaziantep istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için GEP yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda GEP yöntemi daha başarılı olmuştur, özellikle ÇDR, YSA ve ANFIS yöntemlerinde eklenen bu iki parametre buharlaşmayı tahmin etmede olumlu sonuçlar ortaya koymuştur.DM03 modelinde ise önemli parametrelerden biri olan güneşlenme şiddetinin ve açık gün sayılarının da eklemesi ile GEP yönteminin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Şekil 4.25.'te Gaziantep istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01,DM02 ve DM03 için GEP ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 300 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca DM02 ve DM03'ün 50-250 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25. Gaziantep istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı (a)DM01-GEP-Eğitim, b)DM01-GEP-Test, c)DM02-GEP-Eğitim, d)DM02-GEP-Test, e)DM03-GEP-Eğitim, f)DM03-GEP-Test)

4.4.1. Gaziantep istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları

Gaziantep istasyonunda tava buharlaşma değerinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı girdi kombinasyonu için ÇDR yöntemi ile kurulan modelin katsayıları Çizelge 4.10.'da yer almaktadır. Ayrıca bu yöntemle tava buharlaşmasının tahmini için elde edilen formüller Denklem 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.10. Gaziantep istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar

Kombinasyon	T	W	H	P	OD	SR
DM01	8.284	10.197				
DM02	11.038	28.148	-0.169	-0.096		
DM03	7.962	24.055	0.285	-0.153	1.132	0.173

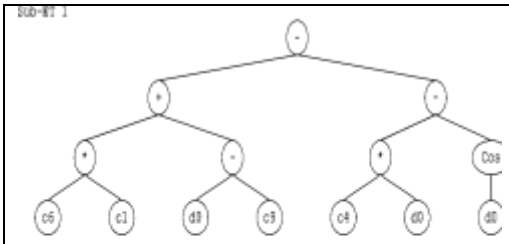
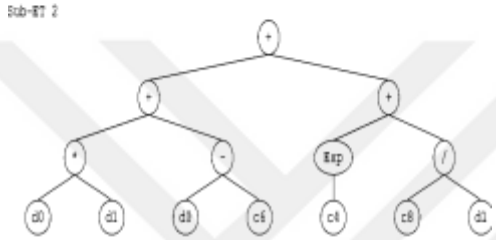
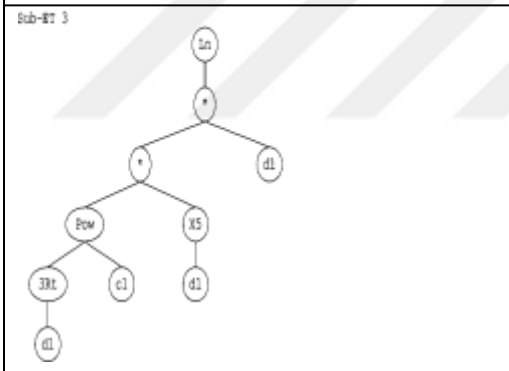
$$PE = 8.284T - 10.197W \quad (4.22)$$

$$PE = 11.038T + 28.148W - 0.169H - 0.096P \quad (4.23)$$

$$PE = 7.962T + 24.055W + 0.285H - 0.153P + 1.132OD + 0.173SR \quad (4.24)$$

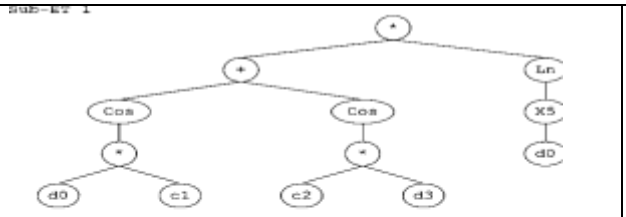
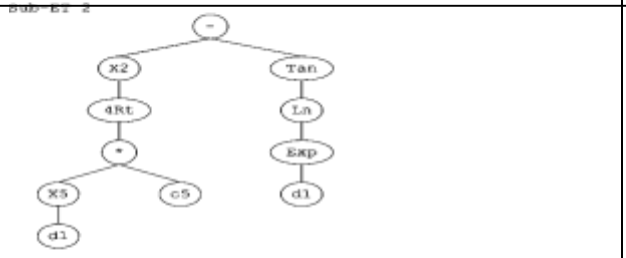
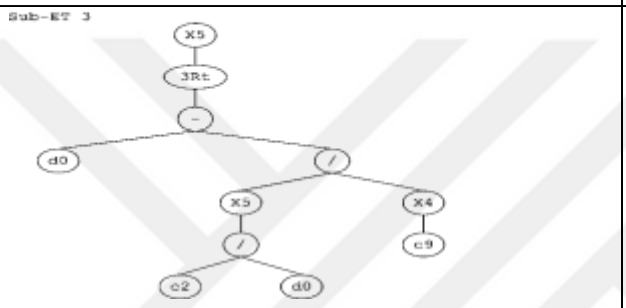
4.4.2. Gaziantep istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları

Şekil 4.26., 4.27. ve 4.28.'de GEP yöntemi ile elde edilen açık formüllerin ifade ağaçları ve her model için formüller verilmiştir.

	$\left((c_6 c_1)+(d_0-c_9)\right)-\left(\left(c_4 d_0\right)-\cos(d_0)\right)$ c_6 = 4.85698995941038; c_1 = -7.92220831934568; c_9 = 2.51808221686453; c_4 = -7.35854060487686;
	$\left(\left(d_0 d_1\right)+\left(d_0-c_6\right)\right)+\left(e^{(c_4)}+\left(c_8/d_1\right)\right)$ c_6 = 8.63226813562426; c_4 = -8.14856684282663; c_8 = -8.91085268715476;
	$\ln\left(\left(\sqrt[3]{d_1}\right)^{c_1}\left(d_1\right)^5 d_1\right)$ c_1 = 9.93030055024873;

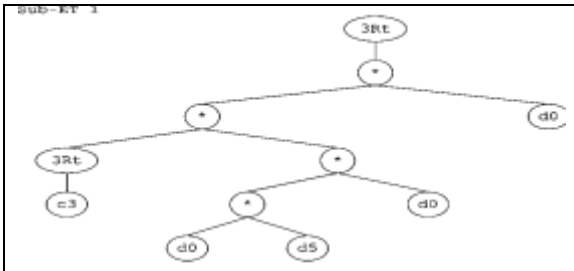
Şekil 4.26. Gaziantep istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.26. incelendiğinde, Gaziantep ili için DM01 modeli için sıcaklığı temsil eden d0 değeri, üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 5 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri de aynı şekilde üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 5 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM01 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın ve rüzgâr hızının tava buharlaşmasının hesaplanmasında aynı etkide bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.

	$\left(\cos\left(d_0 c_1\right)+\cos\left(c_2 d_3\right)\right)\ln\left(\left(d_0\right)^5\right)$ c_1 = -0.36935551560076; c_2 = 0.35801775512433;
	$\left(\sqrt[4]{\left(d_1\right)^5 c_5}\right)^2-\tan\left(\ln\left(e^{d_1}\right)\right)$ c_5 = 8.11204840222747;
	$\left(\sqrt[3]{d_0-\left(\left(c_2/d_0\right)^5/\left(c_9\right)^4\right)}\right)^5$ c_9 = -4.02203436384167; c_2 = 8.11761833552049;

Şekil 4.27. Gaziantep istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.27.'de Gaziantep ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızının yanında, nisbi nem ile basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde, sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 4 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun sadece birinde toplam 2 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan hiçbirinde kullanılmamış olup, basıncı temsil eden d3 değeri ise üç alt fonksiyonun sadece birinde toplam 1 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın tava buharlaşmasının hesaplanmasında, rüzgâr hızına, neme ve basınca nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında rüzgâr hızı da azımsanmayacak bir öneme sahip olduğu görülmektedir.

	$\sqrt[3]{\left(\sqrt[3]{c_3}(d_0 d_5)d_0\right)d_0}$ c_3 = 5.10666219061861;
	c_8 c_8 = -9.99396649067659;
	$c_4 d_4$ c_4 = 0.158391064180425;

Şekil 4.28. Gaziantep istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Gaziantep ili DM03 modeline ait ifade ağacı ve formülü Şekil 4.28'de verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun birinde toplam 3 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri, nemi temsil eden d2 değeri ve basıncı temsil eden d3 değeri üç alt fonksiyonun hiçbirinde kullanılmamıştır. Ayrıca açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri ve güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri üç alt fonksiyonun birinde sadece 1'er sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modele göre benzer bir sonuç ortaya çıkarak tava buharlaşma değerinin hesaplanmasında genelde sıcaklığın birinci etken, rüzgâr hızının ise ikinci ana etken olduğu görülmektedir.

Gaziantep ili için GEP yöntemi ile DM01, DM02 ve DM03 ile elde edilen formüllerin açık ve sadeleştirilmiş halleri sırasıyla Denklem 4.25, 4.26 ve 4.27'de verilmiştir.

$$PE = -31.11T + \cos(T) + 96.868 + \left(T^2W - 8.633TW\right) - 8.911/W + \ln W^{9.31} \quad (4.25)$$

$$PE = \left(\cos\left(-0.369T\right) + \cos\left(0.358P\right)\right)\ln T^5 + 2.848W^{5/2} - \tan\left(W\right) + \left(T^6 - 134.742\right)^{5/3} / T^{25/3} \quad (4.26)$$

$$PE = T\left(1.702SR\right)^{1/3} + 0.158OD - 9.994 \quad (4.27)$$

4.5. Kilis İstasyonu Buharlaşma Tahmini

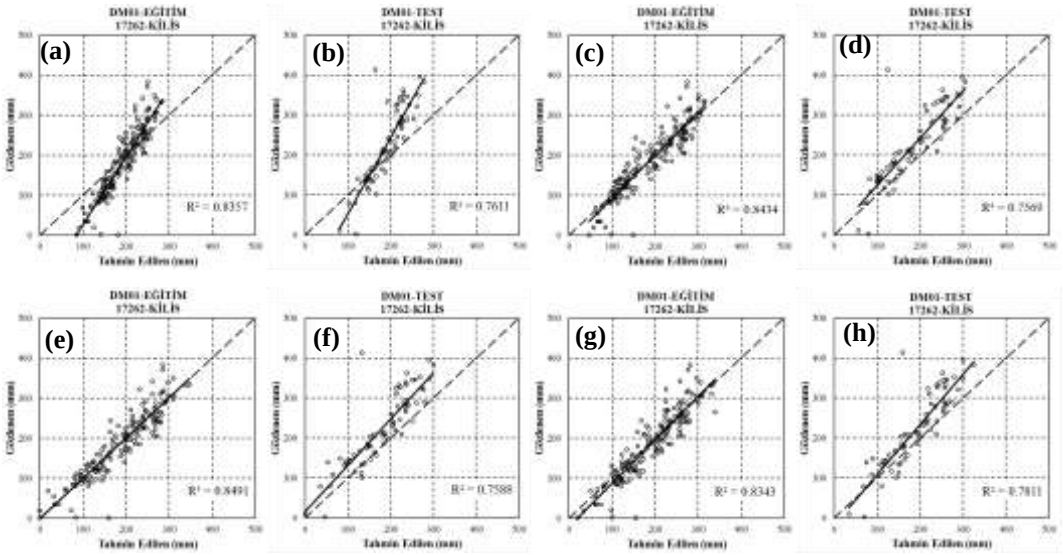
Kilis istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modellere göre Çizelge 4.11.'de verilmiştir. Burada karşılaştırma kriteri olarak R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem GEP olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.834, test sürecinde ise 0.781 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonun da ise test sürecinde 0.796 ile en yüksek R^2 değerini YSA yöntemi vermiş olsa da diğer karşılaştırma parametreleri olan OKH ve OMH değerleri bakımından en uygun değerleri ANFIS yönteminin verdiği, ayrıca test sürecinde ANFIS yöntemi ile elde edilen R^2 değerinin de 0.795 olduğu görülmüştür. Bu nedenle DM02 için en iyi yöntem ANFIS olarak belirlenmiştir. DM03 kombinasyonun da ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde ÇDR ve GEP yöntemlerinin iyi sonuç verdiği sonucu ortaya çıkmıştır. DM03 için 0.815 R^2, 3097.54 OKH ve 39.27 OMH değerleri ile ÇDR ve 0.808 R^2, 3004.03 OKH ve 37.02 OMH değerleri ile GEP yöntemleri arasında OKH ve OMH değerleri arasında çok büyük fark olmamasından dolayı R^2 değeri en büyük olan ÇDR yöntemi, en başarılı yöntem olarak seçilmiştir. Özellikle DM02 ve DM03 kombinasyonlarının OKH ve OMH değerleri bakımından yeni eklenen açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerlerinin ÇDR ve GEP yöntemlerinde sonuçları iyileştirdiği, yine eklenen açık gün sayısı ve güneşlenme

şiddeti YSA ve ANFIS yöntemlerinde sonuçları iyileştirmek yerine OKH ve OMH değerlerini arttırdığı görülmüştür.

Çizelge 4.11. Kilis istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

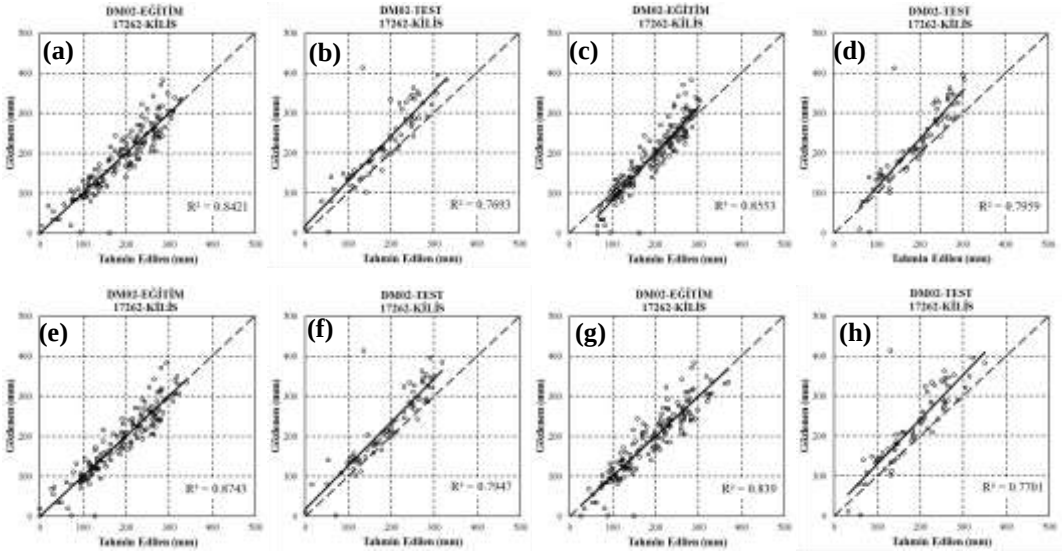
		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
ÇDR	Eğitim	0.836	2156.52	36.40	0.842	1093.95	24.71	0.853	1016.32	23.94
	Test	0.761	4696.60	49.93	0.769	3610.25	43.61	**0.815**	3097.54	39.27
YSA	Eğitim	0.843	1114.99	24.09	0.855	1127.17	24.12	0.848	1079.46	24.01
	Test	0.757	3837.77	46.22	**0.796**	3055.17	39.57	0.750	3405.39	42.12
ANFIS	Eğitim	0.849	1045.38	23.31	0.874	870.63	21.93	0.897	716.20	19.29
	Test	0.759	4144.10	48.15	0.795	**2941.75**	**37.75**	0.743	3119.13	39.78
GEP	Eğitim	0.834	1206.15	25.48	0.839	1115.32	24.78	0.849	1343.80	28.22
	Test	**0.781**	**3187.64**	**41.61**	0.770	3603.18	44.08	0.808	**3004.03**	**37.02**

Kilis istasyonu için kullanılan yöntemlerle elde edilen buharlaşma değerleri ile ölçülmüş buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri üç farklı kombinasyon için Şekil 4.29., 4.30. ve 4.31.'de verilmiştir. Şekil 4.29.'da DM01 için saçılım grafikleri incelendiğinde sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile buharlaşma tahmin etmek için kurulan modellerde YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinin eğitim sürecinde başarılı sonuçlar verdiği, ancak ÇDR yönteminin ele alınan diğer yöntemlere nazaran daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde ÇDR ve YSA yöntemleri ile yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise ÇDR ve YSA yöntemlerinin eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM01 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde ÇDR yöntemi ile yaklaşık 150 mm altındaki tahmin edilen buharlaşma değerlerinin, ölçülmüş değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. DM01 için eğitim sürecinde başarılı sonuçlar veren ANFIS yönteminin test sürecinde başarısız olmuş ve 100 mm üzerindeki ölçülmüş değerleri daha küçük olacak şekilde tahmin etmiştir. Kilis istasyonuna ait DM01 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



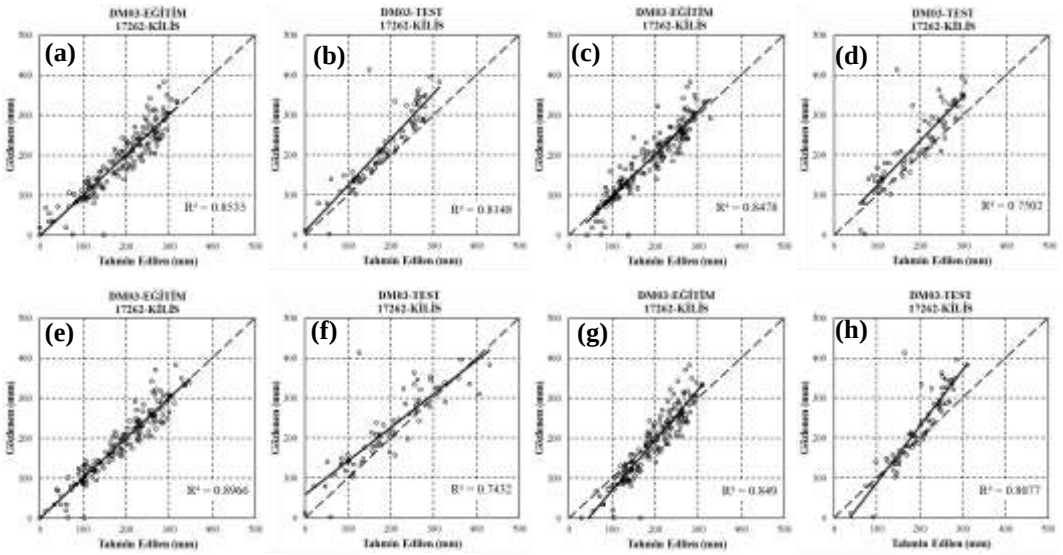
Şekil 4.29. DM01 için Kilis istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun saçılım grafikleri Şekil 4.30.'da verilmiştir. Burada DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde tüm yöntemler, yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu Şekil 4.30.'dan anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde en iyi R^2 değerine sahip YSA yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin, saçılım grafiği incelendiğinde ölçülmüş değerlerden daha küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuç Çizelge 4.11.'de verilmiş olan OKH ve OMH değerleri ile de örtüşmektedir. Kilis istasyonuna ait DM02 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ANFIS yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.30. DM02 için Kilis istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

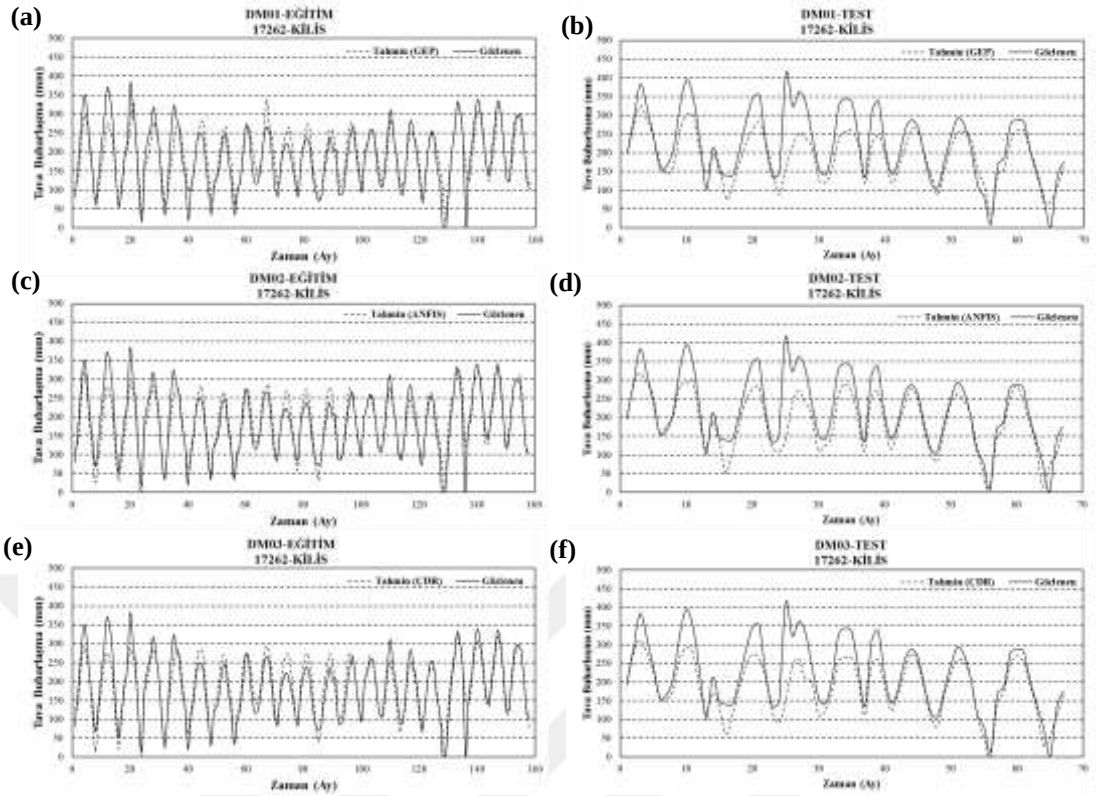
Tez kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 4.31.'de verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA yönteminin yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise tüm yöntemler eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üstündeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu görülmektedir. Bunun yanında DM03 kombinasyonu için Çizelge 4.11.'de görüldüğü üzere test sürecinde ÇDR ve GEP yöntemi birine yakın bir sonuç verdiği Kilis istasyonunda, buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ÇDR yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.31. DM03 için Kilis istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için GEP yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda ANFIS yöntemi daha başarılı olmuştur, özellikle GEP yöntemi eklenen bu iki parametre ile buharlaşmayı tahmin etmede pek olumlu sonuçlar ortaya koymamıştır. Buharlaşmanın ana etken parametrelerinden biri olan güneşlenme şiddetinin ve açık gün sayılarında eklemesi ile oluşturulan DM03 modelinde GEP yönteminin daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.32.'de Kilis istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01 için GEP, DM02 için ANFIS ve DM03 için ise ÇDR ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 300 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca DM02 ve DM03'ün 50-250 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.32. Kilis istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı (a)DM01-GEP-Eğitim, b)DM01-GEP-Test, c)DM02-ANFIS-Eğitim, d)DM02-ANFIS-Test, e)DM03-ÇDR-Eğitim, f)DM03-ÇDR-Test)

4.5.1. Kilis istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları

Kilis istasyonunda tava buharlaşma değerinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı girdi kombinasyonu için ÇDR yöntemi ile kurulan modelin katsayıları Çizelge 4.12.'de yer almaktadır. Ayrıca bu yöntemle tava buharlaşmasının tahmini için elde edilen formüller Denklem 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.12. Kilis istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar

Kombinasyon	T	W	H	P	OD	SR
DM01	5.820	23.829				
DM02	10.438	34.147	-0.456	-0.123		
DM03	9.529	30.024	-0.344	-0.147	-0.195	0.107

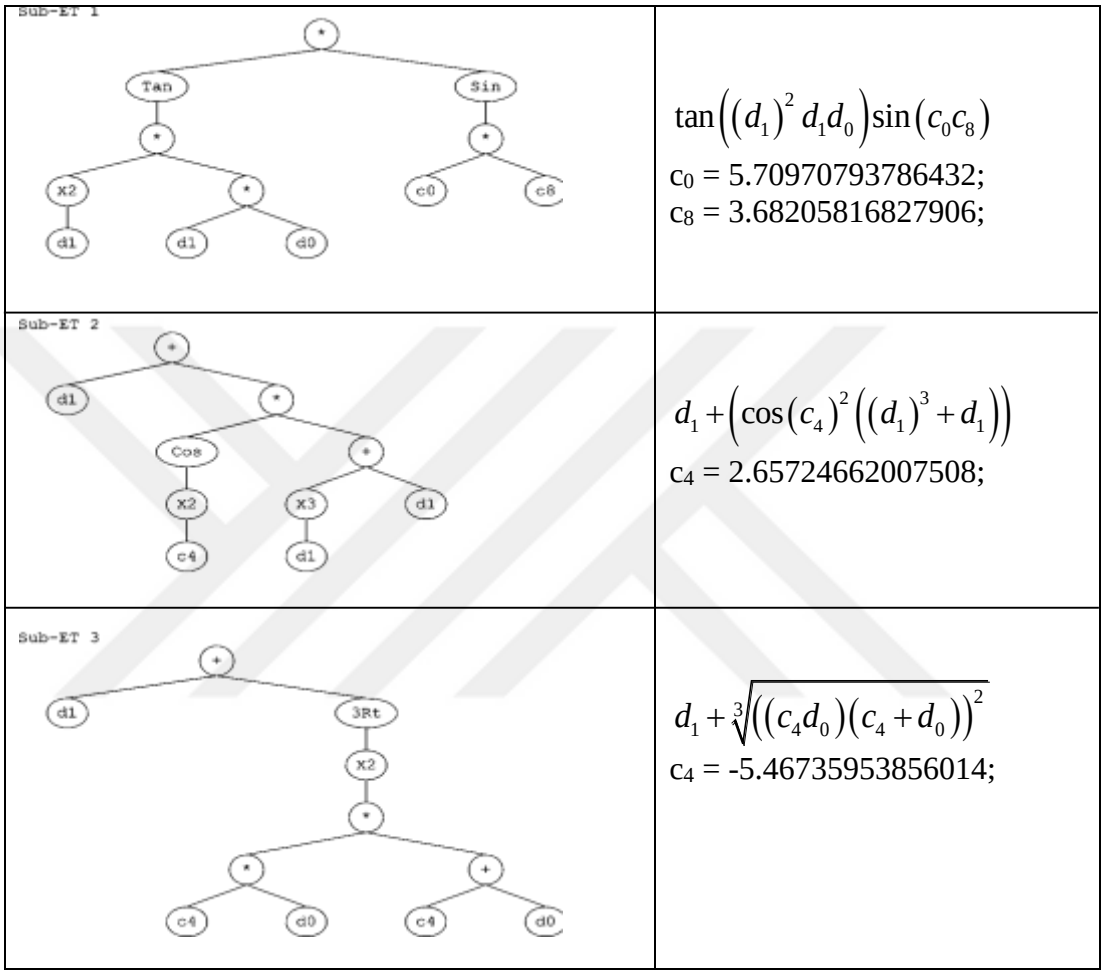
$$PE = 5.820T - 23.829W \quad (4.28)$$

$$PE = 10.438T + 34.147W - 0.456H - 0.123P \quad (4.29)$$

$$PE = 9.529T + 30.024W - 0.344H - 0.147P - 0.195OD + 0.107SR \quad (4.30)$$

4.5.2. Kilis istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları

Şekil 4.33., 4.34. ve 4.35.'te GEP yöntemi ile elde edilen açık formüllerin ifade ağaçları ve her model için formüller verilmiştir.



$\tan\left(\left(d_1\right)^2 d_1 d_0\right)\sin\left(c_0 c_8\right)$

c_0 = 5.70970793786432;
c_8 = 3.68205816827906;

$d_1 + \left(\cos\left(c_4\right)^2 \left(\left(d_1\right)^3 + d_1\right)\right)$

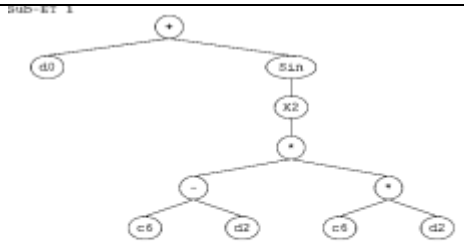
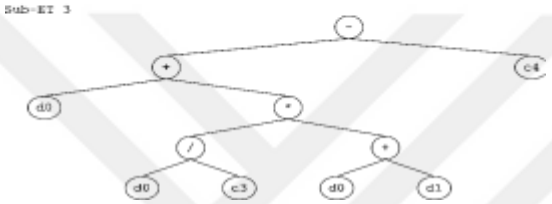
c_4 = 2.65724662007508;

$d_1 + \sqrt[3]{\left(\left(c_4 d_0\right)\left(c_4 + d_0\right)\right)^2}$

c_4 = -5.46735953856014;

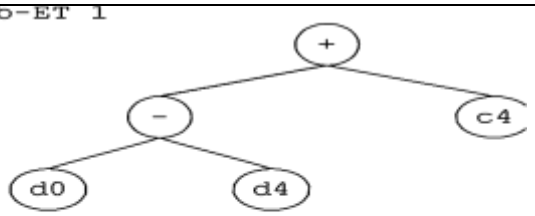
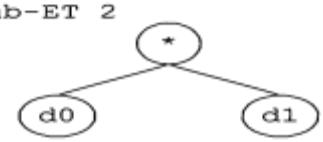
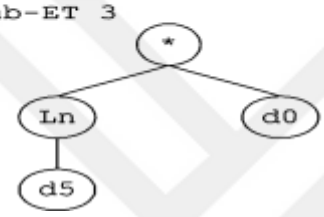
Şekil 4.33. Kilis istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.33. incelendiğinde, Kilis ili için DM01 modeli için sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 3 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun tamamında toplam 6 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM01 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde rüzgâr hızının tava buharlaşmasının hesaplanmasında, sıcaklığa nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.

	$d_0 + \sin\left(\left((c_6 - d_2)(c_6 d_2)\right)^2\right)$ $c_6 = 3.90792565691092;$
	$(d_1)^3$
	$\left(d_0 + \left(d_0 / c_3\right)\left(d_0 + d_1\right)\right) - c_4$ $c_4 = 5.73839533677175;$ $c_3 = 4.84658445997497;$

Şekil 4.34. Kilis istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.34.'te Kilis ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızının yanında, nisbi nem ile basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 4 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 2 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan sadece birinde 2 defa kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri ise hiçbir alt fonksiyonda kullanılmamıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın tava buharlaşmasının hesaplanmasında rüzgâr hızına, neme ve basınca nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında rüzgâr hızının da azımsanmayacak bir öneme sahip olduğu görülmektedir.

Sub-ET 1 	$(d_0 - d_4) + c_4$ c_4 = -7.85576952421644;
Sub-ET 2 	$d_0 d_1$
Sub-ET 3 	$(\ln d_5) d_0$

Şekil 4.35. Kilis istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Kilis ili DM03 modeline ait ifade ağacı ve formülü Şekil 4.35.'te verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun tamamında toplam 3 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun birinde toplam 1 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri ve basıncı temsil eden d3 değeri alt fonksiyonlardan hiçbirinde kullanılmamıştır. Açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri ve güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri üç alt fonksiyonun birinde sadece 1'er sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modele göre benzer bir sonuç ortaya çıkarak tava buharlaşma değerinin hesaplanmasında genelde sıcaklığın birinci etken, rüzgâr hızının ise ikinci ana etken olduğu görülmüştür.

Kilis ili için GEP yöntemi ile DM01, DM02 ve DM03 ile elde edilen formüllerin açık ve sadeleştirilmiş halleri sırasıyla Denklem 4.31, 4.32 ve 4.33'te verilmiştir.

$$PE = 0.823\tan\left(W^3T\right) + 0.713W^3 + 2.713W + \left(29.888T - 5.467T^2\right)^{2/3} \quad (4.31)$$

$$PE = T + \sin\left(14.273H - 3.908H^2\right)^2 + W^3 + \left(T^2 + W\right)/4.847 + T + 5.738 \quad (4.32)$$

$$PE = TW + T\ln SR + T - OD - 7.856 \quad (4.33)$$

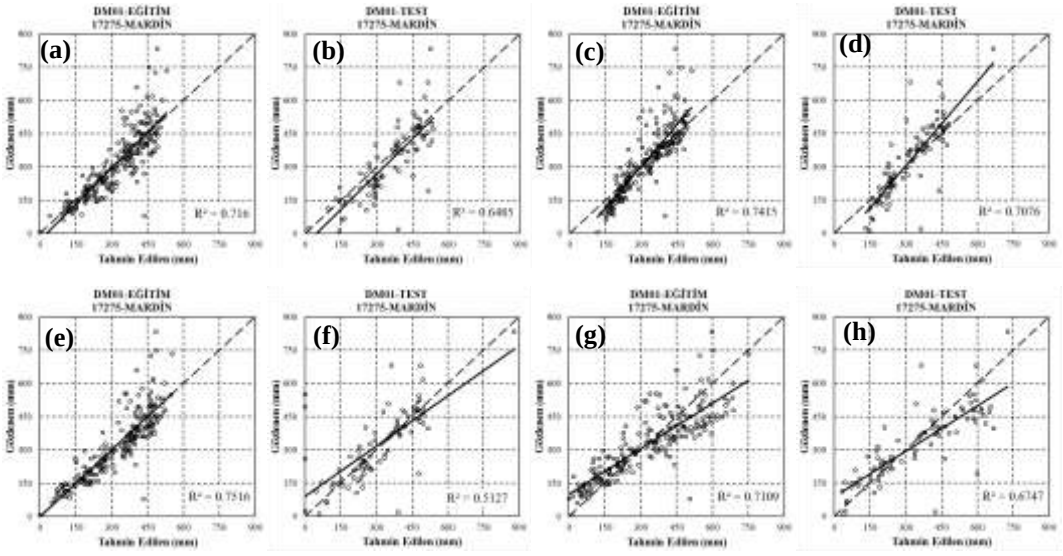
4.6. Mardin İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Mardin istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modellere göre Çizelge 4.13.'de verilmiştir. Burada karşılaştırma kriteri olarak R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem YSA olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.742, test sürecinde ise 0.708 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonunda ise test sürecinde 0.655 ile en yüksek R^2 değerini ÇDR yöntemi vermiştir. Bu nedenle DM02 için en iyi yöntem ÇDR olarak belirlenmiştir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen 0.666 ile en yüksek R^2 değerini ÇDR yöntemi vermiş olsa da diğer karşılaştırma parametreleri olan OKH ve OMH değerleri bakımından en uygun değerleri GEP yönteminin verdiği, ayrıca test sürecinde GEP yöntemi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0.666 R^2, 8553.26 OKH ve 58.43 OMH değerleri ile en başarılı yöntemin GEP olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.13. Mardin istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

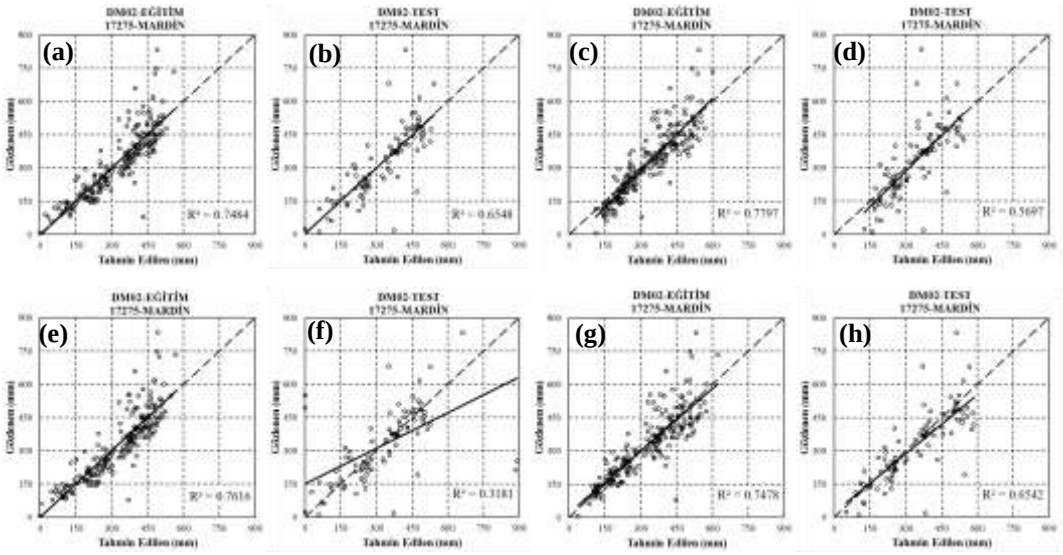
		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
ÇDR	Eğitim	0,716	6478,74	56,50	0,748	5650,85	51,65	0,752	5571,74	51,36
	Test	0,648	9854,86	71,14	**0,655**	**8826,50**	**60,23**	**0,666**	8574,38	58,98
YSA	Eğitim	0,742	6518,56	52,91	0,780	5173,14	53,18	0,626	8511,71	71,19
	Test	**0,708**	**8369,20**	**61,41**	0,570	11191,01	70,99	0,297	18870,12	103,88
ANFIS	Eğitim	0,752	5575,08	50,09	0,762	5351,82	50,38	0,793	4636,63	47,13
	Test	0,514	63044,13	91,45	0,318	29217,19	88,58	0,416	16807,10	85,92
GEP	Eğitim	0,711	9930,75	77,88	0,748	5733,95	51,99	0,783	4874,13	48,61
	Test	0,675	12501,56	77,82	0,654	9434,39	64,77	0,665	**8553,26**	**58,43**

Mardin istasyonu için kullanılan yöntemlerle elde edilen buharlaşma değerleri ile ölçülmüş buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri üç farklı kombinasyon için Şekil 4.36., 4.37. ve 4.38.'de verilmiştir. Şekil 4.36.'da DM01 için saçılım grafikleri incelendiğinde sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile buharlaşma tahmin etmek için kurulan modellerde YSA ve ANFIS yöntemlerinin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ancak ÇDR ve GEP yöntemlerinin ele alınan diğer yöntemlere nazaran daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA ve ÇDR yöntemleri ile yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde yaklaşık 450 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise tüm yöntemlerin eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM01 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde ÇDR yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin ölçülmüş değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Mardin istasyonuna ait DM01 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde YSA yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



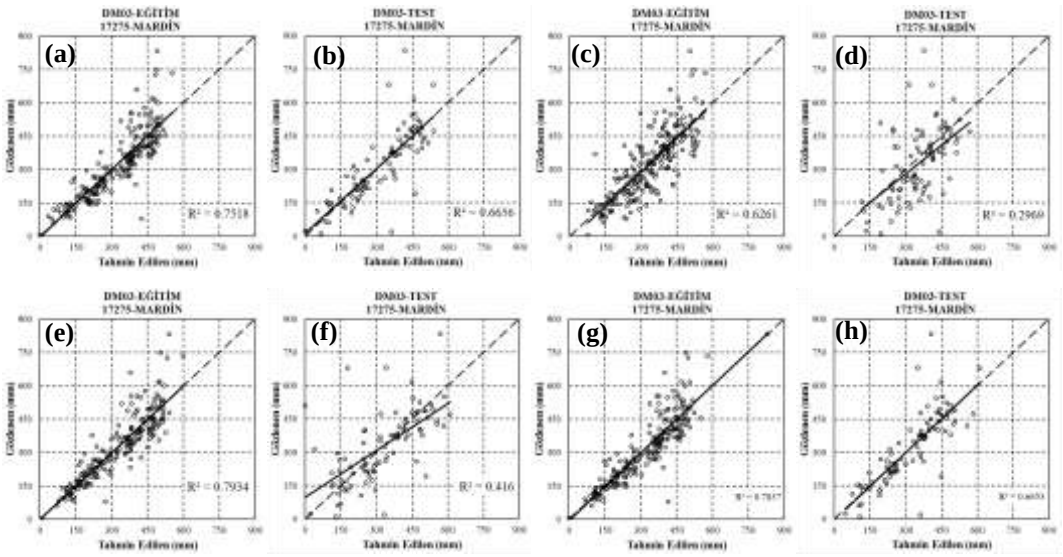
Şekil 4.36. DM01 için Mardin istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun saçılım grafikleri Şekil 4.37.'de verilmiştir. Burada DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA ve GEP yöntemleri ile yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 450 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde ANFIS yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde, 300 mm altındaki değerlerin ölçülmüş değerlerinden küçük, 300 mm üstündeki değerlerin ise ölçülmüş değerlerden daha büyük olacak şekilde tahmin edildiği görülmektedir. Bu sonuç Çizelge 4.13.'de verilmiş olan OKH ve OMH değerleri ile de örtüşmektedir. Mardin istasyonuna ait DM02 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ÇDR yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.37. DM02 için Mardin istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

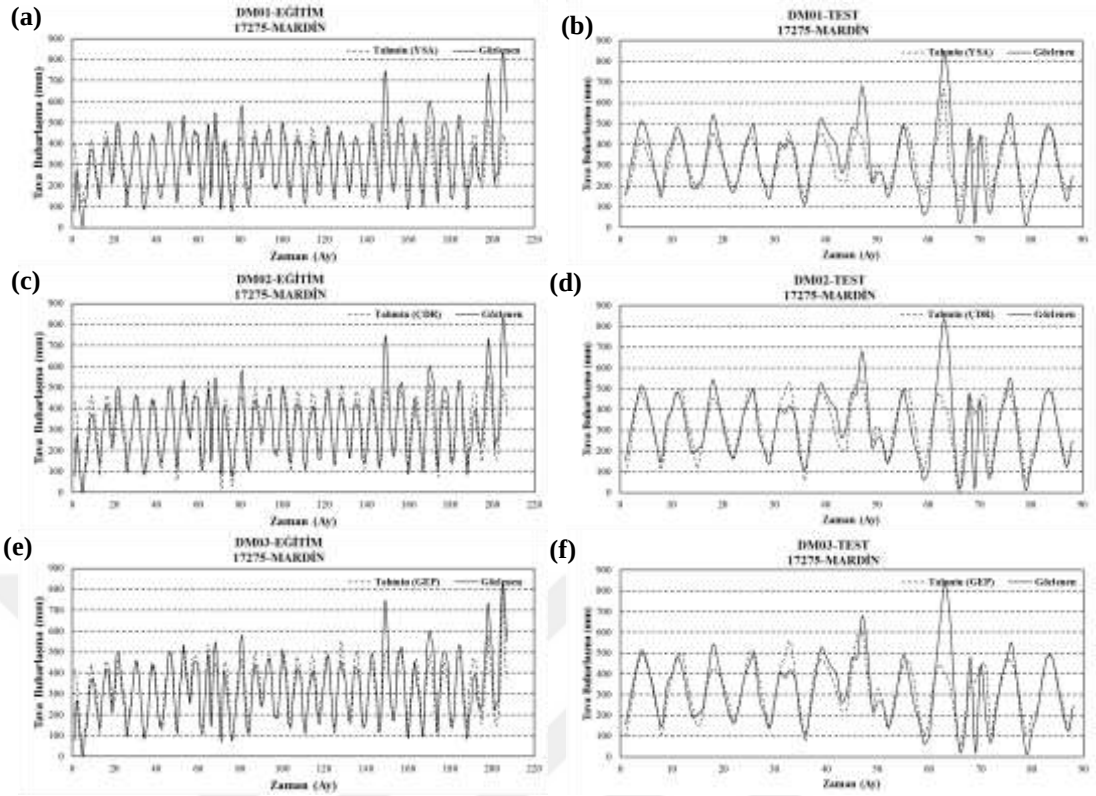
Tez kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 4.38.'de verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonları ile benzer bir şekilde YSA yönteminin yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 450 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve genelde ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA ve ANFIS yöntemlerinde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu görülmektedir. Yine test sürecinde en iyi R^2 değerine sahip YSA yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde 300 mm üstündeki değerlerin ise ölçülmüş değerlerden daha küçük olduğu görülmektedir. Mardin istasyonuna ait DM03 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.38. DM03 için Mardin istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için YSA yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda ÇDR yöntemi daha başarılı olmuştur, özellikle YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinde eklenen bu iki parametre buharlaşmayı tahmin etmede pek olumlu sonuçlar ortaya koymamıştır. DM03 modelinde ise benzer bir şekilde tüm yöntemin başarılı sonuç vermediği ancak GEP yönteminin buharlaşmayı tahmin etmede nispeten daha başaralı olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.39.'da Mardin istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01 için YSA, DM02 için ÇDR ve DM03 için ise GEP ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 450 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca DM02 ve DM03'ün 100-450 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede nispeten başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.39. Mardin istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı (a)DM01-YSA-Eğitim, b)DM01-YSA-Test, c)DM02-ÇDR-Eğitim, d)DM02-ÇDR-Test, e)DM03-GEP-Eğitim, f)DM03-GEP-Test)

4.6.1. Mardin istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları

Mardin istasyonunda tava buharlaşma değerinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı girdi kombinasyonu için ÇDR yöntemi ile kurulan modelin katsayıları Çizelge 4.14.'te yer almaktadır. Ayrıca bu yöntemle tava buharlaşmasının tahmini için elde edilen formüller Denklem 4.34, 4.35 ve 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.14. Mardin istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar

Kombinasyon	T	W	H	P	OD
DM01	19.029	-27.437			
DM02	23.676	24.760	1.694	-0.416	
DM03	21.798	25.179	2.153	-0.449	2.489

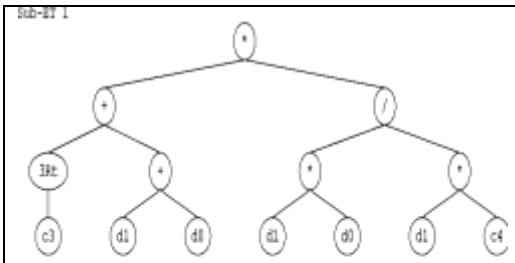
$$PE = 19.029T - 27.437W \quad (4.34)$$

$$PE = 23.676T + 24.760W + 1.694H - 0.416P \quad (4.35)$$

$$PE = 21.798T + 25.179W + 2.153H - 0.449P + 2.489OD \quad (4.36)$$

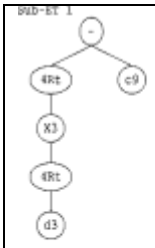
4.6.2. Mardin istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları

Şekil 4.40., 4.41. ve 4.42.'de GEP yöntemi ile elde edilen açık formüllerin ifade ağaçları ve her model için formüller verilmiştir.

	$\left(\sqrt[3]{c_3}+(d_1+d_0)\right)\left((d_1 d_0)/(d_1 c_4)\right)$ c_3 = -4.39252906888028; c_4 = -6.67165135654775;
	$\left((d_1-d_0)-\cos(c_1 d_1)\right)^2$ c_1 = -3.24747459334086;
	$\left(\tan\left(\tan(d_1)\right)\right)^2$

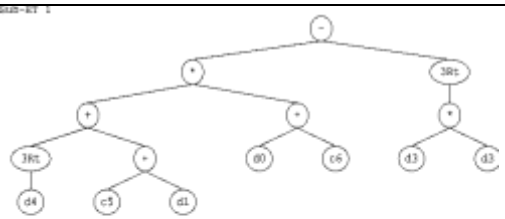
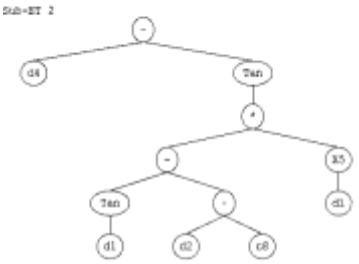
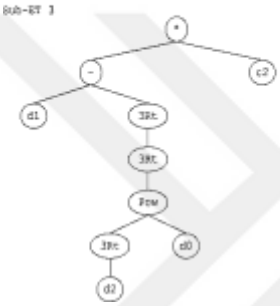
Şekil 4.40. Mardin istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.40. incelendiğinde, Mardin ili için DM01 modeli için sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 3 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun tamamında toplam 6 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM01 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde rüzgâr hızının, tava buharlaşmasının hesaplanmasında sıcaklığa nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.

	$\sqrt[4]{\left(\sqrt[4]{d_3}\right)^3} - c_9$ $c_9 = 8.89400921658986;$
	d_0
	$\left(\left(\left(d_0 d_0\right) + d_2\right) e^{c_4}\right) - \left(d_1 - d_1\right)$ $c_4 = -0.6503494369335;$

Şekil 4.41. Mardin istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.41.'de Mardin ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızının yanında, nisbi nem ile basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 3 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun birinde toplam 2 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri basıncı temsil eden d3 değeri alt fonksiyonlardan sadece birinde 1'er defa kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın tava buharlaşmasının hesaplanmasında rüzgâr hızına, neme ve basınca nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında rüzgâr hızı da azımsanmayacak bir öneme sahip olduğu görülmektedir.

	$\left(\sqrt[3]{d_4}+(c_5+d_1)\right)\left(d_0+c_6\right)-\sqrt[3]{d_3 d_3}$ c6 = 2.5125954051415; c_5 = 7.40126676329844;
	$d_4-\tan\left(\left(\tan\left(d_1\right)-\left(d_2-c_8\right)\right)\left(d_1\right)^5\right)$ c_8 = 1.93093356120487;
	$\left(d_1-\sqrt[3]{\sqrt[3]{\left(\sqrt[3]{d_2}\right)^{d_0}}}\right)c_2$ c_2 = -2.26190404980621;

Şekil 4.42. Mardin istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Mardin ili DM03 modeline ait ifade ağacı ve formülü Şekil 4.42.'de verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 2 sefer ve rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun tamamında toplam 4 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan ikisinde 2 defa kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri alt fonksiyonlardan birinde toplamda 2 sefer kullanılmıştır. Açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde 2 sefer kullanılmıştır Güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri verileri temin edilemediğinden dolayı kullanılamamıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modele göre benzer bir sonuç ortaya

çıkarak tava buharlaşma değerinin hesaplanmasında genelde sıcaklığın birinci etken, rüzgâr hızının ise ikinci ana etken olduğu görülmektedir.

Mardin ili için GEP yöntemi ile DM01, DM02 ve DM03 ile elde edilen formüllerin açık ve sadeleştirilmiş halleri sırasıyla Denklem 4.37, 4.38 ve 4.39'da verilmiştir.

$$PE = 0.244T + \left(\left(TW + T^2\right)/-6.72\right) + \left(W - T - \cos(-3.247W)\right)^2 + \left(\tan\left(\tan W\right)\right)^2 \quad (4.37)$$

$$PE = P^{3/16} + T + 0.522T^2 + 0.522H - 8.894 \quad (4.38)$$

$$PE = \left(OD^{1/3} + 7.401 + W\right)\left(T + 2.513\right) - P^{2/3} + OD - \tan\left(\tan(W + H + 1.931)W^5\right) - 2.262W + 2.262H^{T/27} \quad (4.39)$$

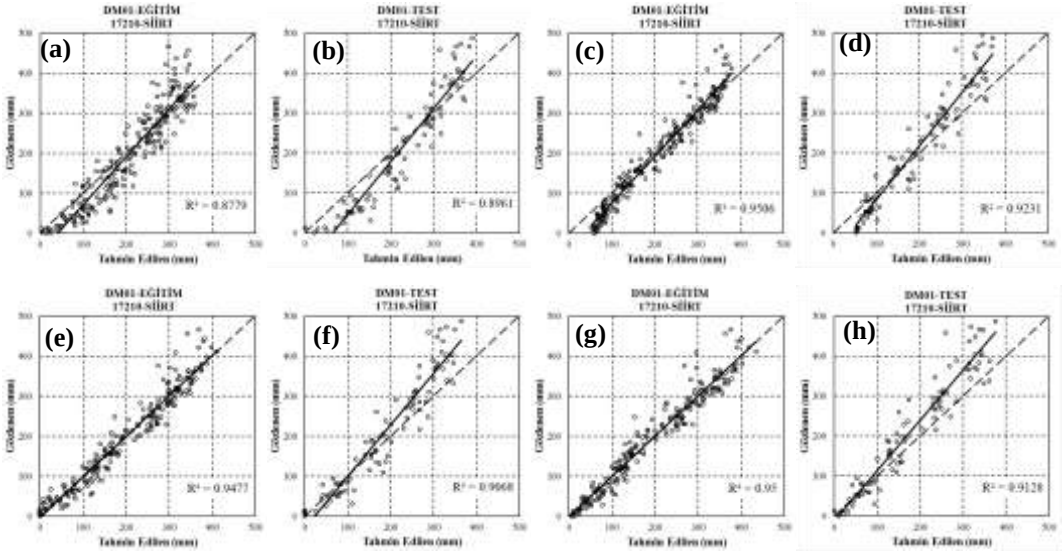
4.7. Siirt İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Siirt istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modellere göre Çizelge 4.15.'de verilmiştir. Burada karşılaştırma kriteri olarak R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem YSA olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.951, test sürecinde ise 0.922 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonun da ise test sürecinde 0.917 ile en yüksek R^2 değerini GEP yöntemi vermiş, OKH ve OMH değerleri de en düşük bu yöntemde çıkması sebebiyle DM02 için en iyi yöntem GEP olarak belirlenmiştir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0.922 R^2, 2890.13 OKH ve 37.15 OMH değerleri ile en başarılı yöntemin ANFIS olduğu görülmüştür. Özellikle DM02 ve DM03 kombinasyonlarının test sürecinde GEP yöntemi için OKH ve OMH değerleri bakımından yeni eklenen açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerlerinin sonuçları iyileştirmek yerine az da olsa arttırdığı görülmüştür. DM02'de GEP yöntemi için test sürecinde 2789.45 olan OKH değeri DM03'de 3054.75 değerine, OMH değeri ise 38.56 değerinden 39.64 değerine çıkmıştır.

Çizelge 4.15. Siirt istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

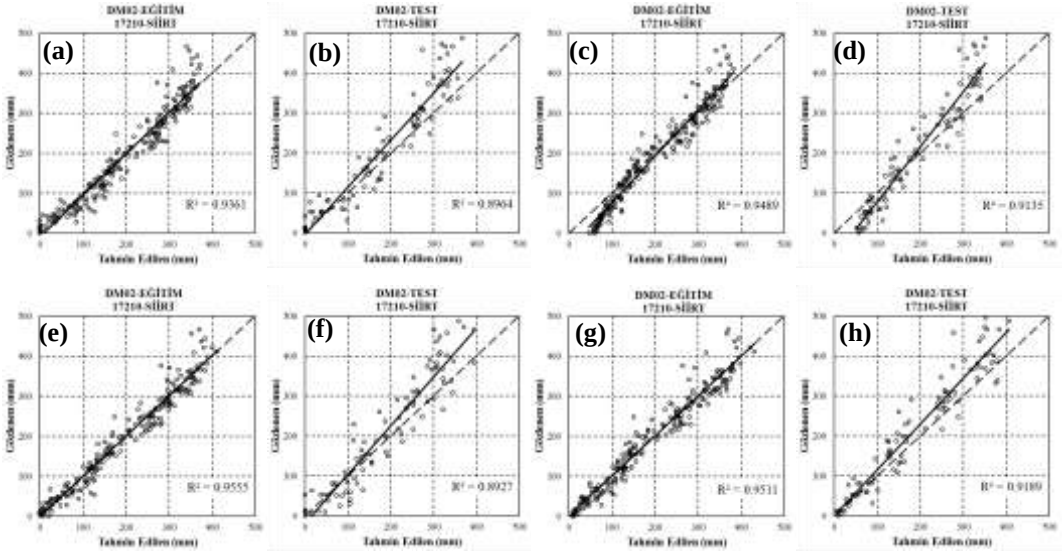
		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
ÇDR	Eğitim	0,878	2171,92	37,18	0,936	947,69	22,59	0,939	897,64	22,43
	Test	0,896	3321,78	46,77	0,896	3406,29	42,48	0,908	3376,03	40,89
YSA	Eğitim	0,951	1027,49	24,48	0,949	1033,71	25,00	0,950	989,75	24,73
	Test	**0,922**	**3115,88**	43,79	0,914	3402,20	43,78	0,917	**2663,39**	39,69
ANFIS	Eğitim	0,948	760,84	20,09	0,956	645,17	18,02	0,961	568,37	16,97
	Test	0,907	3413,77	**42,68**	0,893	3345,36	44,44	**0,922**	2890,13	**37,15**
GEP	Eğitim	0,950	725,05	19,40	0,951	709,12	19,16	0,952	695,71	18,85
	Test	0,913	3711,39	44,53	**0,917**	**2789,45**	**38,56**	0,922	3054,75	39,64

Siirt istasyonu için kullanılan yöntemlerle elde edilen buharlaşma değerleri ile ölçülmüş buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri üç farklı kombinasyon için Şekil 4.43., 4.44. ve 4.45.'te verilmiştir. Şekil 4.43.'te DM01 için saçılım grafikleri incelendiğinde sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile buharlaşma tahmin etmek için kurulan modellerde YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinin eğitim sürecinde başarılı sonuçlar verdiği, ancak ÇDR yönteminin ele alınan diğer yöntemlere nazaran daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde ÇDR ve YSA yöntemleri ile yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde yaklaşık 350 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise tüm yöntemlerin yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM01 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde GEP yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin, ölçülmüş değerlerden genelde daha büyük olduğu görülmektedir. DM01 için eğitim sürecinde başarılı sonuçlar veren ANFIS yöntemi, test sürecinde ise başarısız olmuş ve 100 mm üzerindeki ölçülmüş değerleri daha büyük olacak şekilde tahmin etmiştir. Siirt istasyonuna ait istasyonun DM01 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde YSA yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



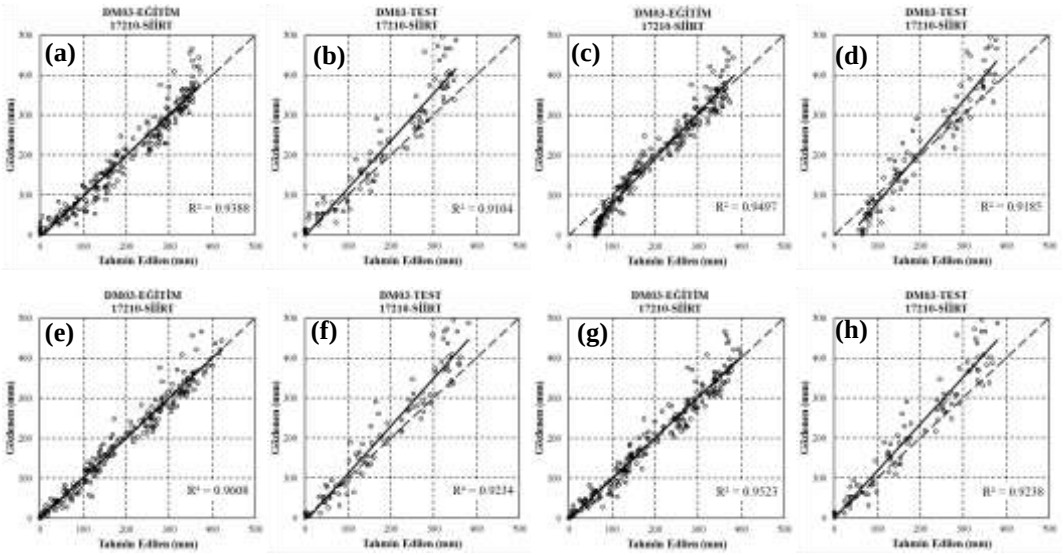
Şekil 4.43. DM01 için Siirt istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun saçılım grafikleri Şekil 4.44.'te verilmiştir. Burada DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA yöntemi ile yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 350 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu görülmektedir. Ayrıca DM02 için test sürecinde ANFIS yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde, ölçülmüş değerlerden daha küçük olacak şekilde tahmin edildiği görülmektedir. Siirt istasyonuna ait DM02 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.44. DM02 için Siirt istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

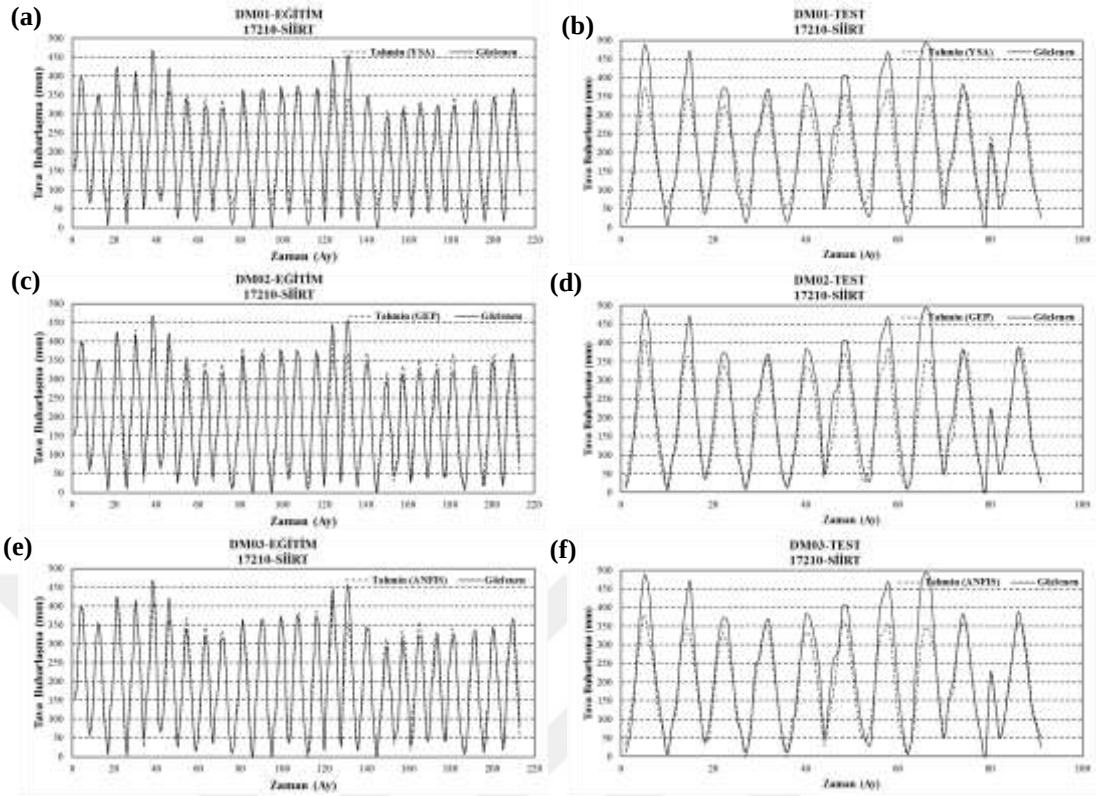
Tez kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 4.45.'te verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonları ile benzer bir şekilde YSA yönteminin yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 350 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 100 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olmuştur. GEP yöntemi için R^2 değeri yüksek olsa da OKH ve OMH değerleri bakımından ANFIS yöntemine göre daha başarısız olmuş ve bu durum Şekil 4.45.'ten anlaşılmaktadır. Siirt istasyonuna ait DM03 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ANFIS yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.45. DM03 için Siirt istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için YSA yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda GEP yöntemi daha başarılı olmuştur, özellikle ÇDR ve YSA yöntemlerinde eklenen bu iki parametre buharlaşmayı tahmin etmede pek olumlu sonuçlar ortaya koymamıştır. Meteorolojik verilerinden olan güneşlenme şiddetinin ve açık gün sayılarında eklemesi ile oluşturulan DM03 modelinde ANFIS yöntemini başarılı sonuçlar verdiği, benzer olarak buharlaşmayı tahmin etmede YSA yönteminin de azımsanmayacak öneme sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.46.'da Siirt istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01 için YSA, DM02 için GEP ve DM03 için ise ANFIS ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 400 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca DM02 ve DM03'ün 50-350 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.46. Siirt istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı (a)DM01-YSA-Eğitim, b)DM01-YSA-Test, c)DM02-GEP-Eğitim, d)DM02-GEP-Test, e)DM03-ANFIS-Eğitim, f)DM03-ANFIS-Test)

4.7.1. Siirt istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları

Siirt istasyonunda tava buharlaşma değerinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı girdi kombinasyonu için ÇDR yöntemi ile kurulan modelin katsayıları Çizelge 4.16.'da yer almaktadır. Ayrıca bu yöntemle tava buharlaşmasının tahmini için elde edilen formüller Denklem 4.40, 4.41 ve 4.42'de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Siirt istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar

Kombinasyon	T	W	H	P	OD	SR
DM01	12.684	-31.717				
DM02	12.599	21.049	-0.765	-0.069		
DM03	11.491	28.937	0.014	-0.155	2.366	0.021

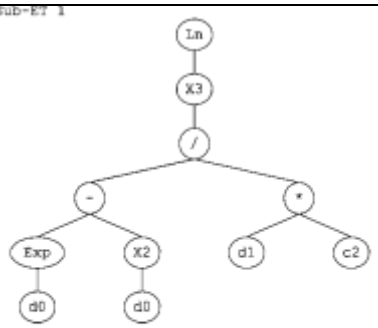
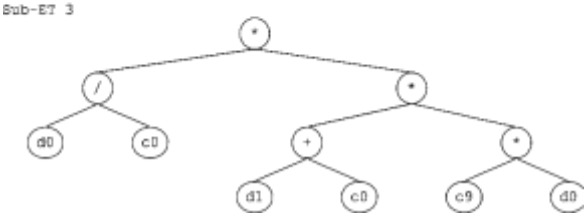
$$PE = 12.684T - 31.717W \quad (4.40)$$

$$PE = 12.599T + 21.049W - 0.765H - 0.069P \quad (4.41)$$

$$PE = 11.491T + 28.937W + 0.014H - 0.155P + 2.366OD - 0.021SR \quad (4.42)$$

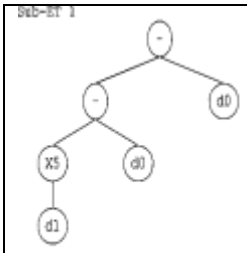
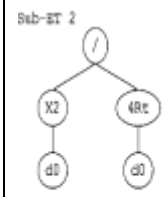
4.7.2. Siirt istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları

Şekil 4.47., 4.48. ve 4.49.'da GEP yöntemi ile elde edilen açık formüllerin ifade ağaçları ve her model için formüller verilmiştir.

Sub-ET 1 	$\ln\left(\left(\left(e^{(d_0)}-(d_0)^2\right)/(d_1c_2)\right)^3\right)$ c_2 = 8.51008636738182;
Sub-ET 2 	$c_2\left((d_1d_1)+c_9\right)^2 c_9$ c_2 = -0.809501789313611; c_9 = -2.01386571200366;
Sub-ET 3 	$(d_0/c_0)\left((d_1+c_0)(c_9d_0)\right)$ c_0 = 3.96678001743819; c_9 = 0.195896072026587;

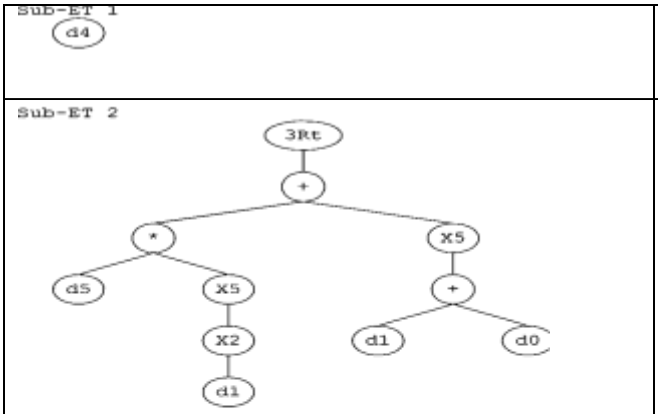
Şekil 4.47. Siirt istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.47. incelendiğinde, Siirt ili için DM01 modeli için sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 4 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun tamamında toplam 4 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM01 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde rüzgâr hızının, tava buharlaşmasının hesaplanmasında sıcaklığa nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.

	$\left(\left(d_1\right)^5 - d_0\right) - d_0$
	$\left(d_0\right)^2 / \sqrt[4]{d_0}$
	$\left(\left(\left(c_3 / d_2\right) - c_5\right) d_1\right) - \left(\left(d_1\right)^4 - \left(c_3 / d_1\right)\right)$ c_5 = -3.2183400982696; c_3 = 3.31217383342998;

Şekil 4.48. Siirt istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.48.'de Siirt ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızının yanında, nisbi nem ile basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 4 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri de üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 4 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan sadece birinde 1 defa kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri ise hiçbir alt fonksiyonda kullanılmamıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın ve rüzgâr hızının tava buharlaşmasının hesaplanmasında neme ve basınca nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.



d_4

$\sqrt[3]{d_5\left(\left(d_1\right)^2\right)^5+\left(d_1+d_0\right)^5}$

$c_8+\sqrt[3]{\sqrt[3]{\left(d_5\right)^4}-\left(\left(c_9\right)^4-d_4\right)}$

c_8 = -11.1416705355083;
c_9 = 8.00286873989074;

Şekil 4.49. Siirt istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Siirt ili DM03 modeline ait ifade ağacı ve formülü Şekil 4.49.'da verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun sadece birinde toplam 1 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri de üç alt fonksiyonun birinde toplam 2 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri ve basıncı temsil eden d3 değeri alt fonksiyonlardan hiçbirinde kullanılmamıştır. Açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri ve güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde 2'şer sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modelin aksine sonuç ortaya çıkarak tava buharlaşma değerinin hesaplanmasında açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti birinci etken, sıcaklığın ve rüzgâr hızının ise ikinci ana etken olduğu görülmektedir.

Siirt ili için GEP yöntemi ile DM01, DM02 ve DM03 ile elde edilen formüllerin açık ve sadeleştirilmiş halleri sırasıyla Denklem 4.43, 4.44 ve 4.45'te verilmiştir.

$$PE = \ln\left(\left(e^{T} - T^{2}\right)/\left(8.51W\right)\right)^{3} + 0.402\left(W^{2} - 2.014\right)^{2} + \left(0.005T^{2}W + 3.9670.005T^{2}\right) \quad (4.43)$$

$$PE = TW^{5} - T^{2} + T^{8} + \left(3.312W + 3.219WH\right)/H - \left(W^{4} - 3.312/W\right) \quad (4.44)$$

$$PE = OD + \left(SRW^{10} + \left(W + T\right)^{5}\right)^{1/3} + \left(SR^{4/3} + OD - 4101.878\right)^{1/3} - 11.142 \quad (4.45)$$

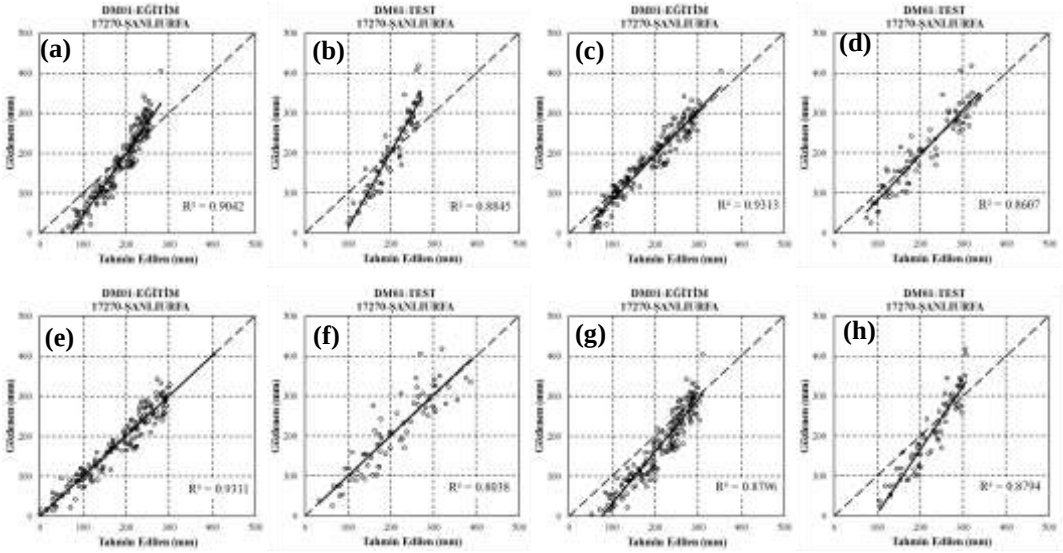
4.8. Şanlıurfa İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Şanlıurfa istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modellere göre Çizelge 4.17.'de verilmiştir. Burada karşılaştırma kriteri olarak verilen R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem YSA olarak belirlenmiştir. Burada, test sürecinde 0.885 ile en yüksek R^2 değerini ÇDR yöntemi vermiş olsa da diğer karşılaştırma parametreleri olan OKH ve OMH değerleri bakımından en uygun değerleri YSA yönteminin verdiği, ayrıca test sürecinde YSA yöntemi ile elde edilen R^2 değerinin de 0.861 olduğu görülmüştür. DM02 kombinasyonunda ise test sürecinde 0.989 ile en yüksek R^2 değerini ANFIS yöntemi vermiştir. Bu nedenle DM02 için en iyi yöntem ANFIS olarak belirlenmiştir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde 0.912 R^2, 1537.22 OKH ve 31.18 OMH değerleri ile en başarılı yöntemin GEP olduğu görülmüştür. Bunun yanında DM03 için ÇDR yönteminin OKH ve OMH değerleri açısından iyi sonuç verdiği ayrıca belirtmek gerekir. Özellikle ÇDR yöntemi ile tahmin edilen DM02 ve DM03 kombinasyonlarının OKH ve OMH değerleri bakımından yeni eklenen açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerlerinin sonuçları iyileştirdiği görülmüştür. ÇDR yöntemi için DM02'de 1602.30 olan OKH değeri ve 19.83 olan OMH değeri, DM03'de 1439.45 OKH ve 19.71 OMH değerine inmiştir.

Çizelge 4.17. Şanlıurfa istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

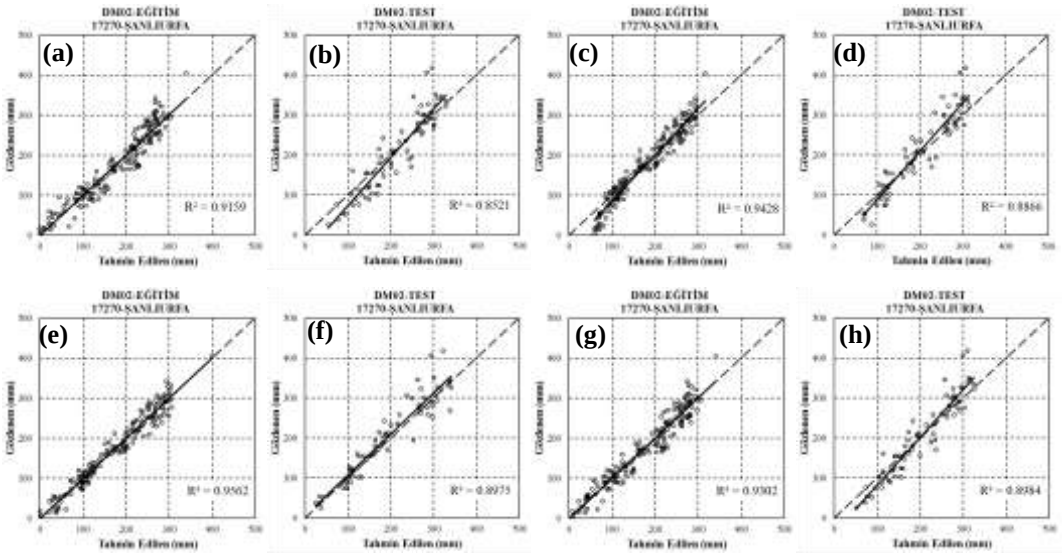
		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
ÇDR	Eğitim	0.904	1660.72	34.12	0.916	637.88	19.83	0.921	602.55	19.71
	Test	**0.885**	2937.07	44.95	0.852	1602.30	31.05	0.870	**1439.45**	**29.33**
YSA	Eğitim	0.931	647.27	20.09	0.943	568.35	18.94	0.944	542.28	18.48
	Test	0.861	**1416.08**	**29.81**	0.887	1359.01	27.88	0.892	1463.28	29.84
ANFIS	Eğitim	0.931	522.71	17.61	0.956	332.46	14.47	0.959	308.57	14.09
	Test	0.804	1807.71	33.13	**0.898**	**1050.58**	**22.62**	0.806	2340.95	33.97
GEP	Eğitim	0.880	2510.59	42.72	0.930	529.93	17.97	0.898	857.18	23.12
	Test	0.879	2586.54	42.99	0.898	1151.51	26.13	**0.912**	1537.22	31.18

Şanlıurfa istasyonu için kullanılan yöntemlerle elde edilen buharlaşma değerleri ile ölçülmüş buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri üç farklı kombinasyon için Şekil 4.50., 4.51. ve 4.52.'de verilmiştir. Şekil 4.50.'de DM01 için saçılım grafikleri incelendiğinde sıcaklık ve rüzgâr hızı değerleri ile buharlaşma tahmin etmek için kurulan modellerde YSA ve ANFIS yöntemlerinin eğitim sürecinde başarılı sonuçlar verdiği, ancak ÇDR ve GEP yönteminin ele alınan diğer yöntemlere nazaran daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde ÇDR, YSA ve GEP yöntemleri ile yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise ÇDR, YSA ve GEP yöntemlerinin eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM01 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca test sürecinde en iyi R^2 değerine sahip ÇDR yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde, 250 mm'ye kadar olan ölçülmüş değerlerden daha büyük olduğu, 250 mm'den daha fazla olan ölçülmüş değerlerden daha küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuç Çizelge 4.17.'de verilmiş olan OKH ve OMH değerleri ile de örtüşmektedir. DM01 için eğitim sürecinde başarılı sonuçlar veren ANFIS yönteminin test sürecinde ise başarılı olmadığı Şekil.4.50.'deki (f) saçılım grafiğinden anlaşılmaktadır. Şanlıurfa istasyonuna ait DM01 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde YSA yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



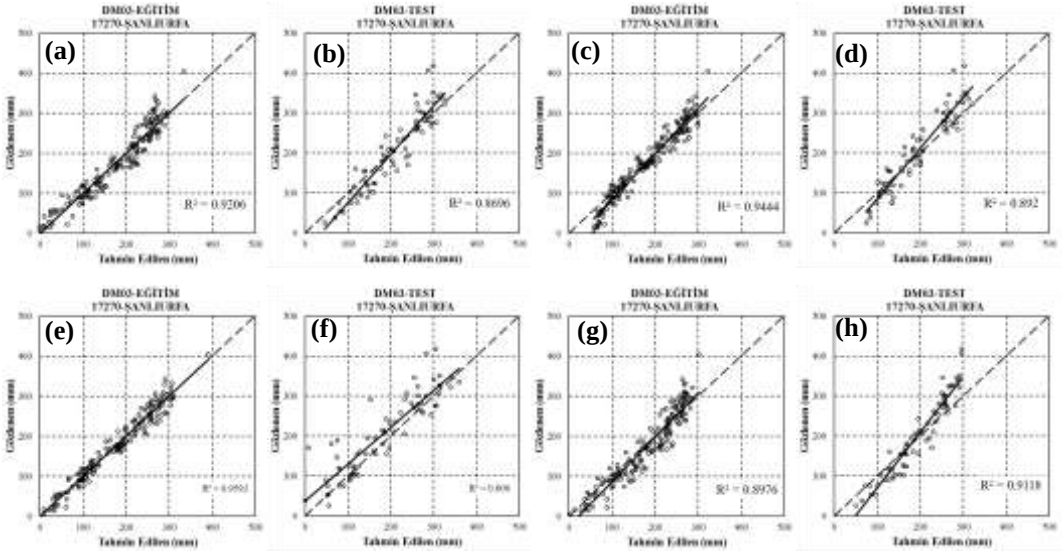
Şekil 4.50. DM01 için Şanlıurfa istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

Sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun saçılım grafikleri Şekil 4.50.'de verilmiştir. Burada DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde YSA yöntemi ile yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği, DM02 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu görülmektedir. Şanlıurfa istasyonuna ait DM02 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde ANFIS yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.51. DM02 için Şanlıurfa istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

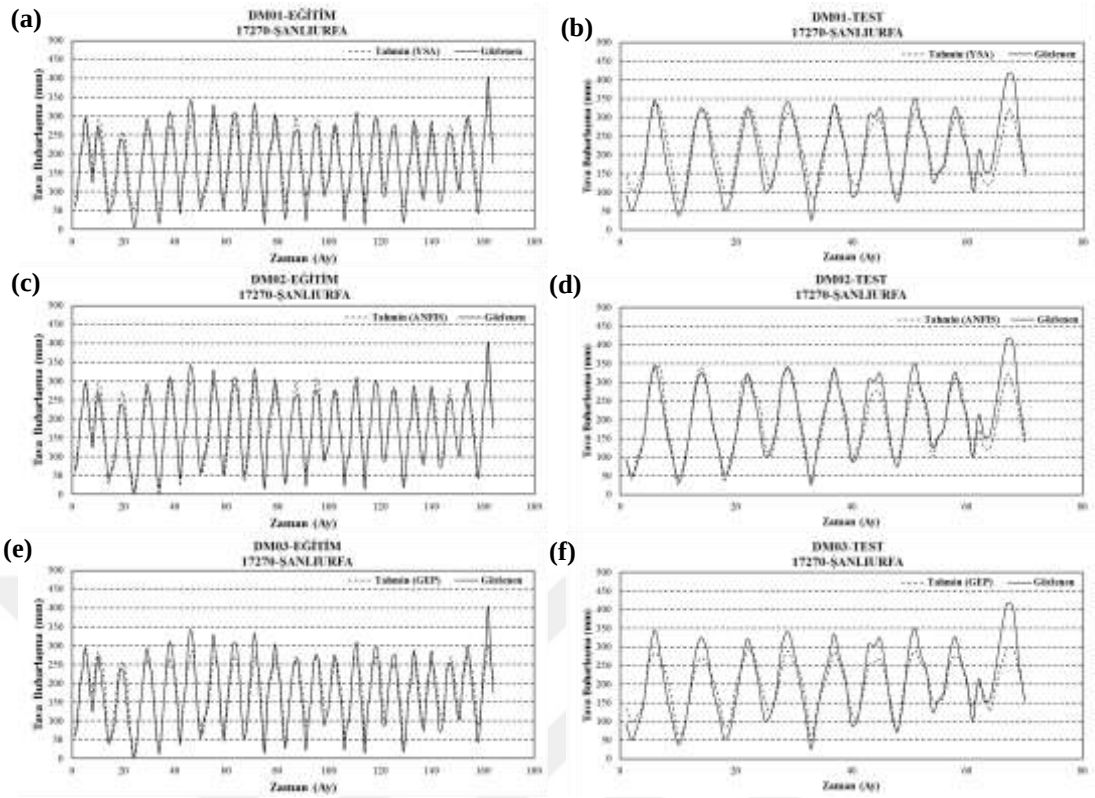
Tez kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 4.52.'de verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonları ile benzer bir şekilde YSA yönteminin yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu ve ANFIS yönteminin ise ölçülen değerlerden daha büyük bir değer tahmin ettiği, DM03 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Şanlıurfa istasyonuna ait DM03 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.52. DM03 için Şanlıurfa istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri (a)ÇDR-Eğitim, b)ÇDR-Test, c)YSA-Eğitim, d)YSA-Test, e)ANFIS-Eğitim, f)ANFIS-Test, g)GEP-Eğitim, h) GEP-Test)

DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için YSA yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda ANFIS yöntemi daha başarılı olmuştur, özellikle YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerinde eklenen bu iki parametre buharlaşmayı tahmin etmede olumlu sonuçlar ortaya koymuştur. Buharlaşmanın ana etken parametrelerinden biri olan güneşlenme şiddetinin ve açık gün sayılarında eklemesi ile oluşturulan DM03 modelinde buharlaşmayı tahmin etmede ÇDR ve GEP yöntemlerinin başarılı olduğu, bu iki yöntemi kıyaslanması noktasında GEP yönteminin biraz daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Şekil 4.53.'te Şanlıurfa istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01 için GEP, DM02 ve DM03 için ise ÇDR ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 80 mm altındaki değerlerin ve 300 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca DM02 ve DM03'ün 100-250 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.53. Şanlıurfa istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı (a)DM01-YSA-Eğitim, b)DM01-YSA-Test, c)DM02-ANFIS-Eğitim, d)DM02-ANFIS-Test, e)DM03-GEP-Eğitim, f)DM03-GEP-Test)

4.8.1. Şanlıurfa istasyonu için çoklu doğrusal regresyon sonuçları

Şanlıurfa istasyonunda tava buharlaşma değerinin tahmin edilmesi amacıyla üç farklı girdi kombinasyonu için ÇDR yöntemi ile kurulan modelin katsayıları Çizelge 4.18.'de yer almaktadır. Ayrıca bu yöntemle tava buharlaşmasının tahmini için elde edilen formüller Denklem 4.46, 4.47 ve 4.48'de verilmiştir.

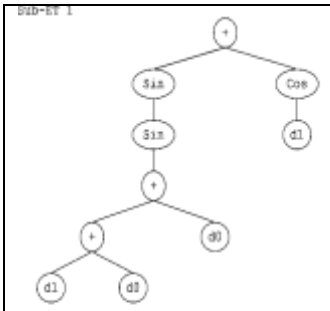
Çizelge 4.18. Şanlıurfa istasyonu için ÇDR yöntemine göre elde edilen katsayılar

Kombinasyon	T	W	H	P	OD	SR
DM01	7.167	10.160				
DM02	9.827	33.693	-0.227	-0.105		
DM03	8.425	28.578	-0.351	-0.100	0.396	0.074

$$PE = 7.167T - 10.160W \quad (4.46)$$
$$PE = 9.827T + 33.693W - 0.227H - 0.105P \quad (4.47)$$
$$PE = 8.425T + 28.578W - 0.351H - 0.100P + 0.396OD + 0.074SR \quad (4.48)$$

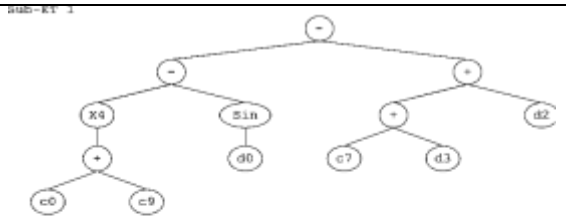
4.8.2. Şanlıurfa istasyonu için gen ekspresyon programlama sonuçları

Şekil 4.54., 4.55. ve 4.56.'da GEP yöntemi ile elde edilen açık formüllerin ifade ağaçları ve her model için formüller verilmiştir.

	$\sin\left(\sin\left(\left(d_1+d_0\right)+d_0\right)\right)+\cos\left(d_1\right)$
	d_0
	$\left(c_8-c_3\right)+\left(c_6d_0\right)+\left(c_6d_0\right)+d_0$ c_8 = -6.69301431318094; c_3 = -7.22464674825282; c_6 = 3.4873500778222;

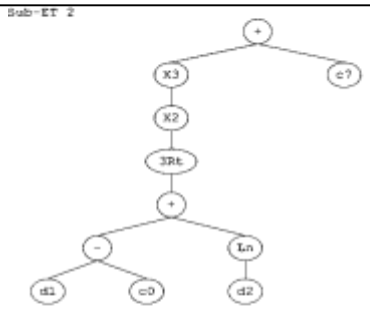
Şekil 4.54. Şanlıurfa istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM01 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.54. incelendiğinde, Şanlıurfa ili için DM01 modeli için ortalama sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun tamamında toplam 6 sefer kullanıldığı görülmüştür. rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun birinde toplam 2 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM01 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın, tava buharlaşmasının hesaplanmasında rüzgâr hızına nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır.



$$\left(\left(c_0+c_9\right)^4-\sin(d_0)\right)-\left(\left(c_7+d_3\right)+d_2\right)$$

c_7 = -7.46435731298257;
c_0 = -4.06330699700919;
c_9 = -1.48217133125159;



$$\left(\left(\sqrt[3]{\left(\left(d_1-c_0\right)+\ln(d_2)\right)}\right)^2\right)^3+c_7$$

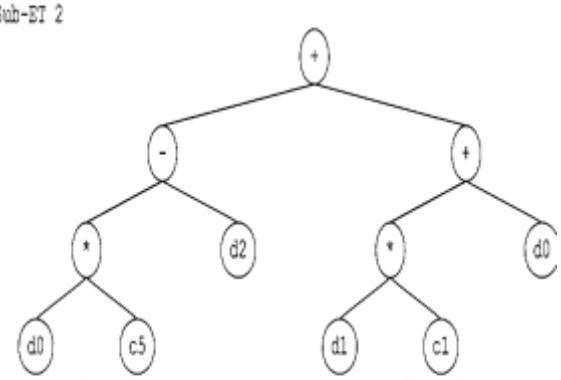
c_7 = 6.64358129384747;
c_0 = -2.01959717991692;



$$\left(\sqrt[4]{\sqrt[4]{\left(\ln(d_1)^2+d_0\right)^5}}\right)^5$$

Şekil 4.55. Şanlıurfa istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şekil 4.55.'te Şanlıurfa ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızının yanında, nisbi nem ile ortalama basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde ortalama sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 2 sefer kullanıldığı görülmüştür. Aynı şekilde rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ve nemi temsil eden d2 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 2'şer sefer kullanılmıştır. Ayrıca basıncı temsil eden d3 değeri üç alt fonksiyonun sadece birinde toplam 1 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın, rüzgâr hızının ve nemin tava buharlaşmasının hesaplanmasında aynı etki ettiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında basıncın nispeten daha az bir öneme sahip olduğu görülmektedir.

Sub-ET 1 	d_0
Sub-ET 2 	$\left(\left(d_0 c_5\right)-d_2\right)+\left(\left(d_1 c_1\right)+d_0\right)$ c_5 = 6.76076540421766; c_1 = 8.29950865199744;
Sub-ET 3 	c_6 c_6 = 6.67897579882199;

Şekil 4.56. Şanlıurfa istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

Şanlıurfa ili DM03 modeline ait ifade ağacı ve formülü Şekil 4.56.'da verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, ortalama sıcaklık, , rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde ortalama sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 3 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ve nemi temsil eden d2 değeri üç alt fonksiyonun birinde toplam 1'er sefer kullanılmıştır. Ayrıca basıncı temsil eden d3 değeri, açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri ve güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri üç alt fonksiyonun hiçbirinde kullanılmamıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modele göre benzer bir sonuç ortaya çıkarak tava buharlaşma değerinin hesaplanmasında genelde sıcaklığın birinci etken, rüzgâr hızının ise ikinci ana etken olduğu görülmektedir.

Şanlıurfa ili için GEP yöntemi ile DM01, DM02 ve DM03 ile elde edilen formüllerin açık ve sadeleştirilmiş halleri sırasıyla Denklem 4.49, 4.50 ve 4.51'de verilmiştir.

$$PE = \sin\left(\sin\left(2T + W\right)\right) + \cos\left(W\right) + 8.974T \tag{4.49}$$

$$PE = \left(945.379 - \sin T\right) - P - H + \left(W + \ln W + 2.02\right)^2 + \left(\ln W^2 + T\right)^{25/16} + 14.104 \tag{4.50}$$

$$PE = 8.76T - 7.3W + 6.679 \tag{4.51}$$

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada GAP bölgesindeki Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt ve Şanlıurfa illeri için aylık tava buharlaşma değerleri Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), Yapay Sinir Ağları(YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Gen Ekspresyon Programlama(GEP) yöntemleri ile tahmin edilmiştir. Adı geçen iller için 1927 yılından itibaren ölçülen aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama rüzgâr hızı, aylık ortalama nisbi nem, aylık ortalama aktüel basınç, aylık açık günler sayısı ve günlük toplam güneşlenme şiddeti aylık ortalaması meteorolojik değişkenlerini içeren çeşitli girdi kombinasyonları (DM01, DM02 ve DM03) için yukarıda sözü edilen yöntemler kullanılarak aylık tava buharlaşması tahminleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İstasyonlara ait verilerin %70'i eğitim sürecinde, %30'u test sürecinde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

Adıyaman istasyonunda tava buharlaşma değerini tahmin etmede en başarılı yöntemin DM01 için GEP, DM02 ve DM03 için ise ÇDR yöntemi olmuştur. Ayrıca üç kombinasyon için de 400 mm üzeri buharlaşma tahmininde ele alınan yöntemlerin başarılı olmadığı görülmüştür.

Batman istasyonunda, tava buharlaşmasını tahmin etmede ele alınan tüm girdi kombinasyonları için (DM01, DM02 ve DM03) için GEP yönteminin en başarılı yöntem olduğu belirlenmiştir. Burada test en yüksek R^2 değeri DM02 için 0.914 olarak belirlenmiş olsa da özellikle tahmin edilen buharlaşma değerlerinin ölçülen verilerden oldukça düşük olduğu ve özellikle yaklaşık 50 mm altındaki değerler ile yaklaşık 300 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı görülmüştür.

Diyarbakır istasyonunda DM01, DM02 ve DM03 için tava buharlaşma değerini tahmin etmede en başarılı yöntemin sırasıyla GEP, ANFIS ve GEP yöntemleri olduğu belirlenmiştir. Özellikle DM02'de GEP yönteminin R^2 değeri ANFIS yöntemi ile elde

edilen R^2 değerinden yüksek olmasına rağmen OKH ve OMH kriterlerine göre en başarılı yöntem ANFIS olarak belirlenmiştir. Bu modeller ile Diyarbakır istasyonunda 100-350 mm arasındaki tava buharlaşma değerlerinin oldukça başarılı bir şekilde tahmin edildiği görülmüştür.

Gaziantep istasyonunda tüm girdi kombinasyonları için GEP yönteminin başarılı olduğu, kombinasyonlar içerisinde de DM03'ün en başarılı girdi kombinasyonu olduğu belirlenmiştir. Gaziantep istasyonunda da diğer istasyonlara benzer bir şekilde yaklaşık 300 mm üzerindeki tava buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı görülmüştür.

Kilis istasyonunda tava buharlaşma değerini tahmin etmede en başarılı yöntemin DM01 için GEP, DM02 için ANFIS ve DM03 için ise ÇDR yöntemi olmuştur. Ayrıca üç kombinasyon için de 50-250 mm arası buharlaşma tahmininde ele alınan yöntemlerin başarılı olduğu görülmüştür.

Mardin istasyonunda, tava buharlaşmasının tahmin edilmesi için tez çalışmasında ele alınan kombinasyonlardan DM01 için YSA, DM02 için ÇDR ve DM03 için ise GEP yöntemleri daha başarılı olmuştur. Özellikle DM02 ve DM03 modellerinin 100-450 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Siirt istasyonunda DM01, DM02 ve DM03 için tava buharlaşma değerini tahmin etmede en başarılı yöntemin sırasıyla YSA, GEP ve GEP yöntemleri olduğu belirlenmiştir. Özellikle DM03'de GEP yönteminin R^2 değeri, ANFIS yöntemi ile elde edilen R^2 değeriyle aynı olmasına rağmen OKH ve OMH kriterlerine göre en başarılı yöntem ANFIS olarak belirlenmiştir. Bu modeller ile Siirt istasyonunda 50-350 mm arasındaki tava buharlaşma değerlerinin oldukça başarılı bir şekilde tahmin edildiği görülmüştür.

Şanlıurfa istasyonunda girdi kombinasyonları arasında DM01 için YSA, DM02 için ANFIS ve DM03 için ise GEP yönteminin başarılı olduğu, kombinasyonlar içerisinde de DM03'ün en başarılı girdi kombinasyonu olduğu belirlenmiştir. Şanlıurfa istasyonunda da diğer istasyonlara benzer bir şekilde 100-250 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Tüm istasyonlar için farklı yöntemlerle yapılan tava buharlaşma tahminleri incelendiğinde, GEP ve ÇDR yöntemlerinin başarılı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Açık formül vermeleri nedeniyle GEP ve ÇDR yöntemleri uygulayıcılar açısından daha kullanışlı olmaktadır. Ayrıca, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı parametrelerinin girdi olarak ele alındığı DM01 kombinasyonun az girdi verisine ihtiyaç duymasına rağmen oldukça başarılı sonuçlar verdiği ve uygulamada başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

ABUDU, S., CHUI, C., KING, J.P., MORENO, J. and BAWAZIR, A.W., 2011. Modeling of Daily Pan Evaporation Using Partial Least Squares Regression. Science China Technological Sciences, 54(1): 163–174.

ALI, J. and SARAF, S., 2015. Evaporation Modelling by using Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Technique. G.B. Pant University of Agriculture & Technology, 5(4): 125-133.

ALLAWI, F.M. and EL-SAHIFE , A., 2016. Utilizing RBF-NN and ANFIS Methods for Multi-Lead ahead Prediction Model of Evaporation from Reservoir. Water Resources Management, 30(13): 4773–4788.

ANTONOPOULOS, V.Z., GIANNIOU, S.K. and ANTONOPOULOS, A.V., 2015. Artificial Neural Networks and Empirical Equations to Estimate Daily Evaporation Application to Lake Vegoritis Greece. Hydrological Sciences Journal, 61(14): 2590-2599.

ARANKUMAR, R., JOTHIPRAKASH, V. and 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.

ARIAPOUR, A. and NASSAJI, Z.M., 2011. Estımatıon of Daily Evaporatıon Using of Artificial Neural Networks. Borujerd Meteorologıcal Station, 1(2): 125-132.

BABA, A.P., SHIRI, J., KISI, O., FARD, A.F., KIM, S. and AMINI, R., 2013. Estimating Daily Reference Evapotranspiration Using Available and Estimated Climatic Data by Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS) and Artificial Neural Network (ANN).Hydrology Research, 44(1): 131-146.

BENZAGHTA, M.A., 2014. Estimation of Evaporation from a Reservoir in Semi arid Environments Using Artificial Neural Network and Climate Based Models. British Journal of Applied Science & Technology, 4(24): 3501-3518.

CHAUDHARI, N.D. and CHAUDHARI, N.N., 2016. One Day Ahead Forecast of Pan Evaporation at Pali Using Genetic Programming. Advances in Intelligent Systems and Computing, 456: 117-125.

CHUNG, C.H., CHIANG, Y.M. and CHANG, F.J., 2012. A Spatial Neural Fuzzy Network for Estimating Pan Evaporation at Ungauged Sites. <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/255/2012/ >, (ET:21.02.2018)

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2017. < http://www.dsi.gov.tr/projeler/ataturk-baraji>, (ET: 23.02.2018)

DOĞAN, E., ISIK, S. and SANDALCI, M., 2007. Günlük Buharlaşmanın Yapay Sinir Ağları Kullanarak Tahmin Edilmesi. IMO Teknik Dergi, 271: 4119-4131.

FERREIRA, C., 2001. Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm For Solving Problems. Complex Systems, 13(2): 87-129.

GAVILI, S., SANIKHANI, H., KISI, O. and MAHMOUDI, M.H., 2017. Evaluation of Several Soft Computing Methods in Monthly Evapotranspiration Modelling. Meteorological Applications, 25(1): 128–138.

GOYAL, M. K., BHARTI, B., QUILTY J., ADAMOWSKI, J. and PANDEY, A., 2014. Modeling of Daily Pan Evaporation in Sub Tropical Climates Using ANN, LS-SVR, Fuzzy Logic, and ANFIS. Expert Systems with Applications, 41(11): 5267-5276.

GUMUS, V., SİMSEK, O., SOYDAN N.G., AKOZ, M.S. and YENIGUN, K., 2016. Adana İstasyonunda Buharlaşmanın Farklı Yapay Zeka Yöntemleri İle Tahmini. DÜMF Mühendislik Dergisi, 7(2): 309-318.

GUVEN, A. and KISI, O., 2011. Daily Pan Evaporation Modeling Using Linear Genetic Programming Technique. Irrigation Science, 29(2): 135–145.

GUVEN, A. and KISI, O., 2013. Monthly Pan Evaporation Modeling Using Linear Genetic Programming. Journal of Hydrology, 503: 178-185.

JANG, J.S., 1993. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. Systems Man And Cybernetics IEEE Transactions On, 23(3): 665-685.

KISI, O., SHIRI, J. ve NIKOOFAR, B., 2012. Forecasting Daily Lake Levels Using Artificial Intelligence Approaches. Computers & Geosciences, 41: 169-180.

KUMAR, P., KUMAR, D., JAIPAUL, A. and TIWARI, K., 2012. Evaporation Estimation Using Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Techniques. Pakistan Journal of Meteorology, 8(16): 81-88.

LIPPMAN, R., 1987. An Introduction To Computing With Neural Nets. IEEE ASSP Mag, 4: 4-22

MARQUARDT, D., 1963. An Algorithm for Least Squares Estimation of Non-Linear Parameters. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11(2): 431-441

MOGHADDAMNIA, A., GOUSHEH, M.H., PIRI, J., AMIN, S. and HAN, D., 2009. Evaporation Estimation Using Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-fuzzy Inference System Techniques. Advances in Water Resources, 32: 88-97.

RAHIMIKHOOB, A., 2009. Estimating Daily Pan Evaporation Using Artificial Neural Network in a Semi-arid Environment. Theoretical and Applied Climatology, 98(1): 101–105

SANIKHANI, H., KISI, O., NIKPOUR, M.R. and DINPASHOH, Y., 2012. Estimation of Daily Pan Evaporation Using Two Different Adaptive Neuro-Fuzzy Computing Techniques. Water Resources Management, 26(15): 4347–4365.

TABARI, H., TALAEE, P.H. and ABGHARI, H., 2012. Utility of Coactive Neuro-fuzzy Inference System for Pan Evaporation Modeling in Comparison with Multilayer Perceptron. Meteorology and Atmospheric Physics, 116(3–4): 147–154.

TABARI, H., MAROFI, S. and SABZIPARVAR, A., 2010. Estimation of Daily Pan Evaporation Using Artificial Neural Network and Multivariate Non-linear Regression. Irrigation Science, 28(5): 399–406.

TERZİ ,Ö., 2012(2013). Daily Pan Evaporation Estimation Using Gene Expression Programming and Adaptive Neural-based Fuzzy Inference System. Neural Computing and Applications, 23(3–4): 1035–1044.

TEZEL, G. and BUYUKYILDIZ, M., 2016. Monthly Evaporation Forecasting Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines. Theoretical and Applied Climatology, 124(1–2): 69–80.

PARTAL, R., 2003. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş - 1, Nobel Yayın Evi. Ankara.

SHIRI, J. and KISI, O., 2011. Application of Artificial Intelligence to Estimate Daily Pan Evaporation Using Available and Estimated Climatic Data in the Khozestan Province (South Western Iran). Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 137(7): 1943-4774.

SHIRI, J., DIERICKYX, W., POUR-ALIBABA, A., NEAMATI, S. and GHORBANI, M.A., 2011. Estimating Daily Pan Evaporation From Climatic Data of The State Of Illinois, USA Using Adaptive Neuro-Fuzzy İnference System (ANFIS) and Artificial Neural Network (ANN). Hydrology Research, 42(6) :491-502.

SHIRSATH, P.B. and SINGH A.K., 2010. A Comparative Study of Daily Pan Evaporation Estimation Using ANN, Regression and Climate Based Models. Water Resources Management, 24(8): 1571–1581.

WANG, L., NIU, Z., KISI, O., LI, C. and YU, D., 2017. Pan Evaporation Modeling Using Four Different Heuristic Approaches. Computers and Electronics in Agriculture, 140: 203-213.

WANG, L., KISI, O., ZOUNEMAT-KERMANI, M. and LI, H., 2017. Pan Evaporation Modeling Using Six Different Heuristic Computing Methods İn Different Climates of China. Journal of Hydrology, 544: 407-427.

WANG, S., FU Z., CHEN, H., NIE, Y. and WANG, K., 2016. Modeling Daily Reference ET in the Karst Area of Northwest Guangxi (China) Using Gene Expression Programming (GEP) and Artificial Neural Network (ANN). Theoretical and Applied Climatology, 126(3–4): 493–504.

WU, J.D., HSU, C.C. ve CHEN, H.C., 2009. An Expert System Of Price Forecasting For Used Cars Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference. Expert Systems with Applications, 36(4): 7809-7817.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:	Yunus YEŞİLTAŞ
Uyruğu	:	T.C.
Doğum Yeri ve Yılı	:	Siverek/1993
Telefon	:	+90 537 851 54 43
E mail	:	yunusyesiltas@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	**Adı**	**Bitirme Yılı**	**Bitirme Notu**
Lise	Siverek Anadolu Lisesi	2010	80.93/100
Lisans	Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2014	3.60/4.00
Lisans	Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Uluslararası İlişkiler Bölümü	2017	2.86/4.00
Lisans	Dicle Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Bölümü	Devam	Devam
Yüksek Lisans	Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	2018	3.85/4.00

İŞ DENEYİMİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2015-Devam Ediyor	Siverek Belediyesi	İnşaat Mühendisi

DİĞER UZMANLIK ALANLARI

Yıl	**Alan**
2015-Devam Ediyor	İSG Uzmanlığı

YER ALDIĞI PROJELER

Yıl	**Kurum**	**Proje No**
2018	HÜBAK	18013