

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERGENE HAVZASINDA AYÇİÇEĞİ SULAMA
SUYU İHTİYACININ
İKLİM VERİLERİ TEMELLİ SEZGİSEL YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Muzaffer SANDALCI

ARALIK - 2024

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT NÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERGENE HAVZASINDA AYÇİÇEĞİ SULAMA SUYU İHTİYACININ
İKLİM VERİLERİ TEMELLİ SEZGİSEL YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Muzaffer SANDALCI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR

ARALIK – 2024

“ERGE NE HAVZASINDA AYÇİÇEĞİ SULAMA SUYU İHTİYACININ İKLİM VERİLERİ TEMELLİ SEZGİSEL YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması adlı tez çalışması **Mehmet Muzaffer SANDALCI** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından **OY BİRLİĞİ** ile Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
Kırklareli Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Mensur SÜMER
Kırklareli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Temel TEMİZ
Yalova Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 09/01/2025

.....
Doç. Dr. Hale KARAYER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Muzaffer SANDALCI
09/01/2025

ÖZET

ERGENE HAVZASINDA AYÇİÇEĞİ SULAMA SUYU İHTİYACININ İKLİM VERİLERİ TEMELLİ SEZGİSEL YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Mehmet Muzaffer SANDALCI

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR

Aralık 2024, 51 sayfa

“Ergene havzasında ayçiçeği sulama suyu ihtiyacının iklim verileri temelli sezgisel yöntemlerle belirlenmesi” adlı yüksek lisans tez çalışmasının amacı Ergene Havzasında son derece önemli bir bitki olan ayçiçeğinin sulama suyunun miktar olarak tahmin edilmesidir. Birinci adım olarak FAO-56 PM ampirik formülü ile referans evapotranspirasyon hesaplanmıştır. İkinci adım olarak Blaney-Criddle ampirik formülüyle potansiyel evapotranspirasyon hesabı yapılmıştır. Üçüncü adım olarak R_s , E , T_{max} , T_{ort} , T_{min} ve Sh iklim verileri temelli sırasıyla MARS, OP-ELM, GMDH ve M5Tree sezgisel yöntemlerle evapotranspirasyon hesabı yapılmıştır. Referans evapotranspirasyon ile tahmin edilen evapotranspirasyon arasında $R^2= 0,9846$, $MSE=49,07$, $MAE=5,56$ ve $AARE=7,23$ performans kriterleri ile R_s , E , T_{max} , T_{ort} , T_{min} ve Sh kombinasyonlu GMDH yöntemi olduğu görülmüştür. Son olarak en iyi sonucu veren yöntem ile elde edilen evapotranspirasyon değerleri kullanılarak Ergene Havzası için ayçiçeği sulama suyu ihtiyacı randımandan arındırılmış 611,74 mm ve %80 randımanlı 764,68 mm olarak belirlenmiş ve sonuçların daha önce deneysel yollarla bulunan değerlere yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayçiçeği Sulama Suyu, FAO-56, Blaney-Criddle, Sezgisel Yöntemler, Ergene Havzası

ABSTRACT

DETERMINATION OF REQUIRED IRRIGATION WATER FOR SUNFLOWERS IN THE ERGENE BASIN USING CLIMATE-DATA BASED HEURISTIC MODELS

Mehmet Muzaffer SANDALCI

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Bulent SENGORUR

December 2024, 51 pages

The aim of the master's thesis titled “Determination of required irrigation water for sunflowers in the Ergene Basin using climate-data based heuristic models” is to estimate the required irrigation water amount for sunflowers, a highly important crop in the Ergene Basin. As the first step, reference evapotranspiration was calculated using the FAO-56 PM empirical formula. In the second step, potential evapotranspiration was calculated using the Blaney-Criddle empirical formula. In the third step, climate data including R_s , E , T_{max} , T_{ort} , T_{min} , and S_h were used to calculate evapotranspiration using the MARS, OP-ELM, GMDH, and M5Tree heuristic methods, respectively. Among these methods, the GMDH method combining R_s , E , T_{max} , T_{ort} , T_{min} , and S_h yielded the best performance with performance criteria of $R^2= 0.9846$, $MSE=49.07$, $MAE=5.56$, and $AARE=7.23$ compared to the reference evapotranspiration. Finally, using the evapotranspiration values obtained from the best-performing method, the irrigation water requirement for sunflowers in the Ergene Basin was determined as 611.74 mm without irrigation efficiency and 764.68 mm for 80% irrigation efficiency, and the results were observed to be close to values obtained through experimental methods.

Keywords: Sunflower Irrigation Water, FAO-56, Blaney-Criddle, Heuristic Methods, Ergene Basin

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR'e teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. ÇALIŞMA SAHASI VE VERİLERİN ANALİZİ	9
3.1. Ergene Havzası Konumu	9
3.2. Ergene Havzası Coğrafi ve Ekolojik Özellikleri	10
3.3. Ergene Havzasının Sosyo-Ekonomik Yapısı.....	11
3.4. Ergene Havzası Gözlem İstasyonları ve Barajlar	11
3.5. Veriler.....	13
3.6. Verilerin Analizi	13
4. KULLANILAN YÖNTEMLER VE PERFORMANS DEĞERLENDİRME KRİTLERLERİ.....	17
4.1. FAO-56 Penman Monteith Formülü (FAO-56 PM).....	17
4.2. Blaney-Criddle Formülü.....	18
4.3. MARS Yöntemi	18
4.4. OP-ELM Yöntemi	19
4.5. GMDH Yöntemi	20
4.6. M5Tree Yöntemi	20
4.7. Performans Değerlendirme Kriterleri.....	21
4.8. Bitki Sulama Suyu İhtiyacı.....	22
5. UYGULAMALAR.....	23
5.1. FAO-56 Penman Monteith Yöntemine Göre Evapotranspirasyon.....	23

5.2. Blaney-Criddle Yöntemine göre Evapotranspirasyon.....	23
5.3. MARS Yöntemine Göre Evapotranspirasyon	25
5.4. OP-ELM Yöntemine Göre Evapotranspirasyon.....	30
5.5. GMDH Yöntemine Göre Evapotranspirasyon	33
5.6. M5Tree Yöntemine Göre Evapotranspirasyon.....	36
5.7. Performans Değerlendirme Kriterleri.....	40
5.8. Bitki Sulama Suyu Hesabı.....	42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	54



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 3.1. Ergene Havzası'nda bulunan barajlar.....	12
Çizelge 3.2. Ergene Havzası'nda bulunan önemli gözlem istasyonları	12
Çizelge 3.3. Pearson korelasyon katsayıları	14
Çizelge 3.4. Tanımlayıcı istatistik değerler	15
Çizelge 5.1. Performans kriterleri.....	41
Çizelge 6.1. Ayçiçeği bitkisi sulama suyu tahminleri	48



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 5.1. FAO-56 PM ile hesaplanmış referans evapotranspirasyon	23
Şekil 5.2. Blaney-Criddle, büyüme mevsimine göre aylık potansiyel evapotranspirasyon	24
Şekil 5.3. Büyüme mevsimine göre referans ve Blaney-Criddle evapotranspirasyon değerleri	24
Şekil 5.4. Büyüme mevsimine göre referans ve Blaney-Criddle evapotranspirasyon değerlerinin performansı	25
Şekil 5.5. MARS yöntemi ileri beslemeli kombinasyonlara göre evapotranspirasyon ...	26
Şekil 5.6. Girdileri Rs olan MARS modeli performansı	27
Şekil 5.7. Girdileri Rs ve E olan MARS modeli performansı	27
Şekil 5.8. Girdileri Rs, E ve Tmaks olan MARS modeli performansı	28
Şekil 5.9. Girdileri Rs, E, Tmaks ve Tort olan MARS modeli performansı	28
Şekil 5.10. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort ve Tmin olan MARS modeli performansı	29
Şekil 5.11. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort, Tmin ve Sh olan MARS modeli performans ..	29
Şekil 5.12. OP-ELM yöntemi ileri beslemeli kombinasyonlara göre evapotranspirasyon	30
Şekil 5.13. Girdileri Rs olan OP-ELM modeli performansı	30
Şekil 5.14. Girdileri Rs ve E olan OP-ELM modeli performansı	31
Şekil 5.15. Rs, E ve Tmaks olan OP-ELM modeli performansı	31
Şekil 5.16. Girdileri Rs, E, Tmaks ve Tort olan OP-ELM modeli performansı	32
Şekil 5.17. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort ve Tmin olan OP-ELM modeli performansı ...	32
Şekil 5.18. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort, Tmin ve Sh olan OP-ELM modeli performansı	33
Şekil 5.19. GMDH yöntemi ileri beslemeli kombinasyonlara göre evapotranspirasyon	33
Şekil 5.20. Girdileri Rs ve E olan GMDH modeli performansı	34
Şekil 5.21. Girdileri Rs, E ve Tmaks olan GMDH modeli performansı	35
Şekil 5.22. Girdileri Rs, E, Tmaks ve Tort olan GMDH modeli performansı	35
Şekil 5.23. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort ve Tmin olan GMDH modeli performansı	36
Şekil 5.24. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort, Tmin ve Sh olan GMDH modeli performansı	36
Şekil 5.25. M5Tree yöntemi ileri beslemeli kombinasyonlara göre evapotranspirasyon	37
Şekil 5.26. Girdileri Rs olan M5Tree modeli performansı	38

Şekil 5.27. Girdileri Rs ve E olan M5Tree modeli performansı	38
Şekil 5.28. Girdileri Rs, E ve Tmaks olan M5Tree modeli performansı.....	39
Şekil 5.29. Girdileri Rs, E, Tmaks ve Tort olan M5Tree modeli performansı.....	39
Şekil 5.30. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort ve Tmin olan M5Tree modeli performansı	40
Şekil 5.31. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort, Tmin ve Sh olan M5Tree modeli performansı.....	40
Şekil 5.32. Kullanılan yöntemlere göre R2 performans kriterleri	42
Şekil 5.33. Sulama suyu randımanından arındırılmış ayçiçeği sulama suyu	43
Şekil 5.34. %80 randımanlı ayçiçeği sulama suyu	43
Şekil 6.1. Girdileri Rs, E, Tmaks, Tort, Tmin ve Sh olan GMDH modeli.....	45
Şekil 6.2. Sulama randımanından arındırılmış yıllık bazda ayçiçeği bitkisi sulama suyu ihtiyacı	47
Şekil 6.3. %80 Sulama randımanlı yıllık bazda ayçiçeği bitkisi sulama suyu ihtiyacı ...	47

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 3.1. Ayçiçeği bitkisi.....	1
Resim 3.2. Ayçiçeği tarlası.....	1



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita 3.1. Ergene Havzası genel durum haritası	9
Harita 3.2. Ergene Havzasının sınırları	10



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

B_k	Basıklık katsayısı
Ç_k	Çarpıklık katsayısı
E	Buharlaşma (mm)
ET_o	Referans evapotranspirasyon
R_s	Güneşlenme şiddeti (cal/cm^2)
T_{maks}	Maks. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ort}	Ort. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
T_{min}	Min. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
S_h	Güneşlenme süresi (saat)
r	Pearson korelasyon sayısı
X_i	i. bağımsız değişken
Y_i	Bağımsız değişkenlerin ortalaması
$\bar{Y}$	Bağımlı değişkenlerin ortalaması
Y_i	i. bağımlı değişken
N	Veri sayısı
X_{min}	En küçük değer
X_{maks}	En büyük değer
$\bar{X}$	Aritmetik ortalama
S_e	Standart hata
σ	Standart sapma
Var	Varyans
R_{anj}	Değişim aralığı
R^2	Determinasyon katsayısı

S_w	Yüzeyden 2m yukarıda ölçülen rüzgar hızı (m/sn)
RH	Bağıl nem
R_n	Bitki yüzeyindeki net radyasyon (mj/m^2 -gün)
G	Toprak ısı akımı yoğunluğu (mj/m^2 -gün)
e_s	Doygun buhar basıncı (kPa)
e_a	Mevcut buhar basıncı (kPa)
$e_s - e_a$	Doygun buhar basıncı noksanlığı (kPa)
Δ	Doymuş buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi ($kPa/^\circ C$)
γ	Psikometrik sabit ($kPa/^\circ C$)
U	Aylık potansiyel evapotranspirasyon (inç)
k	Aylık bitki su ihtiyacı katsayısı
p	Aylık gündüz süresinin yıllık gündüz süresine oranı (%)
t'	Aylık ortalama sıcaklık ($^\circ F$)
i	Sulama suyu ihtiyacı (mm)
η	Sulama randımanı
P_r	Yağış yüksekliği (mm)
a_i	i. temel fonksiyon katsayısı
β_0	Sabit bir sayı
$B_i(X_i)$	i. bağımsız değişken için i. temel fonksiyon
ε_i	Hata terimi
$B_m(x)$	Temel fonksiyon
L_m	Etkileşim derecesi
$k_{1,m}$	Düğüm değeri
$X_{v(1,m)}$	Bağımsız değişken değeri
y	Tahmin edilen çıktı değeri
B_i	Gizli katman ile çıktı arasındaki ağırlık
x	Bias faktörü ve i. girdi değeri ağırlığı
y_i	i. çıktı vektörü değeri
M	Girdi ve çıktı verilerinin sayısı
T	Düğümüne ulaşan örnek grup

Kısaltmalar

Açıklamalar

AARE

Rölatif hata

FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
GMDH	Veri işleme grup modeli
MARS	Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrisi
MAE	Ortalama mutlak hata
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSE	Ortalama karesel hata
M5Tree	Karar ağaçları
OP-ELM	Optimal sadeleştirilmiş ekstrem makine öğrenimi
PM	Penman-Monteith
SDR	Standart sapma azalması
SR	Düğümüne gelen örnekler kümesi
TCTOB	Türkiye Cumhuriyeti Tarım Orman Bakanlığı
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Sulama suyunun miktarının bilinmesi, başta sulama kanalları olmak üzere sulama sistemlerinde birçok yapının projelendirilmesinde ve bu kapsamda boyutlandırılmasında inşaat mühendisliğinde vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Öte yandan sulama suyu miktarı belirlendikten sonra, belirlenen verilere göre çevrede kullanılabilecek su kaynaklarının araştırılması, baraj ve gölet gibi su yapılarının planlanması doğru şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Buradan hareketle Ergene Havzasında çokça ekilen ayçiçeği bitkisinin sulama suyunun hesabı yapılmış ve elde edilen bulgular özetlenmiştir.

Latince ismi “*Helianthus Annuus*”, bazı yerlerde gündöndü veya günebakan olarak bilinen ayçiçeği, gıda kaynaklarının vazgeçilmezlerinden biridir. Türkiye’nin birçok yerinde ekilebilen ayçiçeği, Ergene Havzasında yetiştirilen önemli bitkilerin başında gelmektedir. Resim 1.1’de bir söz konusu ayçiçeği bitkisi, Şekil 1.2’de ise ayçiçeği bitkisinin tarım amaçlı tarla görüntüsü verilmektedir (Url-1, erişim tarihi 4.02.2024).



Resim 1.1 Ayçiçeği bitkisi



Resim 1.2 Ayçiçeği tarlası

Ayçiçeği bitinkisinden elde edilen sıvı yağ, beslenmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde sofralarda kullanılan yağların %57'si gibi hatırı sayılır bir bölümünü Ayçiçek yağı karşılamaktadır. Ülkemizde ayçiçeği tarımı yapılan arazilerin %24'ü ve ayçiçeği üretiminin %36'sı Tekirdağ şehir sınırları içerisinde gerçekleştirilir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, ayçiçeği tarımının Trakya Bölgesi ve Ergene Havzasındaki öneminin büyük ölçüde olduğu anlaşılabılır (Erdem, 2001).

Ergene Havzasında ayçiçeği bitkisi genellikle kuru koşullarda yetiştirilmesine rağmen, sulu tarım ile verimi artırılabilir. Bu nedenle, ayçiçeği bitkisinin bölge koşullarında, ihtiyaç duyduğu su miktarının bilinmesi gerekmektedir. Ayçiçeği bitkisinin su tüketim ihtiyacının saptanması amacıyla dünyada ve ülkemizde yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda, ayçiçeği su tüketimi değerinin 200 ile 1000 mm aralığında içinde olduğu belirlenmiştir. Bu değişim aralığının bu kadar geniş olması, büyüme mevsimi uzunluğu, iklim faktörleri ve uygulanan sulama suyu miktarındaki randıman gibi değişkenlere bağlı olması sebebiyledir. Sulama suyu değerlerinin Amerika ve Avrupa ülkelerinde 600-1000 mm, Asya ülkelerinde ise daha düşük olduğu saptanmıştır (Unger, 1990).

Ergene Havzası için daha önce yapılan çalışmalarda ayçiçeği mevsimlik sulama suyu ihtiyacı Kırklareli için 845 mm bulunmuştur (Yakan, 1989). Başka bir çalışmada ise 867 mm bulunmuştur (Karaata, 1991).

Bitkinin su ihtiyacını belirlemek için deneysel olarak laboratuvar şartlarında doğrudan ölçme yöntemleri kullanılır. Ancak deneysel yöntemler zahmetli, uğraştırıcı ve pahalı olduğundan araştırmacılar yaygın olarak ampirik formüller kullanarak ve bazı kabuller yaparak bitki sulama suyu ihtiyacını belirlemeyi tercih ederler. Bitki sulama suyu tahmininde yaygın olarak iklim verileri temelli ampirik formüller kullanılır (Erdem, 2001). Ancak son zamanlarda esnek modellemeler de denilen sezgisel yaklaşımlar tercih edilmektedir.

Bitki sulama suyu ihtiyacı hesaplanırken öncelikle referans evapotranspirasyon hesabı, Food and Agriculture Organization (FAO) tarafından ileri sürülen ampirik ve dünyaca kabul görmüş FAO-56 Penman-Monteith formülüyle yapılmıştır. Daha sonra Blaney-Criddle formülü ve 4 değişik sezgisel yaklaşım yöntemi ile potansiyel evapotranspirasyon tahmini yapılmıştır. Elde edilen en iyi model ile aylık ortalama yağış verileri kullanılarak ayçiçeğinin sulama suyu belirlenmiştir.

Önceki çalışmalarda ayçiçeği sulama suyu ampirik formüllerle hesaplanmış daha sonraları ise esnek modellemelerden birçok yapay zekâ yöntemleri ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise daha önceki çalışmalardan farklı olarak daha önce ayçiçeği sulama suyu hesabında kullanılmayan 4 adet sezgisel yaklaşım yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler ileriki bölümlerde detaylı bir şekilde izah edilmiştir.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Evapotranspirasyonun belirlenmesi ile ilgili olarak direkt ölçme yöntemleri, yaygın ve sürdürülebilir olmamasından dolayı, evapotranspirasyon değerlerinin belirlenmesinde deneysel ve tecrübeler dayanan ampirik formülleri kullanmak daha sık tercih edilmektedir. Ancak bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile son derece karmaşık yapıların hesabı kolaylaşmış ve evapotranspirasyon hesapları için araştırmacılar bilgisayarlardan faydalanabilmektedir. Bu nedenle son zamanlarda klasik yöntemlerin yanında sezgisel yöntemler daha çok itibar görmekte olup gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir.

Bugüne kadar evapotranspirasyonun belirlenmesi ile ilgili çalışmalar bu bölümde incelenmiş ve önemli görülen bazılarında bahsedilmiştir.

1994-1995 tarihleri arasında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde yapılan deneysel bir çalışmada ayçiçeği bitkisinin su tüketimi ölçülmüş ve Christiansen-Hargreaves tava buharlaşması yöntemi ile Jensen-Haise ampirik yöntemlerinin iyi sonuç verdiği belirlenmiştir (Kadayıfçı ve Yıldırım, 1998).

Erdem (2001), Yüzey sulama yöntemi ile sulanan ayçiçeğini Tekirdağ koşullarında 1998 ve 2000 yılları arasında yürütülen bu çalışmada, onar günlük periyotlar için ölçülen su tüketimi değerleri su tüketimi tahmin eşitlikleri ile hesaplanan değerler ile karşılaştırmış ve sonuç olarak FAO-56 PM yönteminin daha iyi sonuç verdiğini görmüştür. Yapılan deneyler sonucunda ayçiçeğinin ekimden kesime kadar, yani ayçiçeğinin büyüme mevsimi boyunca tükettiği sulama suyu miktarı ortalama olarak 804,37 mm bulunmuştur (Erdem, 2001).

Kılıç (2011)'de yapmış olduğu yüksek lisans tezinde 4 adet ampirik formül, 4 girişli yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak evapotranspirasyonu tahmin etmiş deney sonuçlarına göre elde edilen evapotranspirasyon değerleri ile karşılaştırmış, yapay sinir ağları ile bulunan evapotranspirasyon değerlerinin daha iyi sonuç verdiğini belirlemiştir.

Yelkaya (2015)'de Türkiye referans evapotranspirasyon değerlerine sıcaklık ve rölatif nem etkilerinin araştırılması ve en uygun Hargreaves-Samani denkleminin belirlenmesi adlı yüksek lisans tezinde referans evapotranspirasyon değerlerini elde etmek için FAO-56 Penman-Monteith formülünü kullanmıştır. İklim verilerini kullanarak Hargreaves-Samani formülü ile evapotranspirasyon değerlerini hesaplamış ve FAO-56 Penman-Monteith formülü ile hesapladığı referans evapotranspirasyon değerlerine yakın sonuçlar verdiğini görmüştür.

Kaya (2016)'da Bulanık mantık yöntemi ile mevsimsel verilere dayalı buharlaşma tahmini adlı yüksek lisans tezinde Amerika Birleşik Devletlerin Florida eyaletinde bulunan De Soto Country meteoroloji istasyonundan almış olduğu iklim verilerini kullanmıştır. İklim verileri temelli adaptif sinirsel bulanık yöntemi, çoklu lineer regresyon yöntemi ve ampirik formüller kullanarak buharlaşmayı tahmin etmiş ve adaptif sinirsel bulanık yöntemin en iyi sonucu verdiğini belirlemiştir.

Potansiyel evapotranspirasyonun belirlenmesinde deneysel yöntemler zahmetli olduğundan ampirik yöntemler sıkça tercih edilmektedir. Bu formüllerden çokça tercih edilen Turc ve Coutagne ampirik formülleri, Niğde ilinin potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin bulunmasında kullanılmış ve hesaplanan değerler için trend analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda artış trendi gözlemiştir (Arslan, 2017).

Kıymaz (2018)'de Penman-Monteith eşitliğinin yanı sıra birçok ampirik formülle evapotranspirasyon hesabı yapmış ve 5 parametrelili bir aylık yağış-akış modelinde performans sınaması yapmıştır.

Şarlak ve Bağçacı (2020)'de FAO-56 Penman-Monteith formülü ile hesapladığı evapotranspirasyonu referans olarak almış ve Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Makkink, Turc, Priestley-Taylor ve Hargreaves-Samani ampirik yöntemleri ile bulmuş olduğu evapotranspirasyon değerleri ile karşılaştırmıştır. Turc, Hargreaves-Samani ve Priestley-Taylor yöntemlerinin FAO-56 Penman-Monteith'e yakın sonuçlar verdiğini görmüştür.

Kayal ve diğ. (2021)'de ampirik yöntemler ve 3 farklı esnek modelleme tekniklerini kullanarak FAO-56 PM ile bulunan referans evapotranspirasyon değerlerini karşılaştırmış. Sonuç olarak modellerden elde edilen değerlerin daha iyi sonuç verdiğini belirlemiştir.

Özdülkar (2021)'de hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde günlük iklim verilerini kullanmış, 3 farklı esnek modelleme tekniği ve Turc ampirik formölünü kullanarak FAO-56 PM ile hesapladığı evapotranspirasyon değeriini referans alarak karşılaştırma yapmış, esnek modellerin daha iyi sonuç verdiğini bulmuştur.

Özerkişi (1995), Bursa'da şeker pancarı, ayçiçeği, buğday ve yonca için sulama suyu ihtiyaçlarını FAO-56 PM formölünü kullanarak hesaplamıştır. Sonuç olarak büyüme mevsimi boyunca sulama suyu ihtiyacını şeker pancarı için 831,3 mm, ayçiçeği için 657,5 mm, buğday için 172,9 mm ve yonca için 937,5 mm olarak bulmuştur.

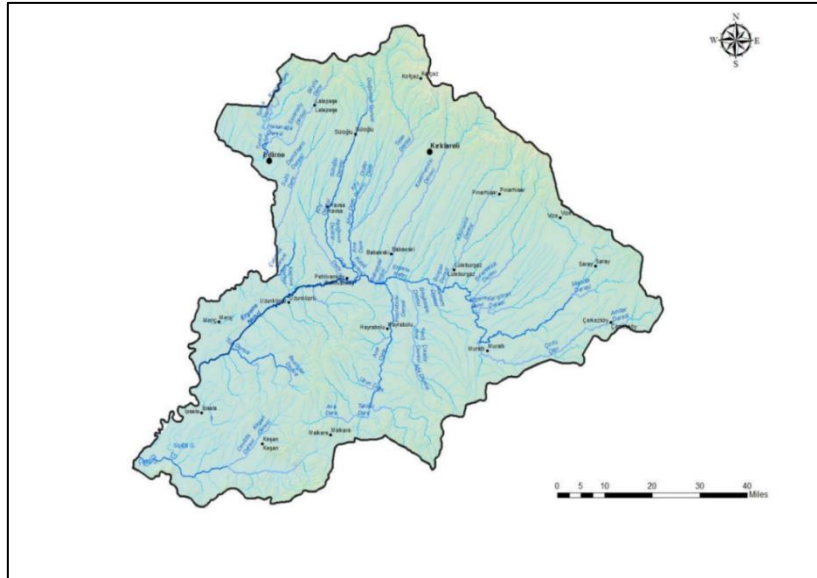


3. ÇALIŞMA SAHASI VE VERİLERİN ANALİZİ

Marmara bölgesindeki Ergene Havzası çalışma sahası olarak seçilmiştir. Söz konusu çalışma yeri için mevcut meteoroloji gözlem istasyonlarından iklim verileri temin edilmiştir.

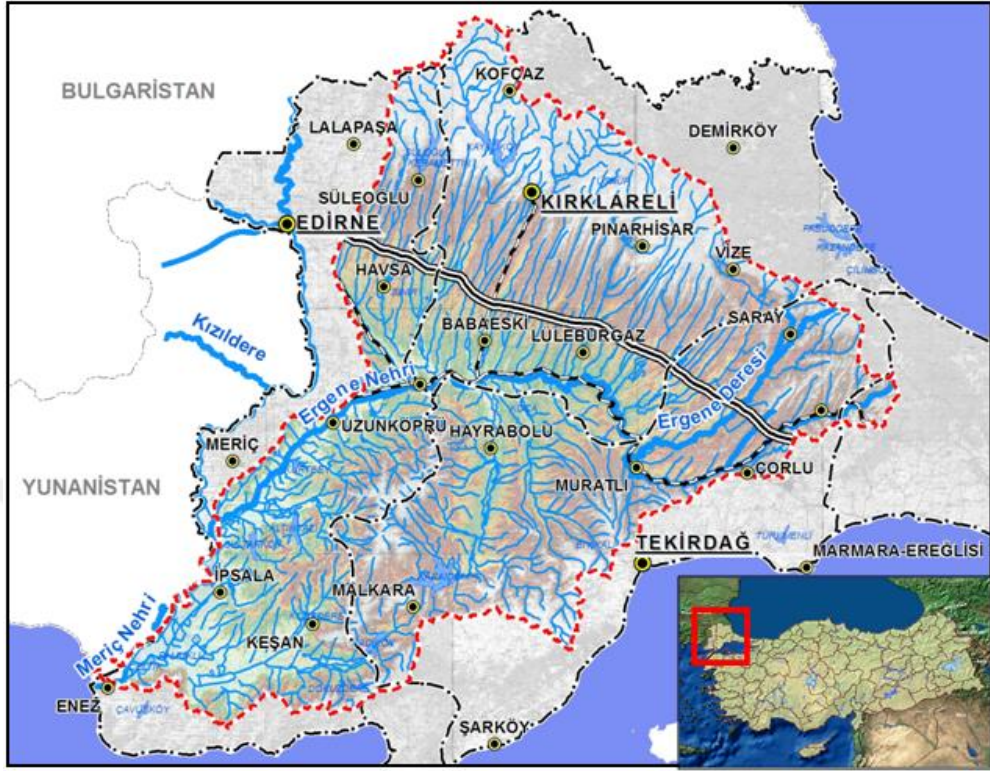
3.1. Ergene Havzası Konumu

Ergene Havzası, Türkiye'nin Trakya bölgesinde bulunan ve birçok faktörden ötürü Türkiye için önem arz eden bir havzadır. 14 486 km²'lik bir yüz ölçümüne sahip olan Ergene Havzası, başlıca Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli şehirlerini, küçük bir alanı da İstanbul şehrini kapsamaktadır. 40,56 - 47,12 Kuzey ve 20,03 - 28,17 Doğu koordinatları arasında bulunmakta olan Ergene Havzasının en önemli özelliklerinden biri Ergene Nehri'ni bünyesinde bulundurmasıdır (Cengiz, 1996). Ergene Nehri kuzeyde Istranca dağlarında başlayıp güneyde Meriç Nehri ile birleşir ve Saroz Körfezinde Ege Denizine dökülmektedir. Havza, kuzeyinde Bulgaristan Sınırı ve Istranca Dağları, doğusunda Çerkezköy ve Vize ilçeleri, güneyinde Tekirdağ ili ve batısında Yunanistan ile Bulgaristan sınırları ile çevrilidir (TCTOB, 2022). Ergene Havzası genel durum haritası Şekil 3.1'de verilmiştir (Gök, 2015).



Harita 3.1. Ergene Havzası genel durum haritası

Şekil 3.2’de ise Ergene Havzasının sınırları kesik çizgilerle gösterilmiştir (Konukcu, 2016).



Harita 3.2 Ergene Havzasının sınırları

3.2. Ergene Havzası Coğrafi ve Ekolojik Özellikleri

Ergene Havzası, Ergene Nehri ve kollarının taşıyıp biriktirdiği alüvyonlar sayesinde oluşmuş ova ve platolar, özellikle kuzeydoğu bölgesinde de dağlarla kaplıdır. Havzanın tarım alanlarının bulunduğu Ergene Ovası’nın deniz seviyesinden ortalama yüksekliği yaklaşık 25 metredir. Havzanın genel olarak yükseltisiz yapısı ve tarım arazilerinin bolluğu, Türkiye’deki diğer havzalar ile karşılaştırıldığında, Ergene Havzasının tarıma elverişliliğinin ortalamanın üstünde olduğu rahatlıkla söylenebilir (Kargı, 2019). Öte yandan havzada bulunan rakımı daha yüksek bölgeler, kuzeyde Istranca Dağları çevresinde yoğunlaşmışken, havzanın güneyinde Saroz Körfezi yakınında bulunan Kuru Dağlarının yükseklikleri 150-200 metreyi geçmemektedir (TCTOB, 2022). Havzada hakim olan iklim bölgesi, Marmara-Geçit iklim bölgesidir. Havzada bulunan bol tarım arazilerinde başta ayçiçeği, sofralık ve şaraplık üzüm, kanola, şekerpancarı, buğday ve arpa olmak üzere birçok farklı tarım ürünü ekimi yapılmaktadır (TAGEM, 2017). Ergene Nehrinden kullanan birçok akarsu, doğal göller, depolama amaçlı kullanılan göletler ve yeraltı su rezervleri ile su imkanları çeşitli ve fazladır, fakat bölgedeki su

kalitesi seviyelerinin farklı sorun ve sebeplerden dolayı giderek azalmakta olduğu tespit edilmiştir. Havzanın, başta Istranca Dağları olmak üzere yükseltisi fazla olan bölgelerinde iğne yapraklı orman vejetasyonu, bölgenin iç kesimlerinde çalı ve çayır vejetasyonları, bölgenin kıyı ve sahil kesimlerinde ise maki tipi orman vejetasyonu hakimdir. Havza bütününde 300’den fazla nadir veya endemik bitki türleri olduğu saptanmıştır. Bölge faunası da florasına benzer şekilde endemik türlere ve habitatlara ev sahipliği yapmaktadır. Özellikle Longoz Ormanları ve çevre bölgesinde fauna çeşitliliğinin ve popölasyonunun oldukça zengin olduğu tespit edilmiştir (TCTOB, 2022).

3.3. Ergene Havzasının Sosyo-Ekonomik Yapısı

Havza sınırlarıyla alanı kesişen 5 il bulunmaktadır. Bunlar Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul ve Çanakkale’dir. Alansal olarak havzanın %39’unu Edirne, %31’ini Kırklareli, %29’unu Tekirdağ ve toplamda %1’e yakın bir kısmını İstanbul ve Çanakkale oluşturmaktadır. Havza içine dahil olan illerden hiçbirinin tamamı havza sınırları içinde değildir. Edirne’nin alansal olarak %91’i ve Kırklareli’nin %69,5’i, Tekirdağ’ın %69’u havza sınırları dahilindedir. Çanakkale ili alanının %0,1’i, İstanbul’un ise %0,8’i havzada yer almaktadır. Havza çok büyük oranda Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ’dan meydana gelmektedir (TCTOB, 2022). Havza nüfusu hesaplanırken, havza sınırlarına dahil olan tüm ilçelerin 2020 nüfusları üzerinden elde edilmiş ve alansal olarak havzaya girme oranlarıyla oranlanmıştır. Bu hesaplama sonucunda havzanın toplam nüfusu 1.374.511 olarak belirlenmiştir. İlk, orta ve lise eğitimi incelendiğinde Ergene Havzasındaki 3 ilde en fazla öğrenci sayısı olan il olarak Tekirdağ öne çıkmaktadır. Havza illerini içeren bölgelerde istihdamın sektörlere göre dağılımı incelendiğinde tarım sektöründe istihdamın %16, hizmet sektöründe istihdamının %48 ve sanayi sektöründe ise istihdamın %36 olduğu görülmektedir (Url-2, 2024).

3.4. Ergene Havzası Gözlem İstasyonları ve Barajlar

Ergene Havzası bünyesinde bulunan nehirlerin akım verilerini ve havzanın farklı bölgelerinin iklim verilerini gözlemlemek, ölçmek ve kaydetmek amacıyla birçok istasyon kurulmuştur. Havzadaki çeşitli nehirlerde 1950’li yıllarda ilk akım gözlem istasyonları kurulmaya başlanmış ve günümüzde halen yeni istasyonlar kurulmaya devam edilmektedir. İlk akım gözlem istasyonunun kurulmasından itibaren kurulmuş olan çoğu akım gözlem istasyonu kapatılmış veya aktif olarak kullanılmamakta da olsa,

halihazırda 25'ten fazla akım gözlem istasyonu ölçümlerine aktif olarak devam etmektedir. Ergene Havzası aynı zamanda birkaç baraja da ev sahipliği yapmaktadır, barajlar hakkındaki birtakım bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir (TCTOB, 2022).

Çizelge 3.1. Ergene Havzası'nda bulunan barajlar

Baraj Adı	Akarsuyu	Tipi	Amacı	Açılış Tarihi
Sultanköy Barajı	Manastır Deresi	Homojen Toprak Dolgu	Sulama	1995
Altınyazı Barajı	Basamaklar Deresi	Toprak Dolgu	Sulama, Taşkın Koruma	1972
Süloğlu Barajı	Süloğlu Deresi	Toprak Kaya Dolgu	İçme Suyu, Sulama, Taşkın Koruma	1981
Hamzadere Barajı	Hamzadere	Homojen Toprak Dolgu	Sulama, Taşkın Koruma	2011
Kırklareli Barajı	Şeytandere	Kil Çekirdek Kaya Dolgu	İçme Suyu, Sulama, Endüstri Suyu, Taşkın Koruma	1999
Kayalıköy Barajı	Teke Deresi	Toprak Kaya Dolgu	İçme Suyu, Sulama, Taşkın Koruma	1986
Karaidemir Barajı	Poğaç Deresi	Homojen Toprak Dolgu	Sulama, Taşkın Koruma	1983
Kadıköy Barajı	Doğanca-Dervent Deresi	Toprak Dolgu	İçme Suyu, Sulama	1973

Ergene Havzası'nda birçok meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. İstasyonların gözlem süreçleri ve ölçmekte oldukları meteorolojik veriler farklılık gösterebilmektedir. Çizelge 3.2'de Ergene Havzası'nda bulunan meteoroloji gözlem istasyonlarından bazıları verilmiştir (TAGEM, 2017).

Çizelge 3.2. Ergene Havzası'nda bulunan önemli gözlem istasyonları

İstasyon No	İstasyon Adı	İstasyon İl	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (m)
17056	Tekirdağ	Tekirdağ	40,9836	27,4904	59
17054	Çorlu	Tekirdağ	41,1536	27,8142	172
17050	Edirne	Edirne	41,6706	26,5488	38
17608	Uzunköprü	Edirne	41,2535	26,6823	8
17052	Kırklareli	Kırklareli	41,7352	27,2173	213
17631	Lüleburgaz	Kırklareli	41,3494	27,3054	43

3.5. Veriler

Çalışma yapılan Ergene Havzasında Tekirdağ merkez için 17056, Edirne merkez için 17050 ve Kırklareli merkez için 17052 numaralı meteoroloji istasyonları kullanılmıştır. Ergene Havzası geneli hakkında ayçiçeği sulama suyu hesabı yapılacağı için söz konusu 3 meteoroloji istasyonundan alınan aynı kategorideki verilerin ortalaması hesaplanmıştır. Böylelikle iklim verileri her kategori için Ergene Havzasında homojen hale getirilmiştir. Öte yandan eksik verisi olan istasyonlarda ortalama için mevcut ölçüm alınan istasyon verisi toplanarak istasyon sayısına bölünmüştür. Söz konusu 3 istasyondan 1990'dan 2020 yılına kadar 31 senelik, ya da benzer bir söylem ile toplamda her bir veri dizisi 372 adet olmak üzere 6 adet iklim verisi için 2232 adet veri kullanılmıştır. İklim verilerinin referans evapotranspirasyon ile korelasyonu fazla olan iklim verileri belirlenerek bu çalışmada kullanılmıştır. Bu veriler aylık ortalama güneşlenme şiddeti (R_s), buharlaşma (E), maksimum sıcaklık (T_{maks}), ortalama sıcaklık (T_{ort}), minimum sıcaklık (T_{min}) ve güneşlenme süresidir (S_h) (MGM, 2021).

3.6. Verilerin Analizi

Çalışmada bağımlı değişken olarak nitelendirilen referans evapotranspirasyon verileri ile bağımsız değişkenler olarak değerlendirilen diğer iklim verileri arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için Pearson korelasyon katsayısı (r) hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlerle ilişkisinin doğru orantılı ve güçlü olması yapılacak olan tahminin doğruluğunu arttırması beklenir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değer almakta olup negatif değerler ters orantıyı, pozitif değerler doğru orantıyı ifade eder ve korelasyon katsayısının sınır değerlere yakınlığı korelasyonun kuvvetini belirtir. Çalışmada kullanılan Pearson korelasyon katsayı değerleri aşağıda verilen formül ile bulunmuştur. Elde edilen korelasyon katsayıları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Çizelge 3.3'ten görüleceği üzere bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğru orantılı yüksek bir korelasyon tespit edilmiştir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.1)$$

Burada;

X_i : i. Bağımsız değişken

$\bar{X}$: Bağımsız değişkenlerin ortalaması

Y_i : i. Bağımlı değişken

$\bar{Y}$: Bağımlı değişkenlerin ortalaması

N: Veri sayısı

Öte yandan veri dizisinin normal dağılıp dağılmadığı, homojen veya heterojen olduğunu tanımlamak için aşağıdaki tanımlayıcı istatistik değerler hesaplanmıştır. Tanımlayıcı istatistik olarak bilinen veri sayısı (N), değişim aralığı (Ranj), en küçük değer (X_{min}), en büyük değer (X_{maks}), ortalama değer ($\bar{X}$), standart hata (S_e), standart sapma (σ), varyans (Var), çarpıklık katsayısı ($\check{C}_k$) ve basıklık katsayısı (B_k) değerleri her bir veri dizisi için Çizelge 3.4'te verilmiştir. Çizelge 3.4'ten görüleceği üzere tanımlayıcı istatistikler kabul edilebilecek değerlerde olup her bir veri dizisinin normal dağılıma yakın olduğu ve homojen dağılıma sahip olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.3. Pearson korelasyon katsayıları

	ET_o (mm)	T_{maks} (°C)	T_{min} (°C)	T_{ort} (°C)	E (mm/ay)	R_s (cal/cm2)	S_h (saat)
Referans evapotranspirasyon ET_o (mm)	1	0,924	0,839	0,868	0,925	0,964	0,766
Maks. sıcaklık T_{maks} (°C)	0,924	1	0,924	0,957	0,937	0,863	0,806
Min. sıcaklık T_{min} (°C)	0,839	0,924	1	0,978	0,927	0,792	0,761
Ort. sıcaklık T_{ort} (°C)	0,868	0,957	0,978	1	0,950	0,812	0,785
Buharlaşma E (mm/ay)	0,925	0,939	0,927	0,950	1	0,864	0,832
Global güneşlenme Şiddeti R_s (cal/cm2)	0,964	0,863	0,792	0,812	0,865	1	0,705
Güneşlenme süresi S_h (saat)	0,766	0,806	0,761	0,785	0,832	0,705	1

Çizelge 3.4. Tanımlayıcı istatistik değerler

	r	X_{min}	X_{maks}	$\bar{X}$	S_e	σ	Var	Ç_k	B_k
ET₀	192,2	24,80	217,00	95,34	2,58	49,82	2 482,46	0,39	-1,08
T_{maks}	28,10	12,50	40,60	26,42	0,37	7,18	51,69	-0,09	-1,26
T_{min}	30,67	-13,03	17,63	3,55	0,41	7,96	63,24	0,02	-1,15
T_{ort}	27,83	0,00	27,83	14,16	0,39	7,63	58,24	0,01	-1,30
E	243,53	0,00	243,53	80,59	3,90	75,23	5 660,60	0,35	-1,28
R_s	599,70	54,30	654,00	291,51	8,15	157,33	24 753,58	0,33	-1,15
H_s	352,50	4,00	356,50	170,31	4,69	90,61	8 211,57	0,35	-1,1



4. KULLANILAN YÖNTEMLER VE PERFORMANS DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Çalışmada, hidrolojide çokça kullanılan FAO-56 Penman-Monteith (FAO-56 PM) ve Blaney-Criddle ampirik evapotranspirasyon formülleri kullanılmıştır. Bunun yanında son zamanlarda sıkça kullanılan sezgisel yöntemlerden olan MARS, OP-ELM, GMDH ve M5Tree yöntemleri de kullanılmıştır. Aşağıda söz konusu yöntemler kısaca izah edilmiştir.

4.1. FAO-56 Penman-Monteith Formülü (FAO-56 PM)

Food and Agriculture Organization kelimelerin kısaltılması olan FAO-56 Penman-Monteith formülü, Allen ve diğ. (1998) tarafından geliştirilmiştir. FAO-56 Penman-Monteith (FAO-56 PM) eşitliği referans evapotranspirasyonun (ET_0) hesaplanmasında dünya hidroloji otoriteleri tarafından kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Allen ve diğ. 1998). Günlük evapotranspirasyon miktarı, enerji dengesi ve kütle transferi denklemleri tabanlı Penman-Monteith eşitliğinde güneşlenme şiddeti (R_s), ortalama hava sıcaklığı (T_{ort}), zeminden 2 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı (S_w) ve bağıl nem (RH) gibi meteorolojik veriler gerektirmektedir. FAO-56 PM eşitliği aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Allen ve diğ. 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{ort} + 273} S_w (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 S_w)} \quad (4.1)$$

Burada;

ET_0 : Günlük referans evapotranspirasyon (mm)

R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon ($\text{mJ/m}^2\text{-gün}$)

G : Toprak ısı akımı yoğunluğu ($\text{mJ/m}^2\text{-gün}$)

T_{ort} : Günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

S_w : Yüzeyden 2 m yukarıda rüzgar hızı (m/sn)

e_s : Doygun buhar basıncı (kPa)

e_a : Mevcut buhar basıncı (kPa)

$e_s - e_a$: Doygun buhar basıncı noksanlığı (kPa)

Δ : Doymuş buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi (kPa/°C)

γ : Psikometrik sabit (kPa/°C)

4.2. Blaney-Criddle Formülü

Arazide yapılan çalışmalarla elde edilen bilgi ve tecrübeler sonucu geliştirilmiş ampirik bir formüldür. İklim donelerinin analizi temelli olan Blaney-Criddle yönteminde bitki su tüketimi U, mm/ay cinsinden de hesaplanabilir. Blaney-Criddle formülü aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Blaney-Criddle, 1950).

$$U = k * \frac{p * t'}{100} \quad (4.2)$$

Burada;

U: Aylık potansiyel evapotranspirasyon (inç)

k: Aylık bitki su ihtiyacı katsayısı

p: Aylık gündüz süresinin yıllık gündüz süresine oranı (%)

t': Aylık ortalama sıcaklık (°F)

4.3. MARS Yöntemi

İngilizce Multivariate Adaptive Regression Splines kelimelerinin kısaltılması olan MARS yöntemi çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrisi anlamına gelip hidrolojide son derece itibar gören bir yöntemdir. Bu yöntemde büyük veri kümeleri rahat bir şekilde işlenebilmekte olup anlamlı sonuçlar elde edilebilmektedir (Friedman, 1991). Bu yöntem doğrusal ve doğrusal olmayan yaklaşımlarla çalıştırılan istatistiksel bir yöntemdir (Sharda ve diğ. 2008). MARS, değişkenlerin farklı aralıklarına karşılık gelen temel fonksiyonları kullanarak esnek bir regresyon modeli kurar (Toprak, 2011). Model aşağıdaki eşitlikte olduğu gibi tanımlanabilir (Nacar, 2020).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^N a_i \beta_i(X_i) + \varepsilon_i \quad (4.3)$$

Burada;

i: Düğüm sayısı

N: Temel fonksiyon sayısı (veri sayısı)

X_i : i. bağımsız değişken

a_i : i. temel fonksiyonun katsayısı

β_0 : Sabit sayı

$\beta_i(X_i)$: i. bağımsız değişken için i. temel fonksiyon

ε_i : Hata terimini ifade etmektedir.

MARS yönteminde ilk olarak temel fonksiyonlar oluşturulur. Daha sonra temel fonksiyonlardaki bağımsız değişkenler ve birbirleri ile etkileşimi belirlenerek ortalama karesel hatayı (OKH) en az yapan genelleştirilmiş çapraz geçerlilik anlamına gelen GCV tekniği kullanılarak en uygun model geliştirilir (Ünal, 2009; Uzlü, 2016).

Temel fonksiyonların oluşturulmasında en genel hal aşağıda verilmiştir.

$$B_m(X) = \prod_{i=1}^{L_m} [S_{1,m}(X_{v(1,m)} - k_{1,m})] \quad (4.4)$$

Burada;

L_m : Etkileşim derecesi

$S_{1,m}$: $\in[\pm]$

$k_{1,m}$: Düğüm değeri

$X_{v(1,m)}$: Bağımsız değişken değerini göstermektedir.

4.4. OP-ELM Yöntemi

OP-ELM yöntemi İngilizce Optimally Pruned Extreme Learning Machine kelimelerinin kısaltılması olup optimal sadeleştirilmiş ekstrem makine öğrenimi anlamına gelmektedir. İsminin de ifade ettiği üzere en önemli makine öğrenimi modellerinden biridir. Yöntem optimal sadeleştirme ve makine öğrenimi olmak üzere iki kısımda düşünülebilir. Bu yöntem iki aşamada ifade edilebilir. Birinci kısımda klasik yöntemlerden olan ileri beslemeli yapay sinir ağları ile çözümleme ve ikinci kısımda ekstrem makine öğrenimi yardımı sayesinde modelleme yaklaşımı ile çözümlemedir (Huang ve diğ. 2004; Adnan ve diğ. 2019). Ekstrem makine öğrenimi modelinin genel matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir (Adnan ve diğ.2023).

$$y = \sum_{i=1}^L h_i(x)\beta_i = h(x)\beta \quad (4.5)$$

Burada;

y: Tahmin edilen çıktı değeri

β_i : Gizli katman ile çıktı arasındaki ağırlıklar

x: $f(w_i x_j + b_i)$ ile ifade edilip b bias faktörü ve w_i , i. girdi değerinin ağırlığını göstermektedir.

4.5. GMDH Yöntemi

İngilizce Group Method of Data Handling kelimelerinin kısaltması olan GMDH yöntemi veri işleme grup modeli anlamına gelip hidroloji biliminde değişik alanlarda kullanılmaktadır. Modelde çoklu giriş ve tek çıkış söz konusu olup tek bağımsız değişkenin girilmesi halinde çözüm gerçekleştirilememektedir. Başka bir deyişle model en az iki veri dizisi girdisi istemektedir. Derin öğrenme tekniği olarak da bilinen GMDH yöntemi polinom sinir ağı modeli olarak da bilinir ve karmaşık problemlerin çözümünde ilk defa Ivakhnenko (1968) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde çoklu giriş ve tekli çıkış arasındaki fonksiyonel bir ilişki kurulur ve ölçülen bağımlı değişken ile tahmin edilen bağımlı değişken arasındaki farkın karelerinin toplamının minimuma yakınsaması beklenir (Ahmedi ve diğ. 2015). Söz konusu farkın kontrolü aşağıdaki formül ile bulunabilir.

$$\sum_{i=1}^M [\hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) - \hat{y}_i]^2 \rightarrow \min \quad (4.5)$$

Burada;

$\hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in})$: Vektörel olarak her bir giriş verisinin değeri

$\hat{y}_i$: i. çıktı vektörü değeri

M: Girdi ve çıktı verilerinin sayısı

4.6. M5Tree Yöntemi

M5model Tree olarak bilinen bu yöntem karar ağaçları anlamına gelip M5Tree olarak kısaltılmış hali ile çeşitli alanlarda tahmin amaçlı kullanılır. M5Tree yöntemi bağımlı değişkenin belirlenmesi için bağımsız değişken kümelerinin değerlerini kullanarak mantıksal bir model oluşturur. Model karar ağaçları ile oluşturulur. Genelde sınıflama ağaçları ve regresyon ağaçları olmak üzere iki türdür. M5Tree karar ağacı algoritması ilk defa Witten ve Frank tarafından 2005'te geliştirilmiştir (Witten ve Frank, 2005). Model ağacında parametre uzayı alt alanlara bölünerek her bir alt alan için doğrusal regresyon modeli geliştirilir. M5Tree modelinde sınıf değerlerinin standart sapmasının düşürülmesi ve düğüm noktalarındaki özelliklerin test edilmesi için aşağıda verilen formülle standart sapma azalımı hesaplanır (Keshtegar ve Kisi, 2017).

$$SDR = sd(T) - \sum \frac{|SR_i|}{|SR|} sd(SR_i) \quad (4.6)$$

Burada;

T : Düşüme ulaşan örnek grup

SDR : Standart sapma azalması

SR : Düşüme gelen örnekler kümesi

SR_i : i . sonuca sahip örneklerin alt kümesi

sd : Standart sapmayı göstermektedir.

4.7. Performans Değerlendirme Kriterleri

Elde edilen tahmini evapotranspirasyon değerlerinin referans evapotranspirasyon ile olan korelasyonunu incelemek için aşağıda verilen sırasıyla determinasyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hata anlamına gelen mean squared error (MSE), ortalama mutlak hata anlamına gelen mean absolute error (MAE), ortalama mutlak rölatif hata anlamına gelen average absolute relative error ($AARE$) değerleri hesaplanmış ve referans evapotranspirasyonuna en yakın değeri veren model belirlenmiştir. Performans değerlendirme kriterleri hesabı için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N [(ET_0)_i - \overline{ET_0}]^2 - \sum_{i=1}^N [(ET_0)_i - (ET_{0,e})_i]^2}{\sum_{i=1}^N [(ET_0)_i - (ET_{0,e})_i]^2} \quad (4.7)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(ET_0)_i - (ET_{0,e})_i]^2 \quad (4.8)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |(ET_0)_i - (ET_{0,e})_i|}{N} \quad (4.9)$$

$$AARE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |RH| \quad (4.10)$$

$$RH = \frac{(ET_0)_i - (ET_{0,e})_i}{(ET_0)_i} 100 \quad (4.11)$$

Burada;

$(ET_0)_i$: i . sıradaki referans evapotranspirasyon (mm)

$(ET_{0,e})_i$: i . sıradaki tahmin edilen evapotranspirasyon (mm)

RH : Rölatif hata (%)

N : Veri sayısı

4.8. Bitki Sulama Suyu İhtiyacı

Bitki sulama suyu ihtiyacı bulunurken meydana gelen evapotranspirasyon değerinden yağış yüksekliği çıkartılması yaygın bir uygulamadır (Bayazit,1999). Bu çalışmada da aynı uygulamalar aşağıdaki bağıntılar yardımıyla kullanılmıştır.

$$U' = U - P_r \quad (4.12)$$

$$\eta = \frac{\text{Bitkinin kullandığı su}}{\text{Toprağa verilen su}} \quad (4.13)$$

$$i = \frac{U'}{\eta} \quad (4.14)$$

Burada;

U' : Aylık bitki su ihtiyacı (mm)

U : Aylık potansiyel evapotranspirasyon (mm)

i : Sulama suyu ihtiyacı (mm)

η : Sulama suyu randımanı (genelde 0,8)

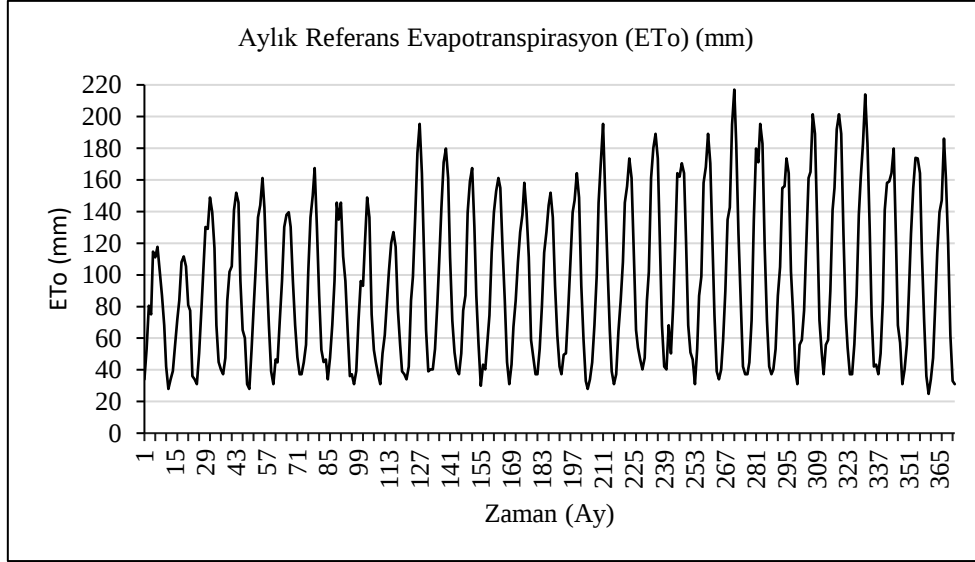
P_r : Aylık ortalama yağış yüksekliği (mm)

5. UYGULAMALAR

Bu bölümde aylık ortalama evapotranspirasyon, sırasıyla FAO-56 Penman-Monteith ve Blaney-Criddle ampirik formülleri ile MARS, OP-ELM, GMDH ve M5Tree sezgisel yöntemleriyle hesaplanmıştır. Aynı sıra ile aşağıda teker teker izah edilmiş ve en iyi sonucu veren yöntemle göre ayçiçeğinin büyüme mevsiminde ihtiyacı olan sulama suyu hesap edilmiştir.

5.1. FAO-56 Penman-Monteith Yöntemine Göre Evapotranspirasyon

Hesaplarda esas alınmak için FAO-56 Penman-Monteith formülü ile hesaplanan aylık ortalama evapotranspirasyon değerleri referans evapotranspirasyon değerleri olarak kabul edilmiştir. Hesaplanan aylık referans evapotranspirasyon değerlerinin çalışma yapılan tarihler arasında (1990-2020) 372 ay için aylık ortalama değişimi aşağıda Şekil 5.1’de verilmiştir.

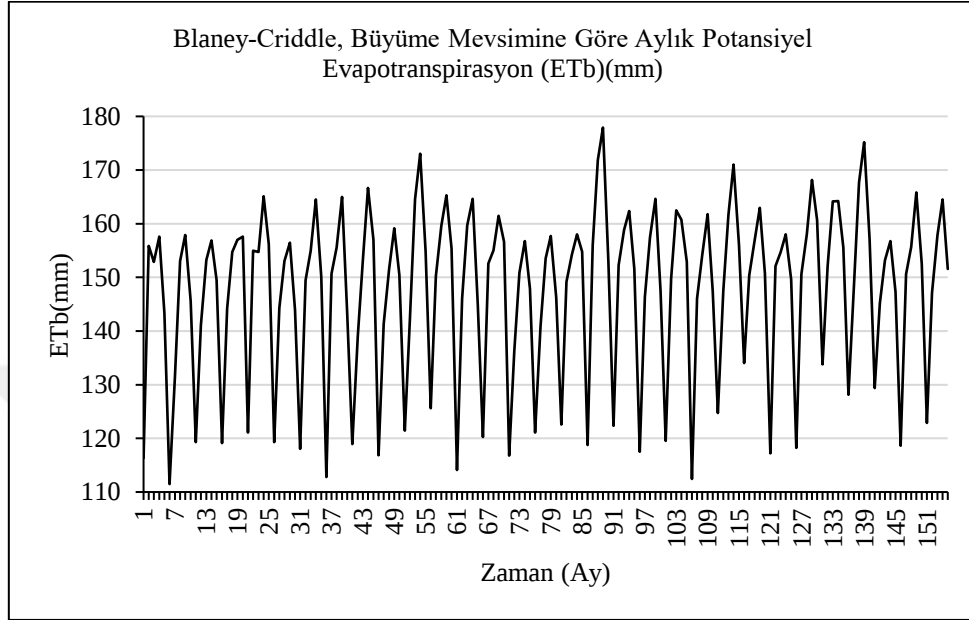


Şekil 5.1. FAO-56 PM ile hesaplanmış referans evapotranspirasyon

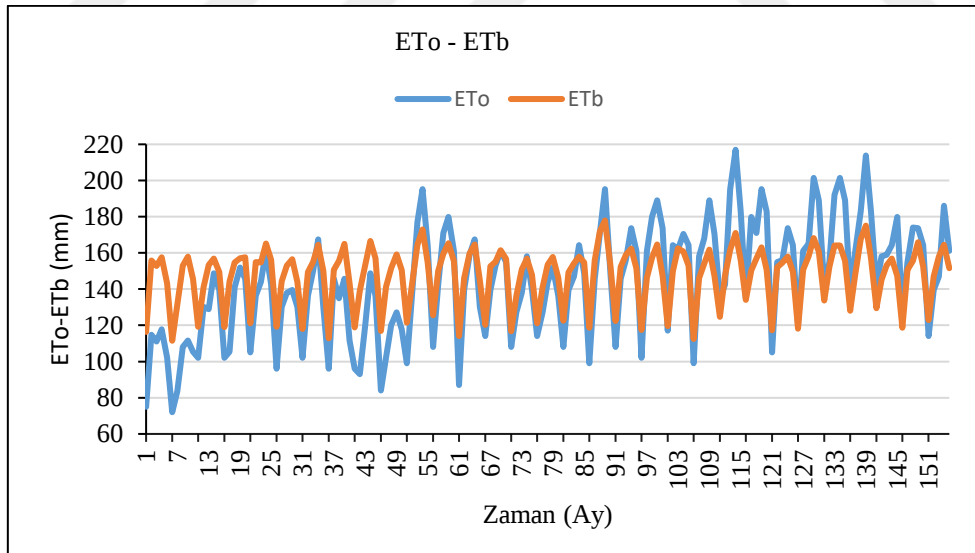
5.2. Blaney-Criddle Yöntemine göre Evapotranspirasyon

Ampirik yöntemlerden olan Blaney-Criddle formülü ile, ortalama hava sıcaklığı gibi iklim verilerinden ve ayçiçeği bitki özelliklerinden yararlanarak aylık potansiyel evapotranspirasyon hesabı yapılmış ve elde edilen aylık potansiyel evapotranspirasyon

değerleri Şekil 5.2’ de grafik olarak verilmiştir. Şekil 5.2’ de aylar, ayçiçeğinin Nisan ayından hasat yapılan Eylül ayına kadar büyüme mevsimi esas alınarak belirlenmiştir. Çalışma yapılan tarihler olan 1990-2020 yıllar arasında 372 ay içinde Nisan ve Ağustos ayı dahil toplam 155 ay evapotranspirasyon değerleri göz önüne alınmıştır.



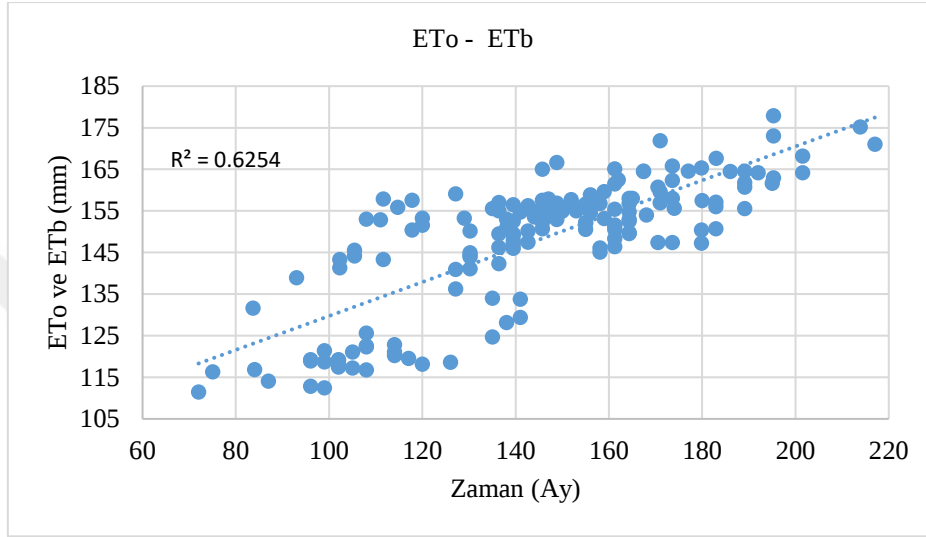
Şekil 5.2 Blaney-Criddle, büyüme mevsimine göre aylık potansiyel evapotranspirasyon



Şekil 5.3 Büyüme mevsimine göre referans ve Blaney-Criddle evapotranspirasyon değerleri

Büyüme mevsimi her yıl için 5 ay ve 1990’dan 2020 yılına kadar 31 yıl boyunca 155 veri değerlendirildiğinde birbiri ile olan ilişkisi yukarıda Şekil 5.3’te verilmiştir. Şekil 5.3’e göre referans evapotranspirasyon ile Blaney-Criddle formülü ile elde edilen

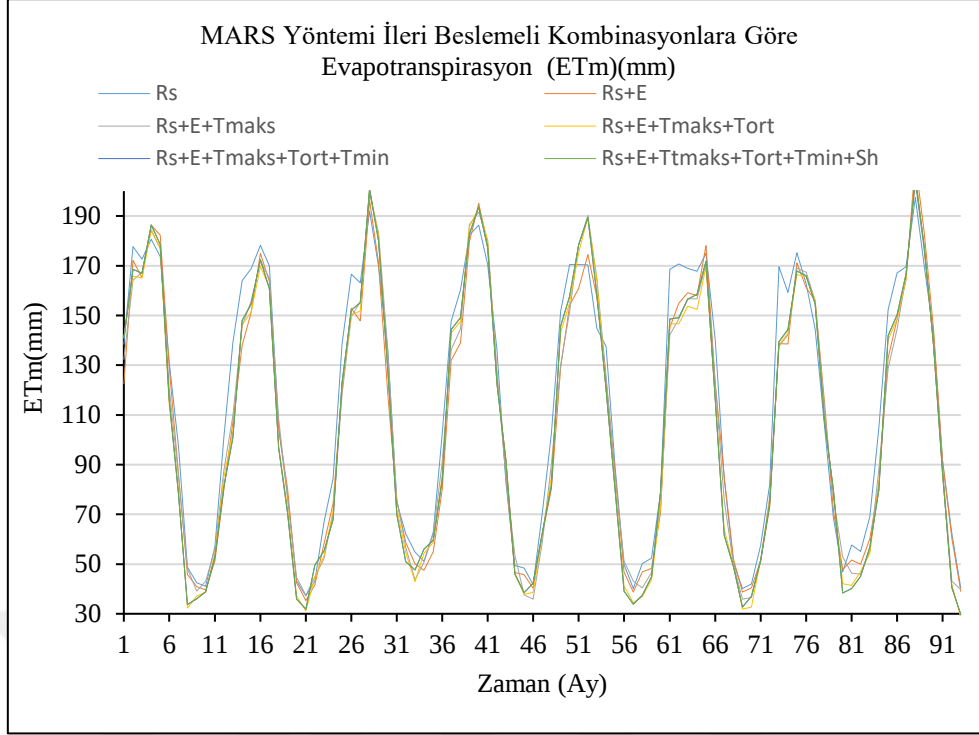
evapotranspirasyon arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir. Aralarındaki farkın sayısal olarak anlaşılabilmesi için nokta saçılım diyagramı çizilmiş ve Şekil 5.4'te verilmiştir. Aynı zamanda determinasyon katsayısı (R^2) hesaplanmış ve 0,6254 bulunmuştur. Determinasyon katsayısına bakıldığında referans evapotranspirasyon değerleri ile Blaney-Criddle ile bulunan evapotranspirasyon değerleri arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4 Büyüme mevsimine göre referans ve Blaney-Criddle evapotranspirasyon değerlerinin performansı

5.3. MARS Yöntemine Göre Evapotranspirasyon

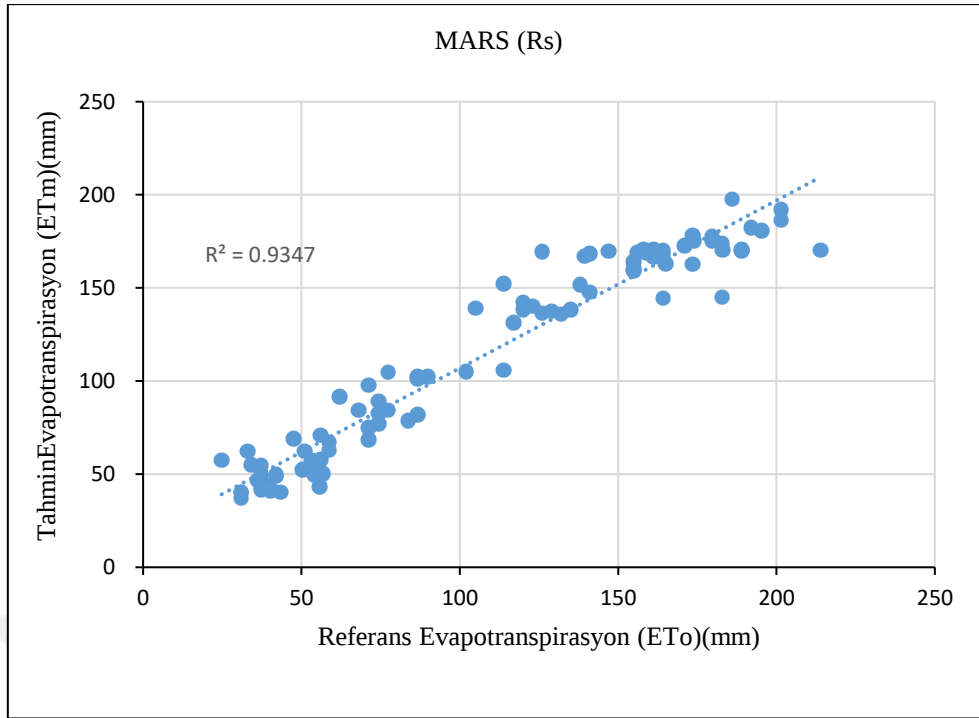
MARS yöntemine göre evapotranspirasyon tahmini yapılırken güneşlenme şiddeti (R_s), buharlaşma (E), maksimum sıcaklık (T_{maks}), ortalama sıcaklık (T_{ort}), minimum sıcaklık (T_{min}) ve güneşlenme süresi (S_h) gibi iklim verileri sırasıyla ileri besleme ile sisteme katılarak evapotranspirasyon tahmini yapılmıştır.



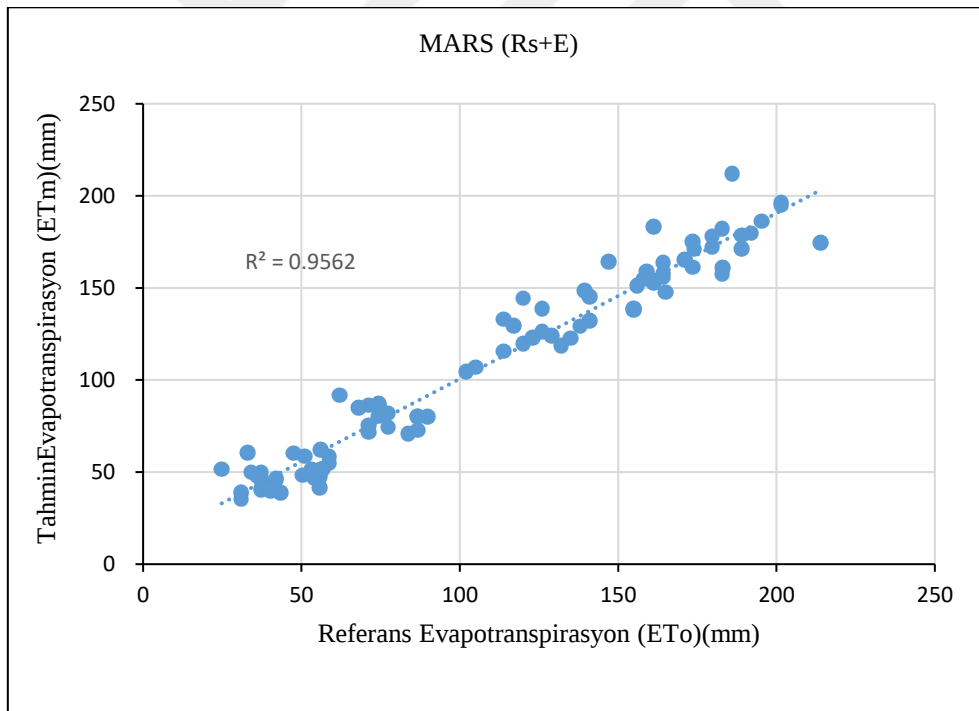
Şekil 5.5 MARS yöntemi ileri beslemeli kombinasyonlara göre evapotranspirasyon

Şekil 5.5'ten görüleceği üzere çeşitli kombinasyonlara göre neredeyse yakın sonuçlar bulunmuştur.

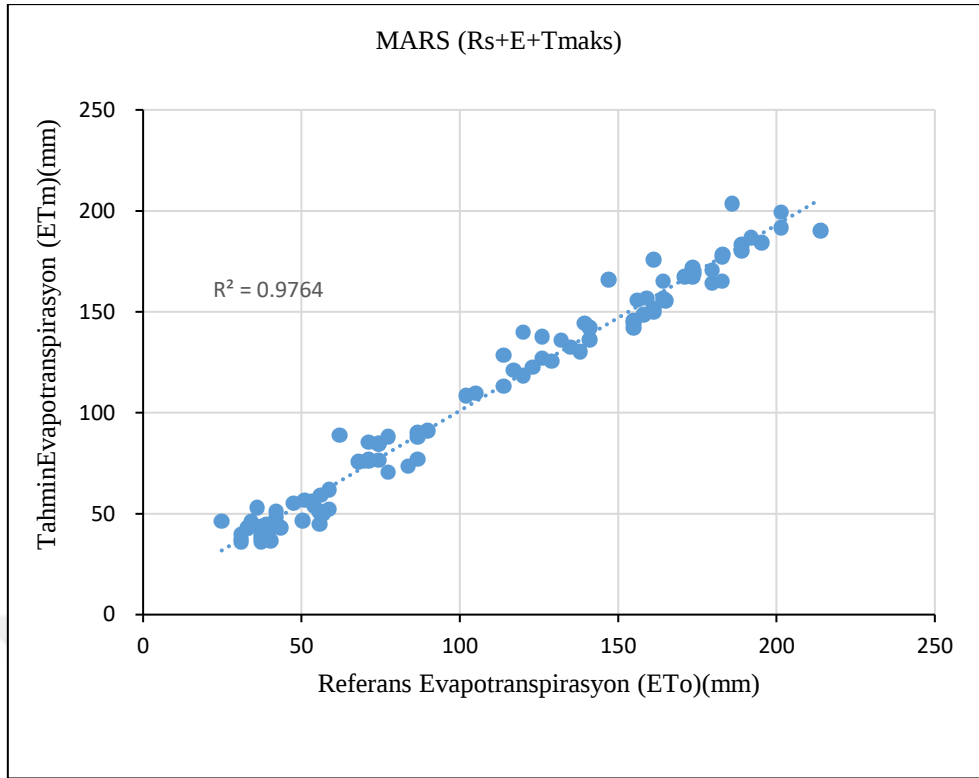
Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de sırasıyla girdiler ileri besleme yöntemine göre sisteme dahil edilmiş ve en iyi korelasyon bulunulmaya çalışılmıştır.



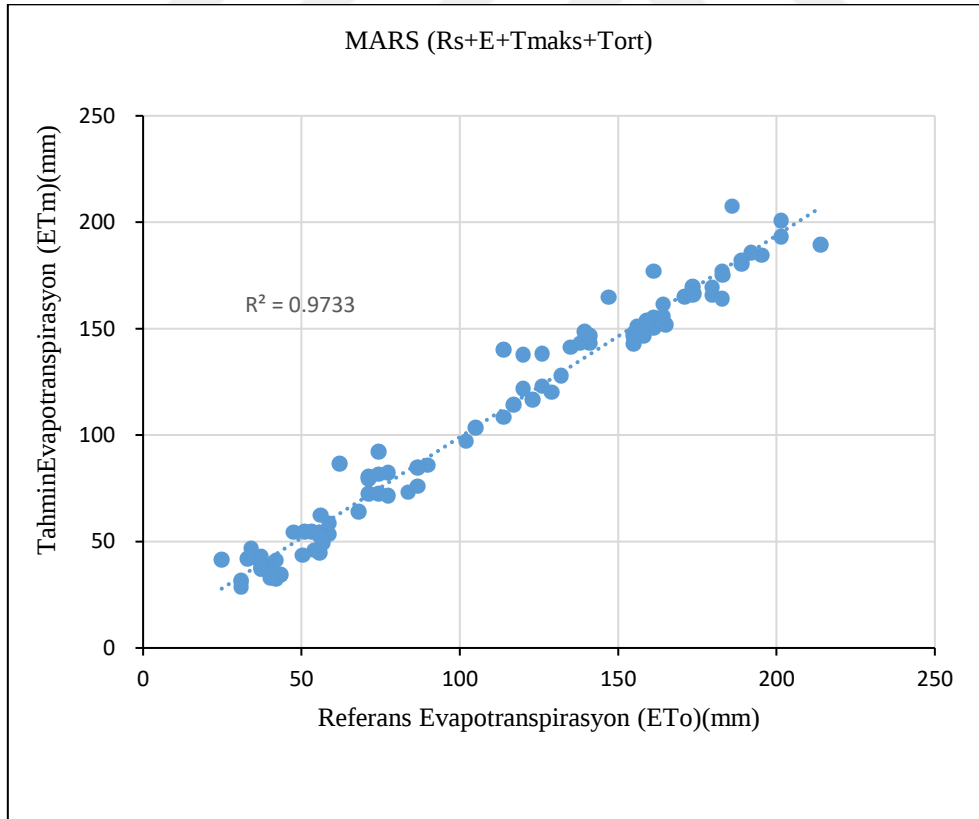
Şekil 5.6 Girdileri R_s olan MARS modeli performansı



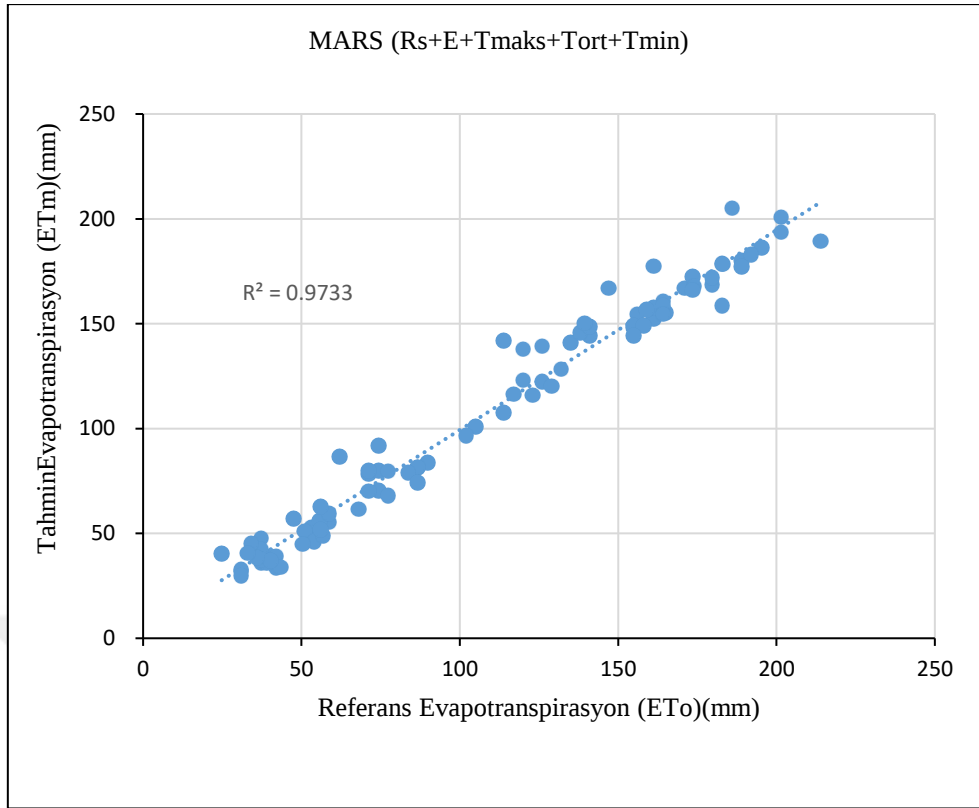
Şekil 5.7 Girdileri R_s ve E olan MARS modeli performansı



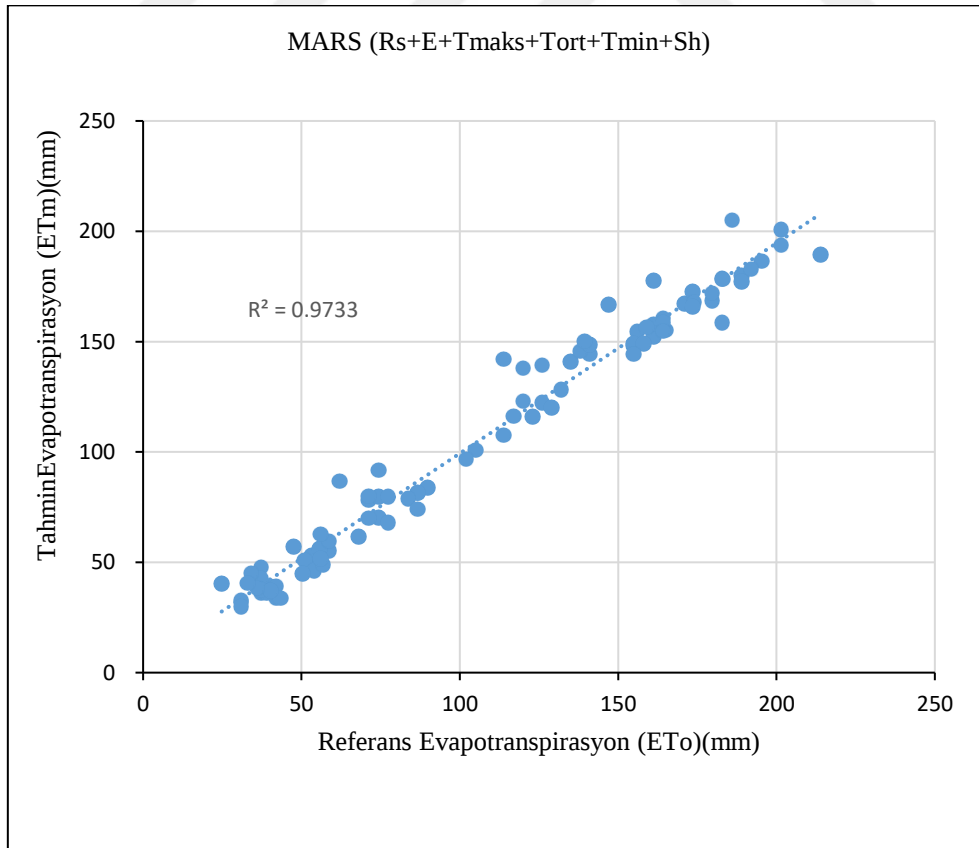
Şekil 5.8 Girdileri R_s , E ve T_{maks} olan MARS modeli performansı



Şekil 5.9 Girdileri R_s , E , T_{maks} ve T_{ort} olan MARS modeli performansı



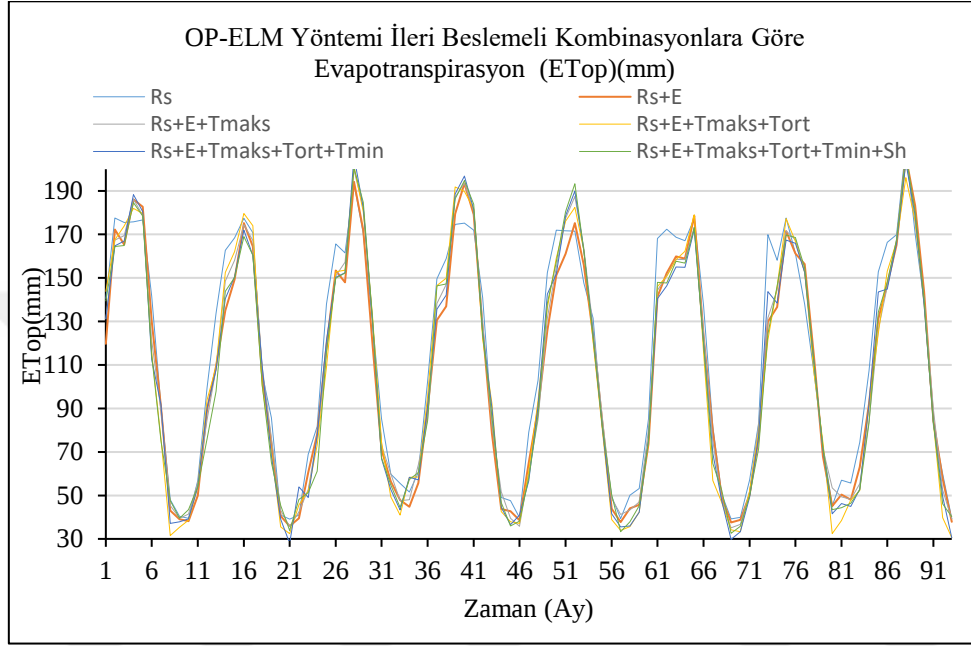
Şekil 5.10 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} ve T_{min} olan MARS modeli performansı



Şekil 5.11 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve S_h olan MARS modeli performansı

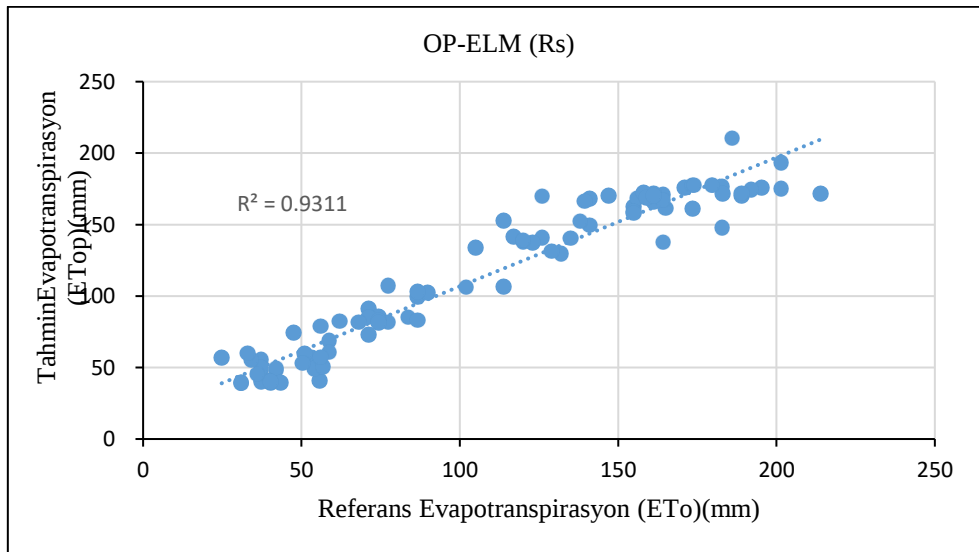
5.4. OP-ELM Yöntemine Göre Evapotranspirasyon

OP-ELM yöntemine göre evapotranspirasyon tahmini yapılırken güneşlenme şiddeti (R_s), buharlaşma (E), maksimum sıcaklık (T_{maks}), ortalama sıcaklık (T_{ort}), minimum sıcaklık (T_{min}) ve güneşlenme süresi (S_h) gibi iklim verileri sırasıyla ileri besleme ile sisteme katılarak evapotranspirasyon tahmini yapılmıştır.

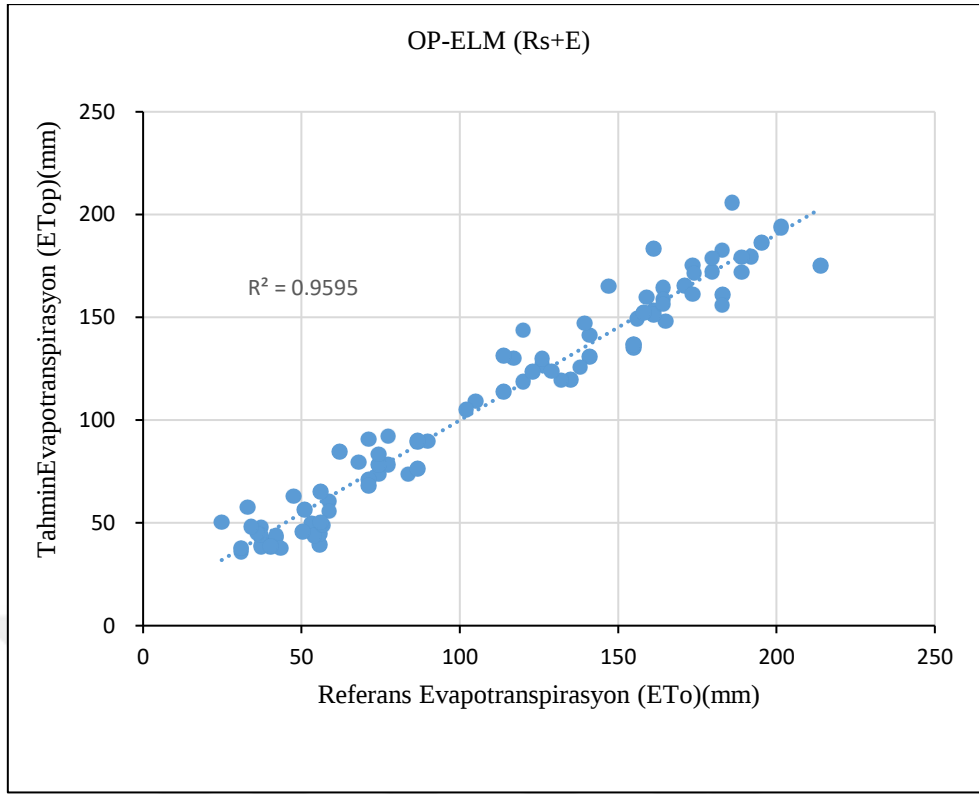


Şekil 5.12 OP-ELM yöntemi ileri beslemeli kombinasyonlara göre evapotranspirasyon

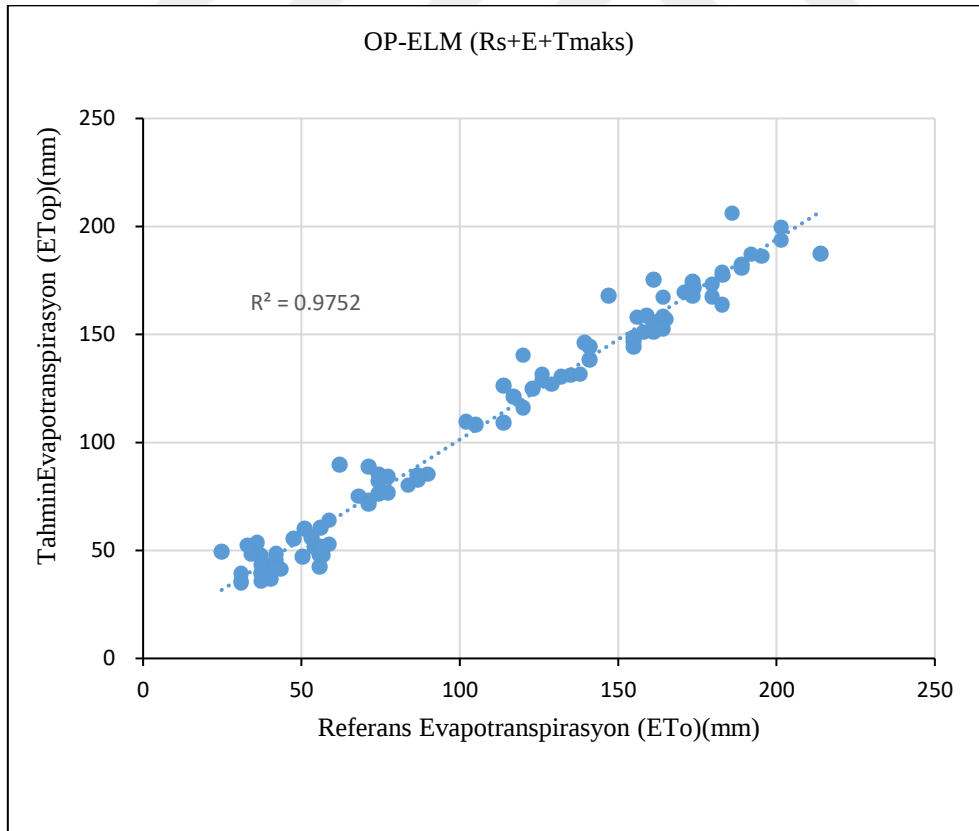
Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de sırasıyla girdiler ileri besleme yöntemine göre sisteme dahil edilmiş ve en iyi korelasyon bulunulmaya çalışılmıştır.



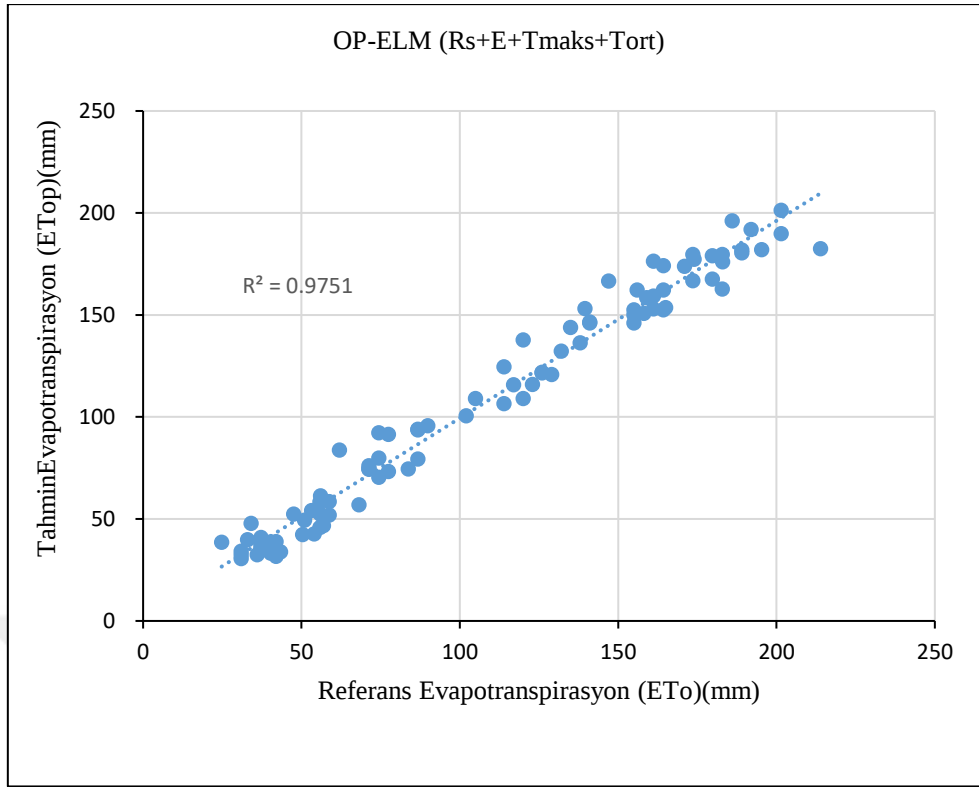
Şekil 5.13 Girdileri R_s olan OP-ELM modeli performansı



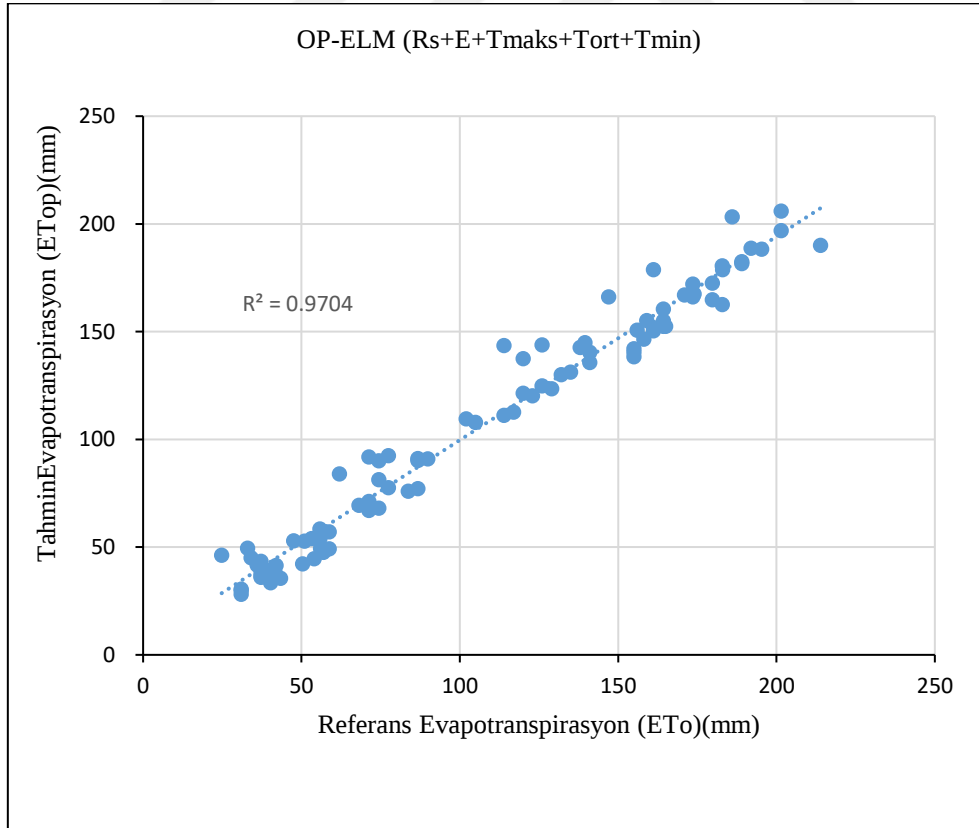
Şekil 5.14 Girdileri R_s ve E olan OP-ELM modeli performansı



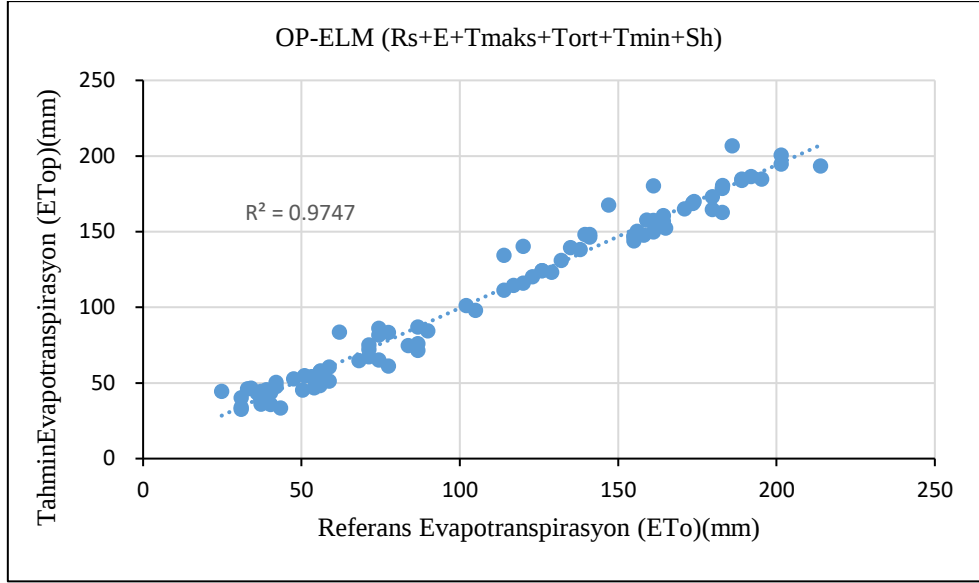
Şekil 5.15 Girdileri R_s , E ve T_{maks} olan OP-ELM modeli performansı



Şekil 5.16 Girdileri R_s , E , T_{maks} ve T_{ort} olan OP-ELM modeli performansı



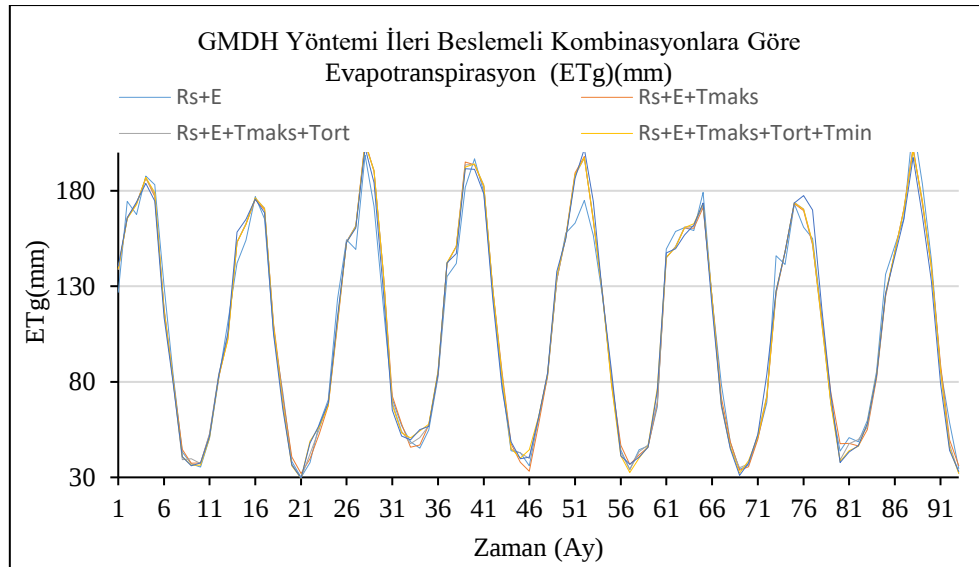
Şekil 5.17 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} ve T_{min} olan OP-ELM modeli performansı



Şekil 5.18 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve H_s olan OP-ELM modeli performansı

5.5. GMDH Yöntemine Göre Evapotranspirasyon

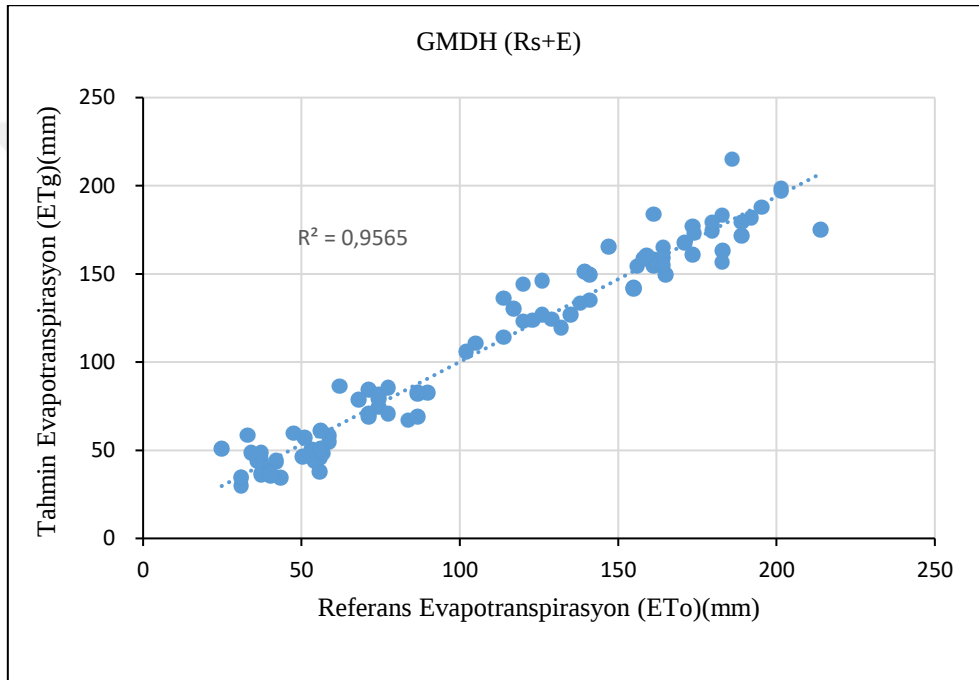
GMDH yönteminde çoklu giriş ve tek çıkış söz konusu olup tek bağımsız değişkenin girilmesi halinde çözüm gerçekleştirilemediğinden dolayı evapotranspirasyon tahmini yapılırken güneşlenme şiddeti (R_s) ve buharlaşma (E) veri dizileri girdi olarak alınmış ve ileri besleme ile kombinasyona devam edilmiştir. maksimum sıcaklık (T_{maks}), ortalama sıcaklık (T_{ort}), minimum sıcaklık (T_{min}) ve güneşlenme süresi (S_h) gibi iklim verileri sırasıyla ileri besleme ile sisteme katılarak evapotranspirasyon tahmini yapılmıştır.



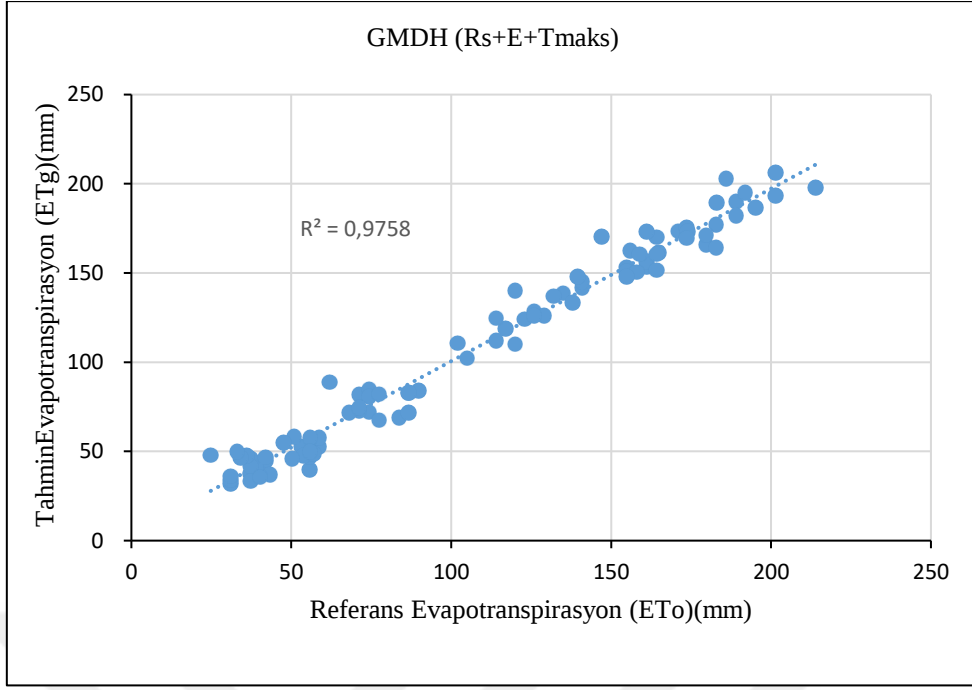
Şekil 5.19 GMDH yöntemi ileri beslemeli kombinasyonlara göre evapotranspirasyon

Şekil 5.19'dan görüleceği üzere çeşitli kombinasyonlara göre neredeyse yakın sonuçlar bulunmuştur.

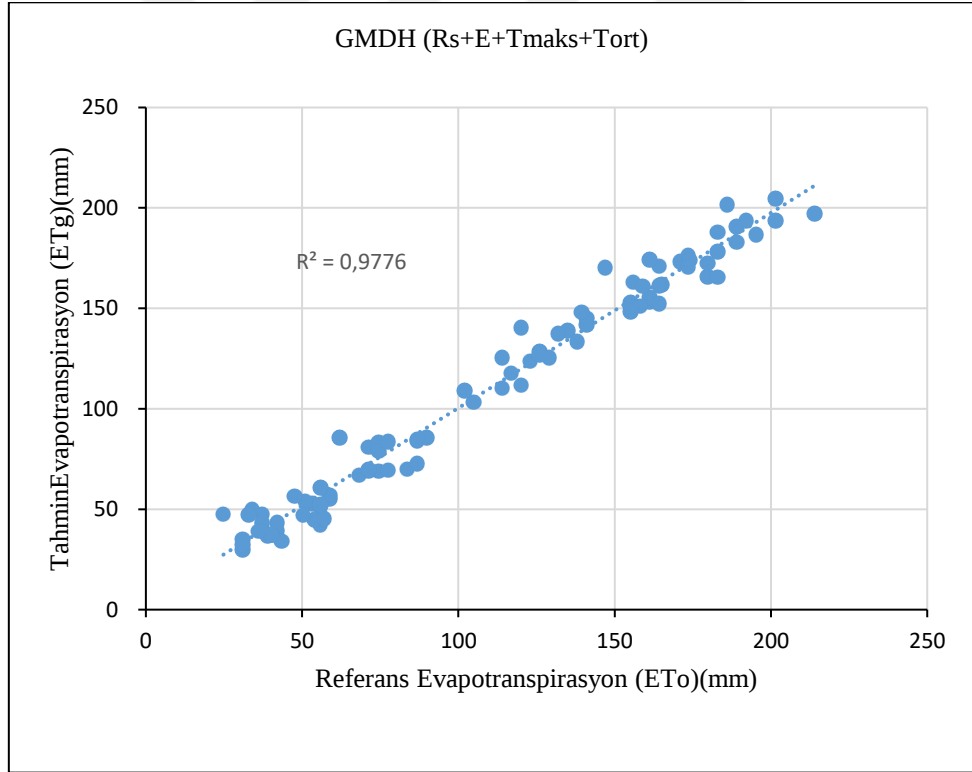
Yatay eksen referans evapotranspirasyon değerleri düşey eksen tahmin edilen evapotranspirasyon değerleri olarak alınırsa kartezyen koordinatlarda GMDH yönteminin değişik kombinasyonlarda saçılım diyagramları ve performansları Aşağıdaki Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te sırasıyla girdiler ileri besleme yöntemine göre sisteme dahil edilmiş ve en iyi korelasyon bulunulmaya çalışılmıştır.



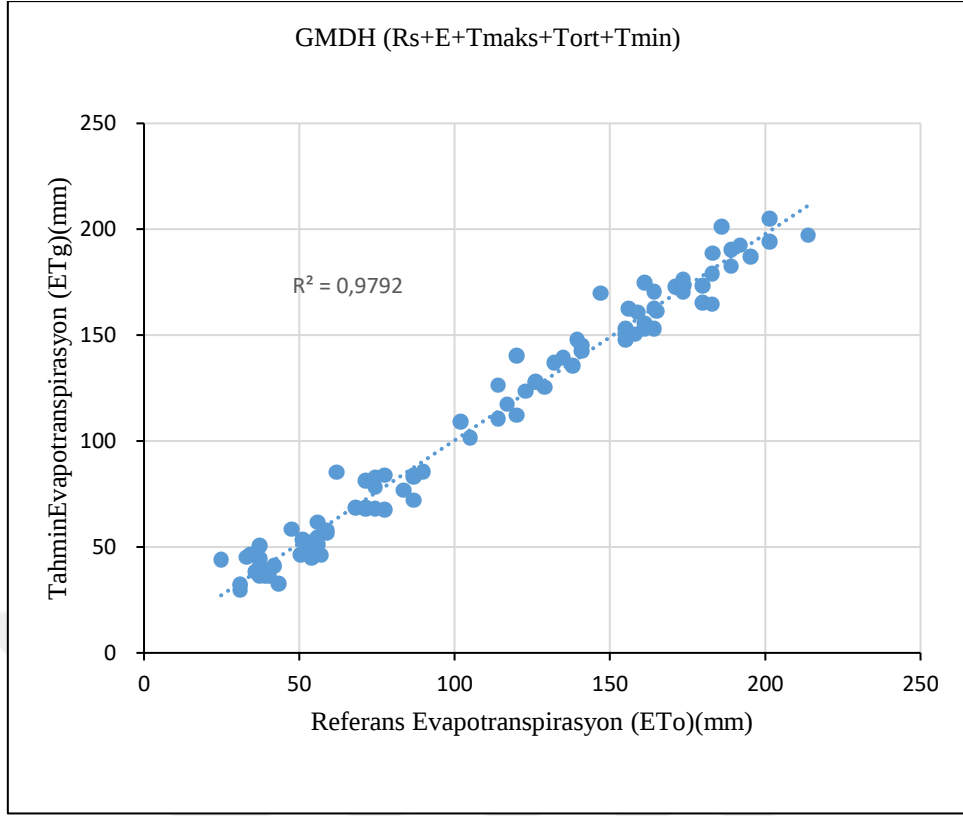
Şekil 5.20 Girdileri R_s ve E olan GMDH modeli performansı



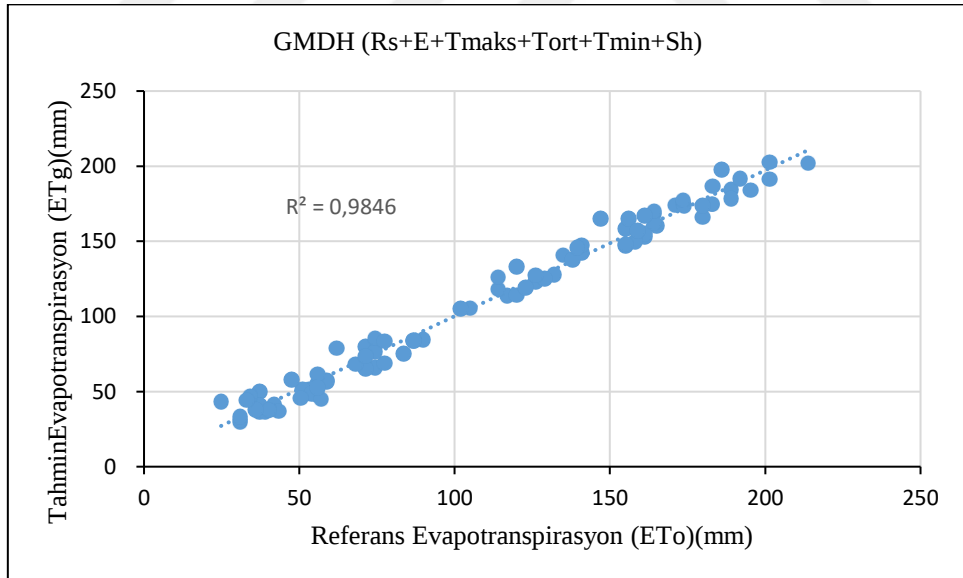
Şekil 5.21 Girdileri R_s , E ve T_{maks} olan GMDH modeli performansı



Şekil 5.22 Girdileri R_s , E , T_{maks} ve T_{ort} olan GMDH modeli performansı



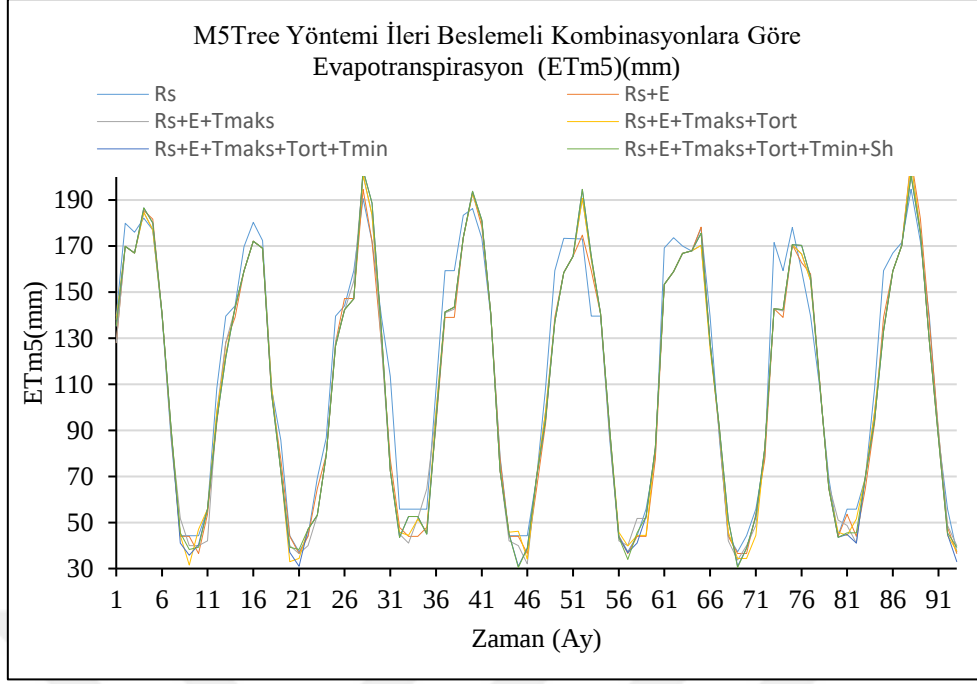
Şekil 5.23 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} ve T_{min} olan GMDH modeli performansı



Şekil 5.24 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve S_h olan GMDH modeli performansı

5.6. M5Tree Yöntemine Göre Evapotranspirasyon

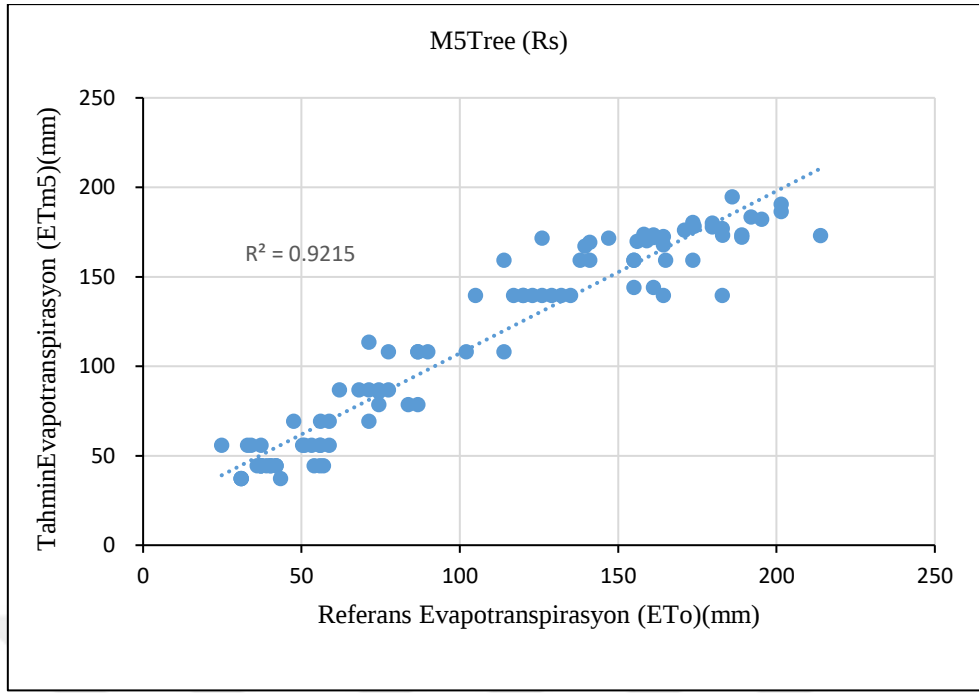
M5Tree yöntemine göre evapotranspirasyon tahmini yapılırken güneşlenme siddeti (R_s), buharlaşma (E), maksimum sıcaklık (T_{maks}), ortalama sıcaklık (T_{ort}), minimum sıcaklık (T_{min}) ve güneşlenme süresi (S_h) gibi iklim verileri ileri sırasıyla besleme ile sisteme katılarak evapotranspirasyon tahmini yapılmıştır.



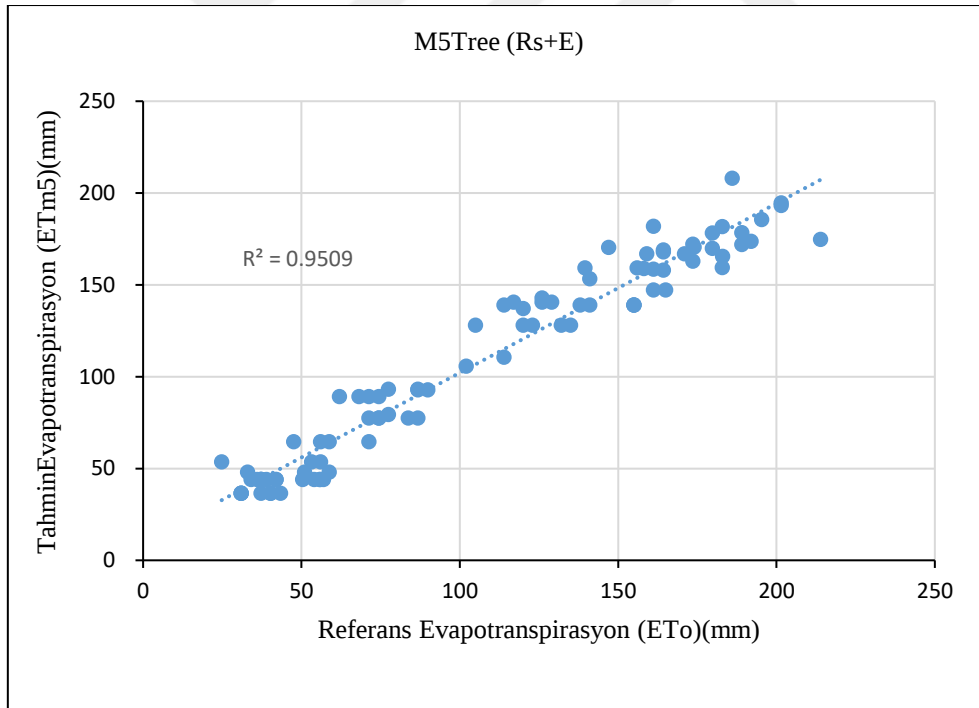
Şekil 5.25 M5Tree yöntemi ileri beslemeli kombinasyonlara göre evapotranspirasyon

Şekil 5.25'ten görüleceği üzere çeşitli kombinasyonlara göre neredeyse yakın sonuçlar bulunmuştur.

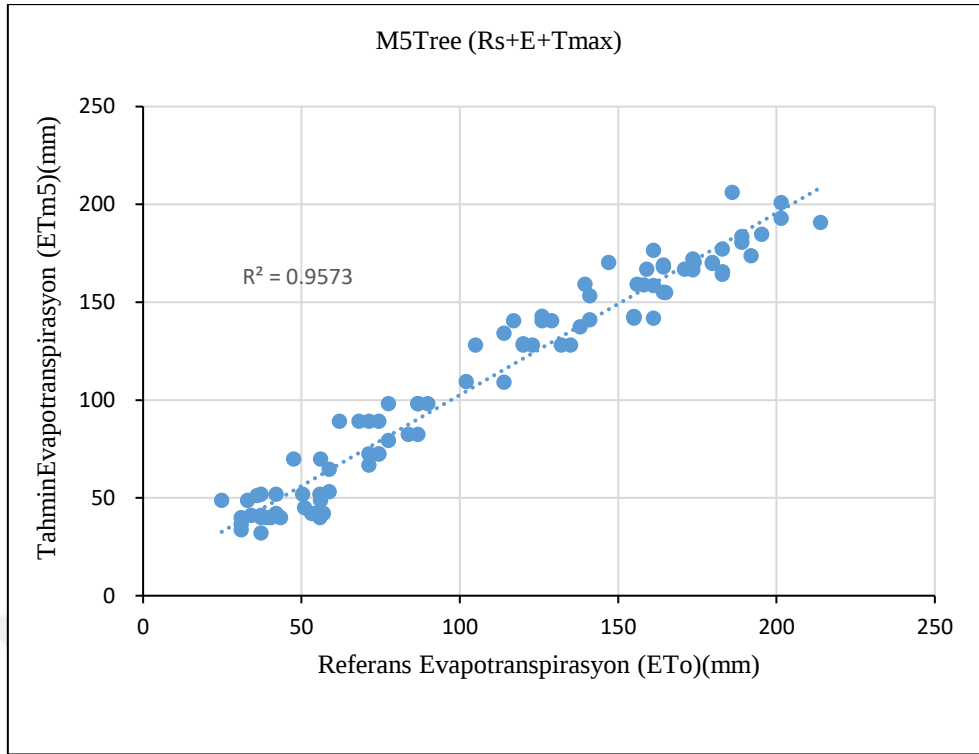
Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de sırasıyla girdiler ileri besleme yöntemine göre sisteme dahil edilmiş ve en iyi korelasyon bulunulmaya çalışılmıştır.



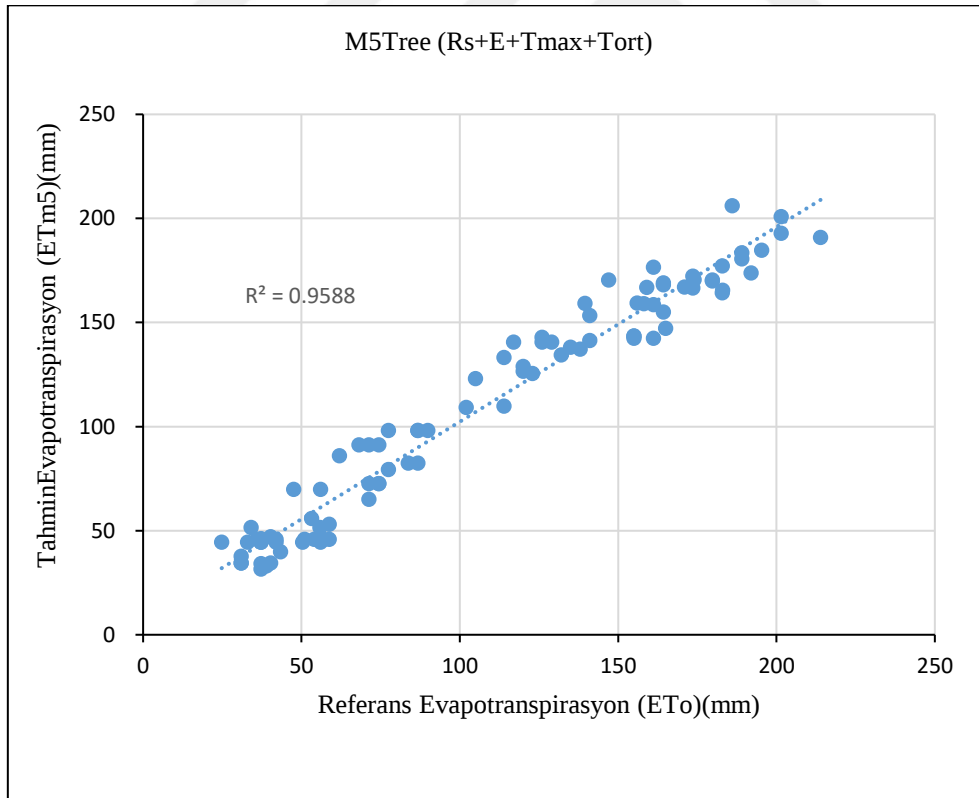
Şekil 5.26 Girdileri R_s olan M5Tree modeli performansı



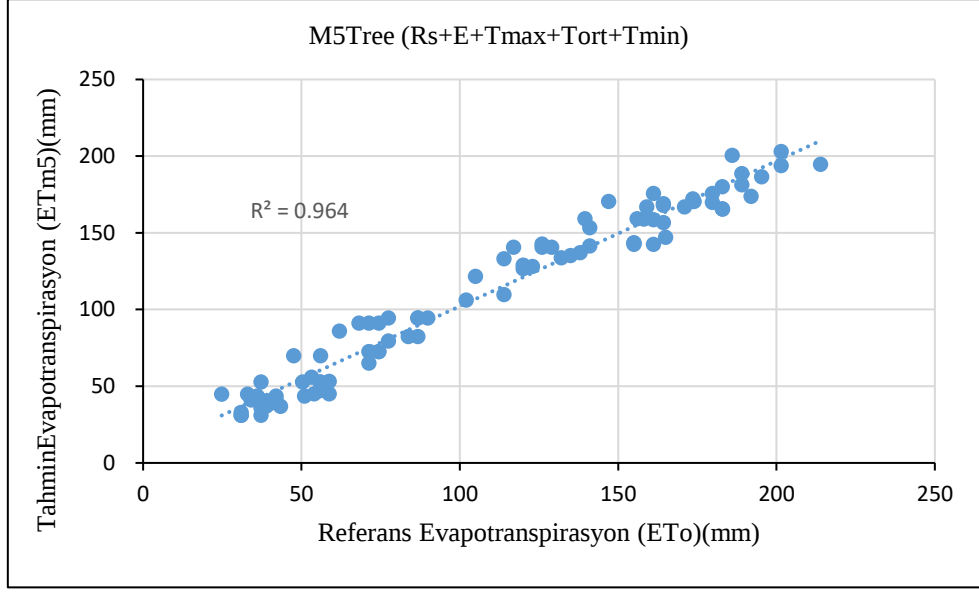
Şekil 5.27 Girdileri R_s ve E olan M5Tree modeli performansı



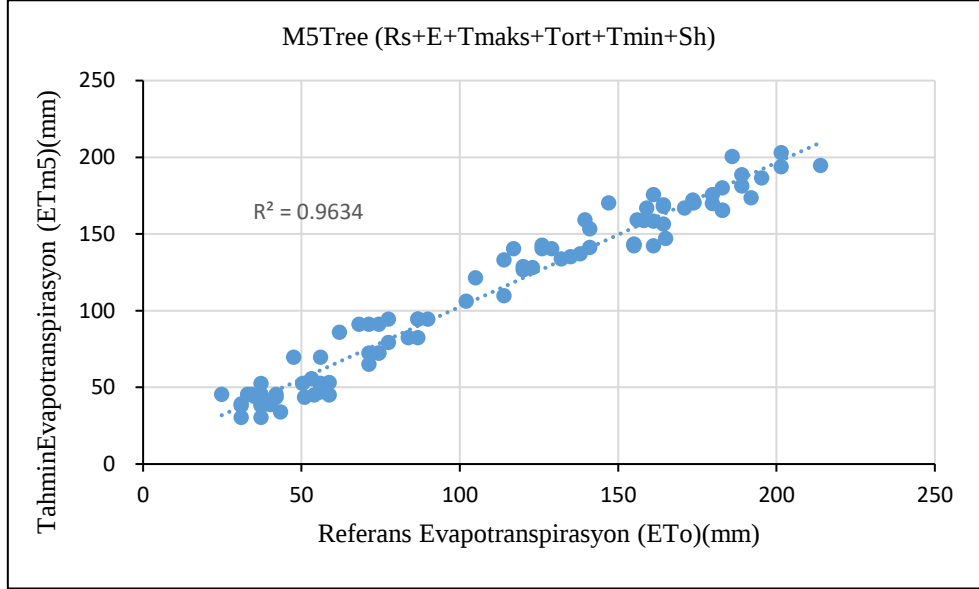
Şekil 5.28 Girdileri R_s , E ve T_{maks} olan M5Tree modeli performansı



Şekil 5.29 Girdileri R_s , E , T_{maks} ve T_{ort} olan M5Tree modeli performansı



Şekil 5.30 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} ve T_{min} olan M5Tree modeli performansı



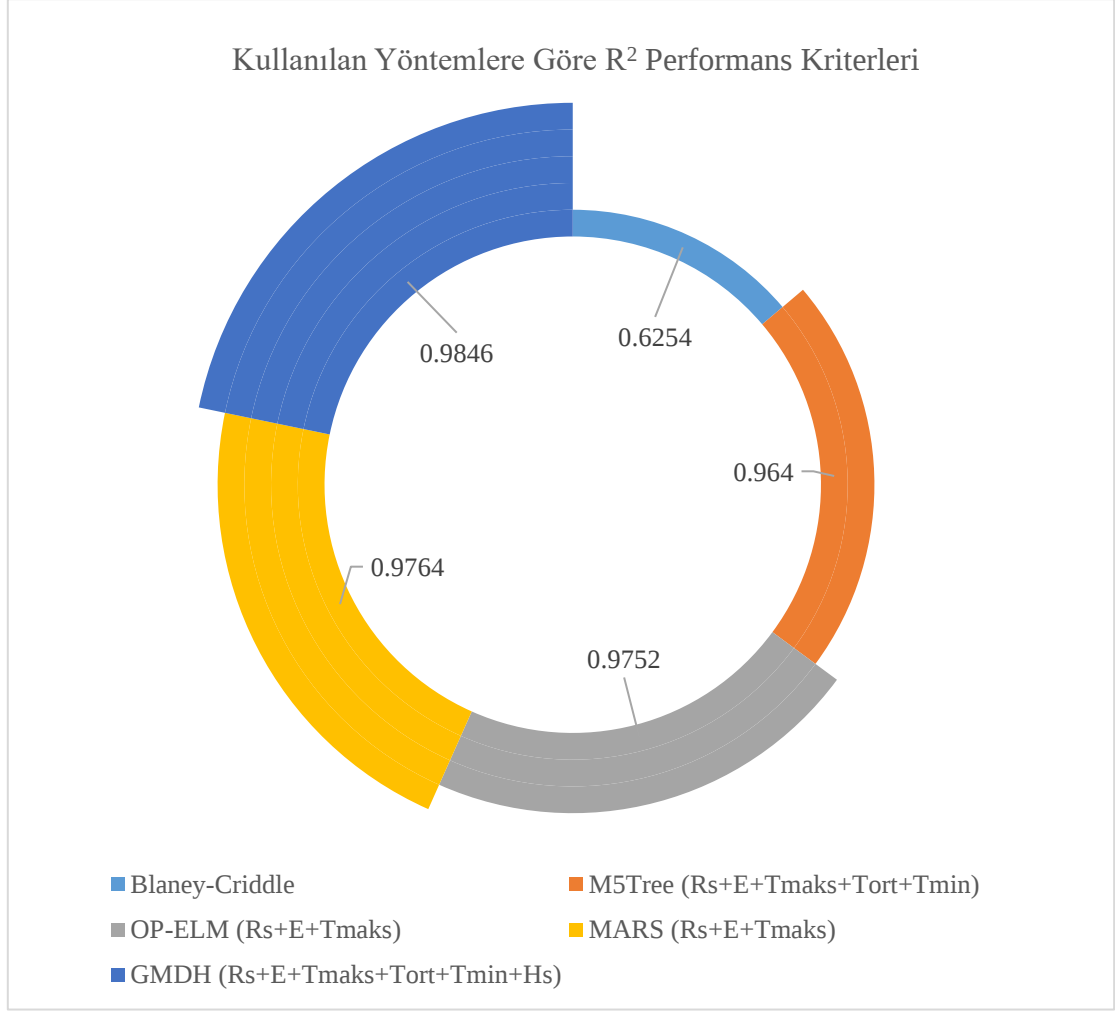
Şekil 5.31 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve S_h olan M5Tree modeli performansı

5.7. Performans Değerlendirme Kriterleri

Elde edilen tahmini evapotranspirasyon değerlerinin referans evapotranspirasyon ile olan korelasyonunu incelemek için aşağıda verilen sırasıyla determinasyon katsayısı (R^2) Denklem 4.7, ortalama karesel hata (MSE) Denklem 4.8, ortalama mutlak hata (MAE) Denklem 4.9 ve ortalama mutlak rölatif hata (AARE) değerleri Denklem 4.10 ile hesaplanmış ve Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Çizelge 5.1’de en iyi sonuçlar kalın karakterlerle belirtilmiştir. Kullanılan yöntemler arasında en iyi R^2 sonuçlarını veren kombinasyonlar Şekil 5.32’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Performans kriterleri

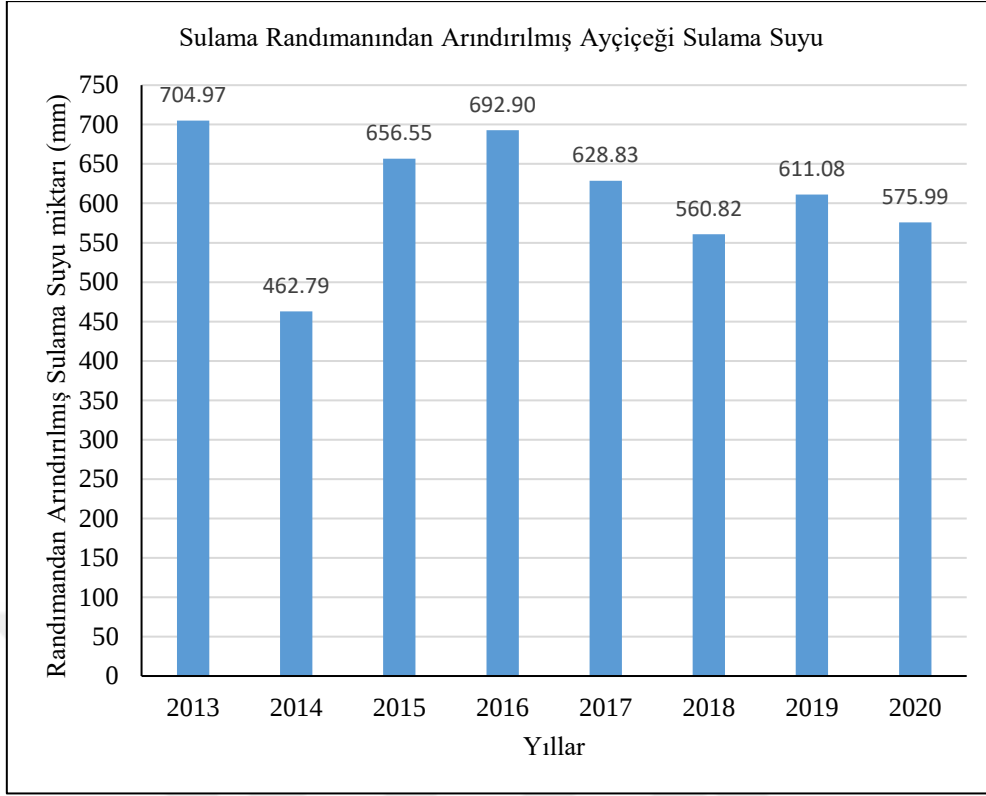
	Yöntem	R ²	MSE	MAE	AARE
	Blaney-Criddle	0,6254	425,90	16,76	12,85
	Kombinasyonlar				
	R _s	0,9347	247,90	12,25	15,83
	R _s +E	0,9566	148,65	9,40	12,21
MARS	R _s +E+T _{maks}	0,9764	84,56	7,34	9,58
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort}	0,9733	88,10	7,46	8,65
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort} +T _{min}	0,9734	86,64	7,26	8,45
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort} +T _{min} +H _s	0,9732	86,63	7,25	8,46
	Kombinasyonlar				
	R _s	0,9311	257,06	12,49	15,71
	R _s +E	0,9595	138,32	8,93	11,27
OP-ELM	R _s +E+T _{maks}	0,9752	86,51	7,11	9,85
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort}	0,9751	79,29	6,95	8,33
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort} +T _{min}	0,9704	95,94	7,40	8,86
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort} +T _{min} +H _s	0,9447	83,18	7,20	9,13
	Kombinasyonlar				
	R _s +E	0,9565	138,68	8,76	11,07
	R _s +E+T _{maks}	0,9758	76,73	6,77	9,15
GMDH	R _s +E+T _{maks} +T _{ort}	0,9776	70,63	6,43	8,69
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort} +T _{min}	0,9792	65,70	6,17	8,07
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort} +T _{min} +H _s	0,9846	49,07	5,56	7,23
	Kombinasyonlar				
	R _s	0,9215	291,36	13,44	16,49
	R _s +E	0,9509	159,72	10,06	12,43
M5Tree	R _s +E+T _{maks}	0,9573	141,30	9,58	12,21
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort}	0,9588	135,00	9,53	12,17
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort} +T _{min}	0,9640	117,47	8,35	10,17
	R _s +E+T _{maks} +T _{ort} +T _{min} +H _s	0,9634	121,35	8,66	11,10



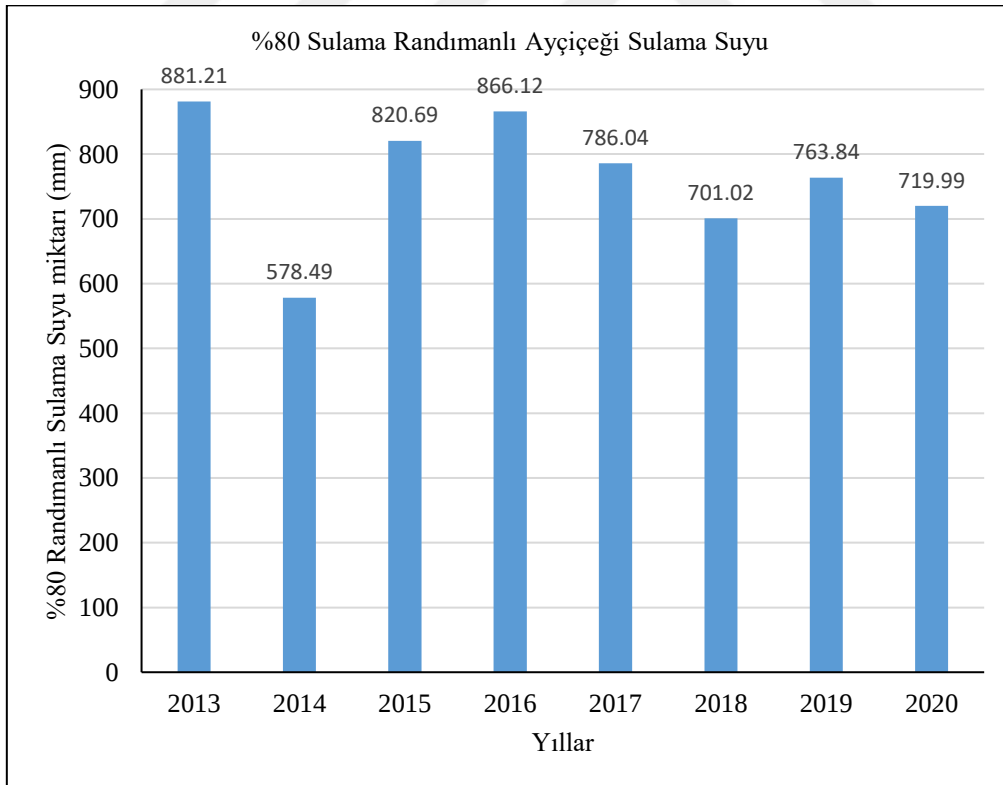
Şekil 5.32 Kullanılan yöntemlere göre R^2 performans kriterleri

5.8. Bitki Sulama Suyu Hesabı

Çizelge 5.1'e göre evapotranspirasyonu en iyi tahmin eden R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve S_h iklim verileri girdi kombinasyonları ile GMDH yöntemi olduğundan elde edilen aylık evapotranspirasyon ve aylık ortalama yağış yüksekliği verileri kullanılarak 4. Bölümde verilen (4.12), (4.13) ve (4.14) bağıntıları yardımıyla ayçiçeği bitki su ihtiyacı aylık olarak belirlenmiştir. Şekil 5.33'te ayçiçeği büyüme mevsimi göz önüne alınarak bitki su ihtiyacı aylara göre değişimi sulama randımanından arındırılmış hali ile verilmiştir. Şekil 5.34' de ise ayçiçeği büyüme mevsimi göz önüne alınarak bitki su ihtiyacı aylara göre değişimi sulama randımanı %80 kabul edilmiş hali ile verilmiştir.



Şekil 5.33 Sulama suyu randımanından arındırılmış ayçiçeği sulama suyu



Şekil 5.34 %80 randımanlı ayçiçeği sulama suyu



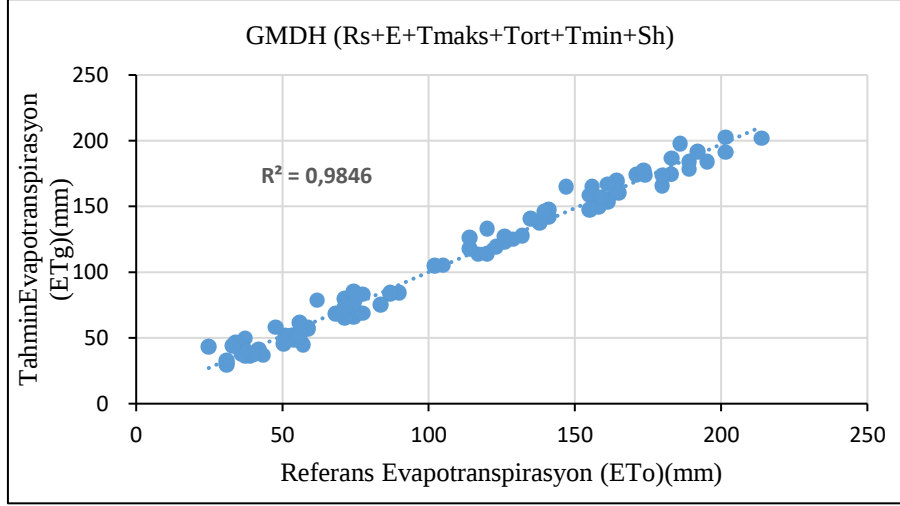
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Evapotranspirasyon değerlerinin belirlenmesi ancak deneylere ve tecrübelerle dayanılarak elde edilebildiğinden dolayı zahmetli ve meşakkatli bir iştir. Günümüzde evapotranspirasyonun bilgisayar teknolojilerinin ilerlemesi ile hesap etme sürelerinin azalması ve daha kolay yapılabilmesinden dolayı revaçta olan sezgisel yöntemlerle tahmin edilmesi önem kazanmaktadır.

Başlangıç olarak FAO-56 PM ampirik formülü ile bulunan evapotranspirasyon değerleri referans evapotranspirasyon değerleri olarak alınmış ve bu değerlere en yakın sonucu veren yöntem araştırılmıştır. Yapılan çalışmada toplam 25 yöntem denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sezgisel yöntemlerin, klasik bir yöntem olan Blaney-Criddle formülüne göre çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Çizelge 5.1'e göre Blaney-Criddle formülü ile bulunan evapotranspirasyon değerlerinin %62,54 doğruluğa sahip olduğu, sezgisel yöntemlerle bulunan evapotranspirasyon yöntemlerinin ise %90'ın üzerinde doğruluğu görülmüştür.

Sezgisel yöntemler içinde ise en iyi sonucu Şekil 6.1'de görüldüğü gibi %98,46 doğrulukla R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve S_h iklim verileri girdi kombinasyonları ile GMDH yöntemi vermiştir. Öte yandan Çizelge 5.1'den görüleceği üzere R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve S_h iklim verileri girdi kombinasyonları ile GMDH yöntemi MSE=49,07 gibi en düşük ortalama karesel hataya, MAE=5,56 gibi en düşük ortalama mutlak hataya ve AARE=7,23 gibi en düşük ortalama mutlak rölatif hataya sahiptir.



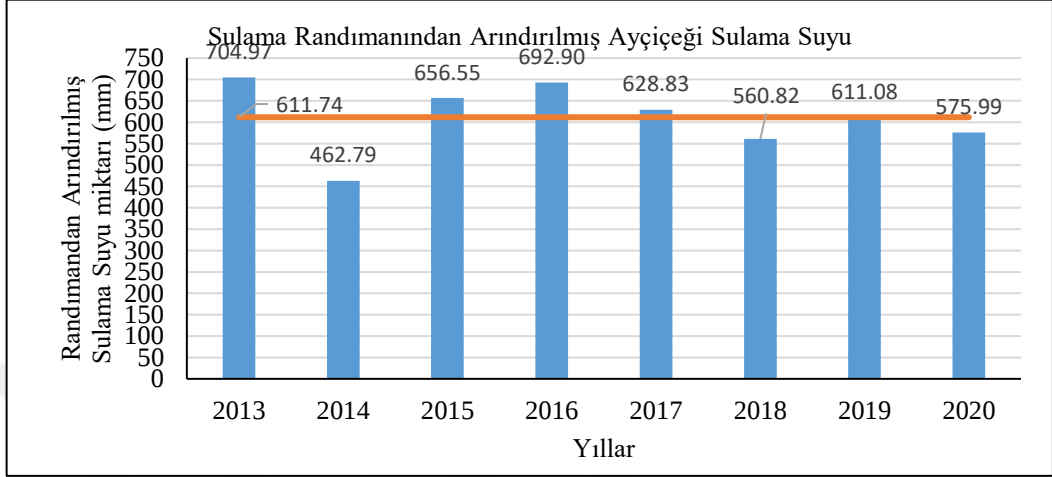
Şekil 6.1 Girdileri R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve S_h olan GMDH modeli

Bu performans kriterlerine göre en kötü sonucu Çizelge 5.1’den görüleceği üzere $R^2=0,6254$ en düşük determinasyon katsayısı, $MSE=425,90$ gibi en yüksek ortalama karesel hata, $MAE=16,76$ gibi en yüksek ortalama mutlak hata ve $AARE=12,85$ gibi en yüksek ortalama mutlak rölatif hata ile Blaney-Criddle formülü vermiştir.

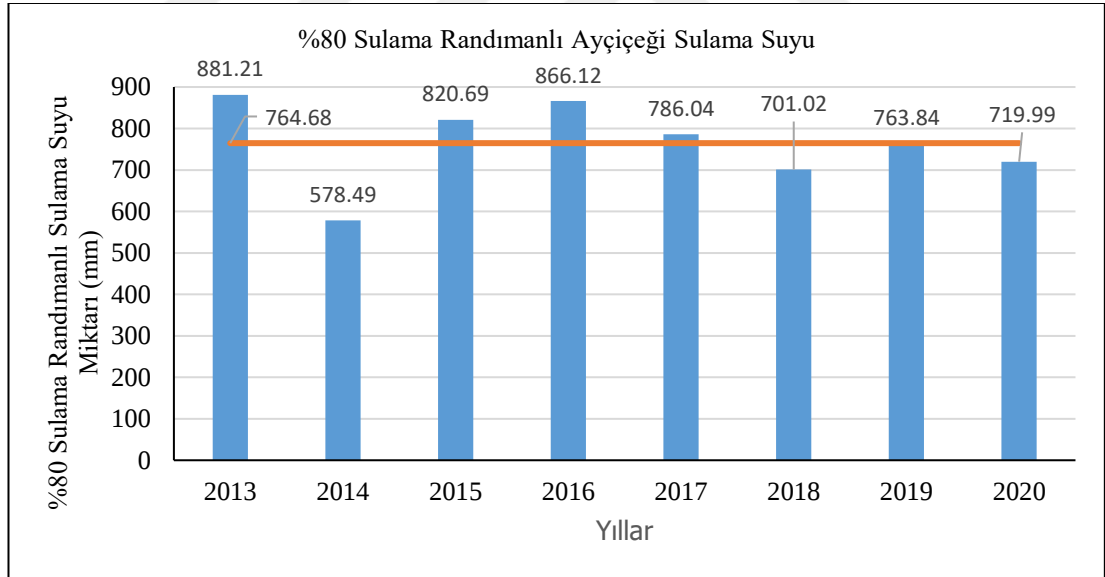
Ayçiçeği bitkisi sulama suyu ihtiyacını bulmak için en iyi sonucu veren, R_s , E , T_{maks} , T_{ort} , T_{min} ve S_h iklim verileri girdi kombinasyonları ile GMDH yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemle göre aylık evapotranspirasyon değerleri tahmin edilmiştir. Tahmin edilen yıllar, Şekil 6.2’den de görüleceği üzere 2013 ile 2020 yılları arasında toplam 8 yıldır. Ayçiçeğinin büyüme mevsimi 1 Nisan’dan 30 Ağustos’a kadar 5 ay kabul edildiğinden 2013 ile 2020 yılları arasındaki bu 5 ay tahmin edilen evapotranspirasyon ve aylık ortalama yağış yükseklikleri kullanılmıştır.

Sulama yapılırken gerek isale hatlarında gerekse diğer sebeplerden sulama suyunda kayıplar meydana gelebilir. Bu kayıpların %20 olduğu kabul edildiğinden ancak sulama suyunun %80’ den faydalanılabilmektedir. Sulama randımanı diye nitelendirilen bu değer sulama suyu hesabına hem katılarak hem de katılmayarak hesaplar gerçekleştirilmiştir. Daha anlaşılır sonuçlar elde etmek için sulama randımanından arındırılmış adı altında sulama randımanı hesaba katılmamıştır. Daha sonra sulama randımanı hesaba katılarak daha gerçekçi sulama suyu miktarı hesaplanmıştır. Şekil 6.2’ de sulama randımanından arındırılmış ayçiçeği bitkisi sulama suyu miktarı ve Şekil 6.3’te %80 sulama randımanlı ayçiçeği sulama suyu miktarı verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere

2013 yılında sulama randımanlı 704,97 mm ve sulama randımanlı 881.21 mm, sulama randımanlı 462,79 mm ve sulama randımanlı 578.49 mm olarak 2014 yılları için bulunmuştur. Bu durumda 2013 yılından 2020 yılına kadar en kurak dönemin 2013 yılı olduğu ve en sulak dönemin ise 2014 yılı olduğu söylenebilir.



Şekil 6.2 Sulama randımanından arındırılmış yıllık bazda ayçiçeği bitkisi sulama suyu ihtiyacı



Şekil 6.3 %80 Sulama randımanlı yıllık bazda ayçiçeği bitkisi sulama suyu ihtiyacı

8 yıllık periyod içinde ayçiçeği bitkisinin randımandan arındırılmış ortalama yıllık sulama suyu ihtiyacının Şekil 6.2'deki verilerin ortalaması olan 611,74 mm, %80 randımanlı ortalama yıllık sulama suyu ihtiyacının Şekil 6.3'teki verilerin ortalaması olan 764.68 mm olduğu görülmüştür. Türkiye'nin yıllık ortalama yağış

yüksekliğinin 650 mm civarında olması düşünüldüğünde Ergene Havzasında ekilen ayçiçeği sulama suyunun bir yıl boyunca yağış miktarı kadar olduğu söylenebilir. Ancak ayçiçeğinin büyüme mevsimi 5 ay olarak alındığına göre Türkiye'nin ortalama yağış yüksekliğinin yetersiz olduğu anlaşılır. Tarımda sulamanın verimi artırdığı bilinmektedir. Bu durumda sulu tarım sayesinde ayçiçeği veriminin artacağı söylenebilir.

Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'ten elde edilen ortalama ayçiçeği bitkisi sulama suyu miktarları yıllık olup m² birim yüzey alanı içindir. Dolayısıyla ekim yapılan arazinin alanı belirlenerek toplam ayçiçeği bitkisi sulama suyu ihtiyacı bulunabilir. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'e göre bulunan ayçiçeğinin ihtiyacı olan ortalama sulama suyu miktarlarının geçmişte farklı yöntemlerle hesaplanan ayçiçeği sulama suyu miktarları ile benzer olduğu görülmektedir. Çizelge 6.1'de geçmişte ayçiçeği bitkisi için deney ile tahmin edilen sulama suyu miktarları ve bu çalışmada elde edilen tahmini sulama suyu miktarları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1. Ayçiçeği bitkisi sulama suyu tahminleri

Araştırmacı	Çalışmanın yapıldığı yer	Çalışmanın yapıldığı yıl	Yöntem	Sulama suyu ihtiyacı (mm)
Yakan ve Kamburoğlu	Kırklareli	1989	Deneysel	845
Unger	Amerika ve Avrupa	1990	Deneysel	600-1000
Karaata	Ergene Havzası	1991	Deneysel	867
Özerkişi	Bursa ve çevresi	1995	Deneysel	657,5
Erdem	Tekirdağ	2001	Deneysel	804,37
Sandalcı (Randımansız)	Ergene Havzası	2024	Sezgisel tahmin	611,74
Sandalcı (%80 Randımanlı)	Ergene Havzası	2024	Sezgisel tahmin	764.68

Bu çalışmada bulunan ayçiçeği bitkisinin sulama suyu ihtiyaçları izelge 6.1’de koyulaştırılmış olup tavsiye edilen sınır değerleri arasında kaldığı görülmektedir.

Türkiye’de iklim verileri lm işleri genelde Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. Ancak lmlerin hassas yapıldığı söylenemez. Gerek lm hataları gerekse lm istasyonlarındaki lm eksiklikleri zmn duyarlılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu alışmada Ergene Havzasındaki 3 il merkezinde bulunan meteoroloji istasyonlarının verileri kullanılmıştır. İleriki alışmalarda Ergene Havzasındaki diğer meteoroloji istasyonlarının verilerin de kullanılması halinde daha güzel sonuçlar beklenir.





KAYNAKLAR

- Adnan, RM., Dai, H-L., Kuriqi, A., Kişi, Ö., Kermani, M.Z.,** (2023). Improving drought modeling based on new heuristic machine learning methods, *Ain Shams Engineering Journal*, pp.1-13, vol.14, 102168.
- Adnan, RM., Liang, Z., Trajkovic, S., Zounemat-Kermani, M., Li, B., Kisi, O.,** (2019). Daily streamflow prediction using optimally pruned extreme learning machine, *Journal of Hydrology*, vol.577, article id.123981.
- Ahmadi, MH., Ahmadi, M-A, Mehrpooya, M, Rosen, MA.,** (2015). Using GMDH Neural Networks to Model the Power and Torque of a Stirling Engine, *Sustainability*, 7(2), pp.2243-2255.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M.,** (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, *FAO Irrigation and Drainage*, Paper 56, Rome, Italy.
- Arslan, O.,** (2017). Niğde İli'ndeki Potansiyel Evapotranspirasyon Tahminlerinin Trend Analizi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 6, Sayı 2, pp.602-608.
- Bayazit, M.,** (1999). *Hidroloji*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İTÜ Rektörlüğü sayı 1605, ISBN 975 561 105 96, İstanbul.
- Blaney, H.F. and Criddle, W.D.,** (1950). *Determining water requirement in irrigated areas from climatological data*, Soil Conservation Service Technical Publication No. 96, Washington DC, US Department of Agriculture.
- Cengiz, T. M.,** (1996). *Meriç havzasının hidrolojik yönden incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdem, T.,** (2001). Tekirdağ Koşullarında Ayçiçeğinin Su tüketimi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 62-68.
- Friedman, J. H.,** (1991). Multivariate Adaptive Regression Splines, *Annals of Statistics*, 19(1), p.1-67.
- Gök, C.,** (2015). *Havza sürdürülebilirlik indeksinin Türkiye'de uygulanması: Ergene havzası örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Huang, G. B., Zhu, Q. Y., & Siew, C. K.,** (2004). Extreme learning machine: a new learning scheme of feedforward neural networks. *IEEE international joint conference on neural networks* (IEEE Cat. No. 04CH37541) (Vol. 2, pp. 985-990).
- Ivakhnenko, A.G.,** (1968). *The group method of data handling – a rival of the method of stochastic approximation*, Soviet Automatic Control c/c of Avtomatika, vol.1, no.3, pp.43-55.
- Kadayıfçı, A., Yıldırım, O.,** (1998). Ankara Koşullarında Ayçiçeğinin Su Tüketimi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 4 (3), pp.9-14.
- Kadayıfçı, A., Yıldırım, O.,** (1998). Ankara Koşullarında Ayçiçeğinin Su Tüketimi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 4 (3), pp.9-14.

- Karata, H.,** (1991). Kırklareli Koşullarında Ayçiçeği Bitkisinin Su - Üretim Fonksiyonları, Köy Hizm. Genel Müd., Atatürk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 28, Kırklareli.
- Kargı, P. G.,** (2019). *Ergene havzası yağış-akış ilişkilerinin hidrolojik ve hidrolik modelleme ile belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi) Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kaya, Y.Z.,** (2016). *Bulanık Mantık Yöntemi ile Mevsimsel Verilere Dayalı Buharlaşma Tahmini*, (Yüksek Lisans Tezi). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.
- Kayal, Y.Z., Zelenakova, M., Üneş, F., Demirci, M., Hlavata, H., Mesaro, P.,** (2021). Estimation of daily evapotranspiration in Košice City (Slovakia) using several soft computing techniques, *Theoretical and Applied Climatology*
- Keshtegar, B., Kisi, O.,** (2017). M5 model tree and Monte Carlo simulation for efficient structural reliability analysis. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier.
- Kılıç, Y.,** (2011). *Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Evapotranspirasyonun Tahmin Edilmesi ve Deneysel Metotlarla Karşılaştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kıymaz, H.,** (2018). Kavramsal Hidrolojik Modellere Uygun Potansiyel Evapotranspirasyon Eşitliklerinin Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Konukcu, F., Albut, S.,** (2016). Integrated Land-use Management Modelling of Black Sea Estuaries (ILMM-BSE) Project: Ergene River Basin.
- Nacar, S., Mete, B., & Bayram, A.** (2020). *Günlük Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonunun Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri ile Tahmin Edilmesi*. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(3), 1479-1498.
- MGM,** (2021). TC. Meteoroloji Genel Müdürlüğü,
- Oylukan, Ş., Kuşaksızoğlu, N.,** (1974). Orta Anadolu'da Ayçiçeğinin Su Tüketimi, Eskişehir Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü Yayınları, No: 115, Ankara.
- Özdülkar, K.,** (2021). *Günlük Referans Buharlaşma Miktarının Yapay Zeka Yöntemleri ve Ampirik Denklemler ile Tahmini*, (Yüksek Lisans Tezi), İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Özerkişi, A.,** (1995). *U.Ü. Araştırma ve Uygulama Merkezi Arazisinde Sulama Sistem Kapasitesinin Belirlenmesi ve Sistem Planlaması Üzerine Bir İnceleme*, (Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Şarlak, N., Bağcı, S.Ç.,** (2020). Ampirik Potansiyel Evapotranspirasyon Tahmin Yöntemlerinin Değerlendirilmesi: Uygulama Konya Kapalı Havzası, *Teknik Dergi*, 9755-9772, Yazı 565.
- Sharda, V. N., Prasher, S. O., Patel, R. M., Ojasvi, P. R., Prakash, C.,** (2008). Performance of Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) in predicting runoff in mid-Himalayan micro-watersheds with limited data /

Performances de régressions par splines multiples et adaptives (MARS) pour la prévision d'écoulement au sein de micro-bassins versants Himalayens d'altitudes intermédiaires avec peu de données, *Hydrological Sciences Journal*, 53,6, pp.1165-1175.

Singh K.K., Pal, M., Singh, V.P., (2010). Estimation of mean annual flood in Indian catchments using backpropagation neural network and M5 model tree. *Water resources management*, 24, 2007–19.

TAGEM, DSİ, (2017). Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Turkish General Directorate of Agricultural Research and Policies, Turkish General Directorate of State Hydraulic Works, Ankara.

TCTOB, (2022). Meriç Ergene Havzası Kuraklık Yönetim Planı Stratejik Çevresel Değerlendirme Taslak Kapsam Belirleme Raporu, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı.

Toprak, S., (2011). *Çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri ve konik programlama ile zaman serilerinin modellenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Unger, P.W., (1990) Sunflower. In: Stewart BA, Nielsen DR (eds) Irrigation of agricultural crops. *American Society of Agriculture*, Agronomy Series 30, USA, pp. 775–794.

Url-1 <<http://www.pixabay.com/tr>>, erişim tarihi 4.02.2024.

Url-2 <<http://www.data.tuik.gov.tr>>, erişim tarihi 4.02.2024.

Uzlu, E., Akpınar, A., Kömürcü, M.İ., (2011). Restructuring of Turkey’s electricity market and the share of hydropower energy: The case of the Eastern Black Sea Basin, *Renewable Energy*, 36, 676-688.

Ünal, B., (2009). *Çok değişkenli uyarlamalı regresyon uzanımları*, (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Witten, I. H., Frank, E., (2002). Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations. *Acm Sigmod Record*, 31(1), 76-77.

Yakan, H., Kamburoğlu, S., (1989). Kırklareli Koşullarında Ayçiçeğinin Su Tüketimi. Köy Hizm. Genel Müd. Atatürk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, No: 14, Kırklareli, 45.

Yelkara, F., (2015). *Türkiye referans evapotranspirasyon değerlerine sıcaklık ve rölatif nem etkilerinin araştırılması ve en uygun Hargreaves-Samani denkleminin belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı		
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Doktora	
Üniversite	-
Enstitü Adı	-
Anabilim Dalı	-
Program Adı	-

Makale ve Bildiriler	
-	