

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**TOPRAKSIZ TARIM ORTAM KÜLTÜRÜNDE KÖK
BÖLGESİ NEM ALGILAYICILARI İLE SULAMANIN
YÖNETİMİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BİTKİ SU
TÜKETİMİNİN TAHMİNLENMESİ**

Ulaş TUNALI

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İ.Hakkı TÜZEL

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 09.06.2016

Bornova-İZMİR

2016

Ulaş TUNALI tarafından doktora tezi olarak sunulan “**Topraksız Tarım Ortam Kültüründe Kök Bölgesi Nem Algılayıcıları ile Sulamanın Yönetimi ve Yapay Sinir Ağları ile Bitki Su Tüketiminin Tahminlenmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 09/06/2016 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. İ.Hakkı TÜZEL	
Raportör Üye	: Prof. Dr. Erhan AKKUZU	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL	
Üye	: Prof. Dr. Fuat SEZGİN	
Üye	: Doç. Dr. Yasemin S.K. KURTTAŞ.....	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “**Topraksız Tarım Ortam Kültüründe Kök Bölgesi Nem Algılayıcıları ile Sulamanın Yönetimi ve Yapay Sinir Ağları ile Bitki Su Tüketiminin Tahminlenmesi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

09 / 06 / 2016

Ulaş TUNALI

ÖZET

TOPRAKSIZ TARIM ORTAM KÜLTÜRÜNDE KÖK BÖLGESİ NEM ALGILAYICILARI İLE SULAMANIN YÖNETİMİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BİTKİ SU TÜKETİMİNİN TAHMİNLENMESİ

TUNALI, Ulaş

Doktora Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ.Hakkı TÜZEL

Haziran 2016, 181 sayfa

Bu çalışma topraksız tarım ortam kültürü sulama yönetiminde, kök bölgesi nem algılayıcılarının ve yapay sinir ağlarının kullanım olanaklarını araştırmak amacıyla 2011-2013 yıllarında 2 ilkbahar ve 2 sonbahar üretim dönemi olmak üzere toplam 4 üretim döneminde gerçekleştirilmiştir. Kapalı besleme sistemi kullanılarak yapılan domates (cv. *Duru*) yetiştiriciliğinde, 2 farklı yetiştirme ortamı (perlit ve cocopeat) ve 2 sulama konusu (Tam: %20, Kısıt: %50) oluşturulmuş ve kök bölgesi nem algılayıcıları ile sulamalar otomatik olarak yönetilmiştir. Tüm dönemler için kullanılan sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi, verim gibi parametreler ölçülerek değerlendirilmiştir. Araştırma verileri değerlendirildiğinde, ortam kültüründe, algılayıcılar ile yetiştirme ortamına ilişkin uygun sulama eşikleri belirlenerek su-besin maddesinden önemli oranlarda tasarruf sağlanabileceği, verim kaybı ve çevresel etkinin en aza indirilebileceği ortaya konulmuştur.

Sulama yönetimi için kullanılan bir diğer yöntem de bitki su tüketiminin tahmin edilmesidir. Deneme süresince bitki su tüketimi (ET_c), bitki katsayısı (K_c) ve iklim verileri günlük olarak belirlenmiş ve bazı ampirik eşitliklerin (FAO-PM ve Hargreaves) ortam kültüründe yetiştirilen domatesin bitki su tüketimini tahminindeki başarısı incelenmiştir. Elde edilen veriler ile genelleştirilmiş regresyon modelleri (GRM) ve yapay sinir ağı (YSA) modelleri oluşturulmuş ve ET_c tahminindeki başarısı ampirik eşitlikler ile kıyaslanmıştır. YSA modellerinin, ET_c tahmininde başarıyla kullanılabileceği görülmüştür. Parsele ve bitkiye özel eğitilen YSA modeli, gerçek bitki su tüketimini basit bir sıcaklık-nem algılayıcısı ile bitki katsayısına ihtiyaç duymadan, FAO-PM eşitliğinden daha başarılı tahmin etmiştir. YSA modellerinin, ileriye dönük tahminlemedeki başarısı da incelenmiş ve otomasyona dahil edilerek kullanılabileceği de oluşturulan modeller ile görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Topraksız tarım, perlit, cocopeat, kısıtlı sulama, evapotranspirasyon, ThetaProbe ML2.



ABSTRACT**IRRIGATION MANAGEMENT IN SUBSTRATE CULTURE WITH
ROOT ZONE SENSORS AND ESTIMATION OF CROP
EVAPOTRANSPIRATION WITH NEURAL NETWORKS**

TUNALI, Ulas

PhD in Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. İ.Hakkı TÜZEL

June 2016, 181 pages

This research was conducted in 4 growing seasons consists of 2 spring and 2 fall seasons between 2011-2013. Tomato (cv. *Duru*) plants were studied in closed system substrate culture under 2 irrigation regimes (Full: %20, Deficit: %50) and 2 growing media (perlite and cocopeat). Irrigation thresholds were determined by the allowed percentage of depletion from readily available water and automated with root zone sensors. Supplied and circulated amounts of daily irrigation water, crop evapotranspiration, yield, etc. were measured in all growing seasons. It was concluded that, root zone sensors can be used in substrate culture and with optimum thresholds, deficit irrigation can minimize enviromental impact, irrigation (water and system) and nutrient costs with minimum yield loss.

During all growing seasons, daily climate parameters, crop evapotranspirations (ET_c) and crop coefficients (K_c) were also determined and standart equation's (FAO-PM and Hargreaves) prediction rate of tomato's ET_c grown in substrate culture was evaluated. Generalized regression models and artificial neural network (ANN) models were also generated and compared with empirical equations. ANNs performed better in all input cases, especially, ANN model without crop coefficient and solar radiation inputs performed better than FAO-PM equation with all necessary inputs. ANN models were also generated to forecast daily crop evapotranspiration with the day before's data and performed very well. It was concluded that, ANN models can be used in site specific ET_c predictions better than standart equations and can be implemented into irrigation automation with their forecasting ability.

Keywords: Soilless culture, perlit, cocopeat, deficit irrigation, actual evapotranspiration, ThetaProbe-ML2



TEŞEKKÜR

Beni bu konuda çalışmaya yönlendiren, öğrencilik hayatımın her aşamasında, ilgili-ilgisiz her konuda değerli fikir ve görüşlerini esirgemeyen, kişisel gelişimimde beni sürekli motive eden, destekleyen, imkanlar ve seçenekler üreten, beraber çalışma fırsatı yakaladığım için kendimi çok şanslı hissettiğim, danışman hocam Prof. Dr. İ. Hakkı TÜZEL'e,

Tez çalışmamın öncesinde ve sonrasında her konuda değerli fikir ve görüşlerini benden esirgemeyen, engellerin büyüklüğünün zihinde olduğunu ve kolaylıkla aşılabileceğini bana öğreten, her zaman desteğini hissettiğim hocam Prof. Dr. Yüksel TÜZEL'e,

Tez çalışmam sırasında bana destek ve yardımlarını esirgemeyen, çözümler üreten, bitmek bilmeyen enerjisiyle beni şaşırtan Doç. Dr. Gölgen Bahar ÖZTEKİN'e,

Çalışmam süresince yardımlarını ve görüşlerini benden esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL'a ve zor zamanları kolaylaştıran tüm hocalarım, meslektaşlarım ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Evlendiğim günden bu yana en büyük desteğim, arkadaşım ve rehberim olan, hayatın her anını bana kolaylaştıran ve bana sınırsız sabreden sevgili, sana ne kadar teşekkür etsem az olur ama, Safiye Pınar TUNALI'ya,

Burslu öğrencilik (50/D) mesleğini, evli ve barklı olarak icra etmeme imkan sağlayan, hayat boyu maddi ve manevi destek üreticisi olarak mesleklerini layıkıyla icra eden annem Yıldız TUNALI ve babam Kadir TUNALI'ya, beni kızlarına layık görüp aileye kabul eden ve desteklerini esirgemeyen kayınvalidem Meryem GÜLMEZ, baldızlarım F.Damla GÜLMEZ, İ.Deniz GÜLMEZ ve kayınpederim Ali Hikmet GÜLMEZ'e maddi, manevi katkılarından ve gösterdikleri sabırdan dolayı gönülden teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Topraksız Tarım ve Sulamanın Programlanması	5
2.1.1. Topraksız tarım ve ortam kültürü	5
2.1.2. Ortam kültüründe besleme sistemleri	12
2.1.3. Ortam kültüründe sulamanın programlanması	15
2.1.4. Kısıtlı sulama	22
2.2. Kök Bölgesi Nem Algılayıcıları ve Topraksız Tarımda Kullanımı	24
2.3. Topraksız Tarımda Domatesin Bitki Su Tüketimi, Verimi ve Su Kullanım Randımanı	27
2.4. Bitki Su Tüketimi ve Tahminlenmesi	32
2.4.1. Bitki su tüketimi	32
2.4.2. Referans bitki su tüketimi	35
2.4.3. Bitki Katsayısı (K_c)	38
2.4.4. Yapay Sinir Ağları	41
3. MATERYAL ve YÖNTEM	49
3.1. Materyal	49
3.1.1. Deneme alanı ve üretim dönemleri	49
3.1.2. Yetiştirme ortamları	51

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.3. Bitki özellikleri.....	52
3.1.4. Sulama sistemi	53
3.1.5. Kontrol üniteleri ve algılayıcılar	55
3.2. Yöntem.....	58
3.2.1. Bitkisel işlemler	58
3.2.2. Yetiştirme ortamlarının sulamaya ilişkin özelliklerinin belirlenmesi	60
3.2.3. Kök bölgesi nem algılayıcıların ortamlara özel kalibrasyonu.....	61
3.2.4. Sulama yönetimi ve uygulamaları.....	62
3.2.5. Bitki su tüketimi ve tahminlenmesi.....	65
3.2.6. Verilerin değerlendirilmesi ve istatistiksel analiz	70
4. BULGULAR	73
4.1. Kök Bölgesi Nem Algılayıcılarının Kalibrasyonu	73
4.2. İklim Verileri	76
4.3. Sulama Suyu Miktarı ve Bitki Su Tüketimi Verileri.....	83
4.3.1. I.Dönem (İlkbahar 2011).....	84
4.3.2. II.Dönem (Sonbahar 2011).....	88
4.3.3. III.Dönem (İlkbahar 2012)	92
4.3.4. IV.Dönem (Sonbahar 2012)	96
4.4. Verim.....	100
4.4.1. I.Dönem (İlkbahar 2011).....	100
4.4.2. II.Dönem (Sonbahar 2011).....	102
4.4.3. III.Dönem (İlkbahar 2012)	104
4.4.4. IV.Dönem (Sonbahar 2012).....	107
4.5. Su Kullanım Randımanı (WUE).....	110
4.5.1. I.Dönem (İlkbahar 2011).....	110
4.5.2. II.Dönem (Sonbahar 2011).....	111
4.5.3. III.Dönem (İlkbahar 2012)	112
4.5.4. IV.Dönem (İlkbahar 2012).....	113
4.6. Referans Bitki Su Tüketimi	115

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.6.1. FAO Penman-Monteith (ET_o).....	115
4.6.2. Hargreaves (ET_o)	117
4.6.3. Bitki katsayıları (K_c).....	120
4.7. Bitki Su Tüketimi Tahminleri	123
4.7.1. Ampirik yöntemler.....	123
4.7.2. Genelleştirilmiş Regresyon Modelleri (GRM)	125
4.7.3. Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA).....	133
4.7.4. Modellerin değerlendirilmesi.....	147
4.7.5. İleriye dönük bitki su tüketimi tahmini.....	150
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	154
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	166
ÖZGEÇMİŞ	181



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Ortam nem içeriği–tansiyon ilişkisi (Perelli and Pimpini, 2004).....	8
2.2. Farklı tipteki yetiştirme ortamlarının ortam karakteristik eğrilerine örnekler (Michel, 2010).....	10
2.3. Ölçülen ve hesaplanan bitki su tüketimi değerleri arasındaki ilişki (Colla et al., 2009).....	19
2.4. Yapay sinir ağı mimarisi (Serbeş, 2010).....	41
3.1. E.Ü. Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü PE bitünel serası	49
3.2. Deneme alanından bir görünüm	50
3.3. Fidelerin saksılara dikimi	50
3.4. Yetiştirme ortamları a) perlit ve b) cocopeat	51
3.5. <i>Duru</i> F ₁ Domates çeşidi	52
3.6. Denemede kullanılan selonoid vana ve sayaçlar.....	53
3.7 Sistem denetim birimi	54
3.8. Kapalı sistem besin solüsyonu tankları ve dolum sistemi.....	55
3.9. Sera içerisinde (a) ve dışında (b) bulunan iklim algılayıcıları	56
3.10. İklim verilerini toplayan veri kaydediciler.....	56
3.11. İklim istasyonu yazılımından (DeltaLINK) görünüm.....	56
3.12. Theta-Probe ML2 kök bölgesi nem algılayıcısı	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.13. Sulama kontrolünde kullanılan GP1 veri kaydediciler.....	58
3.14. Tozlama ve döllemeye yardım için kullanılan Bombus arıları.....	59
3.15. Çalışmada kullanılan a) GP1 ve b) DL6 veri kaydediciler.....	61
3.16. Theta-Probe ML2'nin ortamlara özel kalibrasyonu için yapılan çalışma.....	61
3.17. Sulamayı yöneten yazılımdan görüntü	64
4.1. Kalibrasyon öncesi dönüştürülmemiş ML2 okumaları (V).....	74
4.2. Kalibrasyon katsayıları ile dönüştürülmüş ML2 okumaları (θ_w)	74
4.3. Cocopeat yetiştirme ortamı SWT-3 Tansiyometre verileri	75
4.4. Perlit yetiştirme ortamı SWT-3 Tansiyometre verileri.....	75
4.5. Yetiştirme ortamlarının karakteristik eğrileri	75
4.6. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri (I.Dönem-İlkbahar).....	76
4.7. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri (II.Dönem-Sonbahar).....	76
4.8. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri (III.Dönem-İlkbahar)	77
4.9. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri (IV.Dönem-Sonbahar).....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

4.10. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri (I.Dönem-İlkbahar)	78
4.11.Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri (II.Dönem-Sonbahar)	78
4.12. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri (III.Dönem-İlkbahar).....	79
4.13. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri (IV.Dönem-Sonbahar).....	79
4.14. Günlük sera içi solar radyasyon ve buhar basıncı açığı değerleri (I.Dönem-İlkbahar)	80
4.15. Günlük sera içi ve dışı solar radyasyon ile buhar basıncı açığı değerleri (II.Dönem-Sonbahar)	80
4.16. Günlük sera içi ve dışı solar radyasyon ile buhar basıncı açığı değerleri (III.Dönem-İlkbahar).....	81
4.17. Günlük sera içi ve dışı solar radyasyon ile buhar basıncı açığı değerleri (IV.Dönem-Sonbahar).....	81
4.18. Tüm yetiştirme dönemleri için hesaplanan atmosfer yüzeyine gelen radyasyon değerleri ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$).....	82
4.19. Perlit-Tam Sulama konusunun otomasyonu	83
4.20. “Perlit-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (I.Dönem).....	84
4.21. “Perlit-Kısıt Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (I.Dönem).....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.22. “Cocopeat-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (I.Dönem) 85
- 4.23. “Cocopeat-Kısıt sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (I.Dönem) 86
- 4.24. Tüm konulara ilişkin sulama suyu, dolum, bitki su tüketimi ve dönemlik ortalama yıkama oranı verileri (I.Dönem).....87
- 4.25. “Perlit-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (II.Dönem).....88
- 4.26. “Perlit-Kısıt Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (II.Dönem).....88
- 4.27. “Cocopeat-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (II.Dönem) 89
- 4.28. “Cocopeat-Kısıt sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (II.Dönem) 90
- 4.29. Tüm konulara ilişkin sulama suyu, dolum, bitki su tüketimi ve dönemlik ortalama yıkama oranı verileri (II.Dönem) 91
- 4.30. “Perlit-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (III.Dönem) 92
- 4.31. “Perlit-Kısıt Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (III.Dönem) 92
- 4.32. “Cocopeat-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (III.Dönem).....93

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.33. “Cocopeat-Kısıt sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (III.Dönem)	94
4.34. Tüm konulara ilişkin sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve dönemlik ortalama yıkama oranı verileri (III.Dönem).....	95
4.35. “Perlit-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (IV.Dönem).....	96
4.36. “Perlit-Kısıt Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (IV.Dönem).....	96
4.37. “Cocopeat-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (IV.Dönem)	97
4.38. “Cocopeat-Kısıt sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (IV.Dönem)	98
4.39. Tüm konulara ilişkin sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve dönemlik ortalama yıkama oranı verileri (IV.Dönem).....	99
4.40. I. Üretim döneminde tüm konulardan elde edilen toplam ve pazarlanabilir verim (kg.m^{-2}) değerleri	100
4.41. II. Üretim döneminde tüm konulardan elde edilen toplam ve pazarlanabilir verim (kg.m^{-2}) değerleri	102
4.42. III. Üretim döneminde tüm konulardan elde edilen toplam ve pazarlanabilir verim (kg.m^{-2}) değerleri	105
4.43. IV. Üretim döneminde tüm konulardan elde edilen toplam ve pazarlanabilir verim (kg.m^{-2}) değerleri	107

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.44. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri (I.Dönem).....	110
4.45. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri (II.Dönem)	111
4.46. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri (III.Dönem)	112
4.47. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri (IV.Dönem).....	113
4.48. I.Dönem referans bitki su tüketimi (FAO-PM) grafiği	115
4.49. II.Dönem referans bitki su tüketimi (FAO-PM) grafiği.....	116
4.50. III.Dönem referans bitki su tüketimi (FAO-PM) grafiği	116
4.51. IV.Dönem referans bitki su tüketimi (FAO-PM) grafiği	117
4.52. Kalibrasyon öncesi ve sonrası Hargreaves değerleri ile FAO-PM değerlerinin saçılım grafiği.....	118
4.53. I.Yetiştirme dönemine ilişkin Hargreaves ve FAO-PM referans bitki su tüketimi sonuçları.....	119
4.54. II.Yetiştirme dönemine ilişkin Hargreaves ve FAO-PM referans bitki su tüketimi sonuçları.....	119
4.55. III.Yetiştirme dönemine ilişkin Hargreaves ve FAO-PM referans bitki su tüketimi sonuçları.....	120
4.56. IV.Yetiştirme dönemine ilişkin Hargreaves ve FAO-PM referans bitki su tüketimi sonuçları.....	120

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.57. Tüm dönemler ve ortamlar için belirlenen bitki katsayısı eğrileri	121
4.58. Perlit yetiştirme ortamında, tüm dönemlerde, günlük hesaplanan K_c değerleri ile oluşturulan grafikten elde edilen K_c değerlerinin saçılımı.....	122
4.59. Cocopeat yetiştirme ortamında, tüm dönemlerde, günlük hesaplanan K_c değerleri ile oluşturulan grafikten elde edilen K_c değerlerinin saçılımı	122
4.60. Ölçülen ve ampirik eşitlikler ile hesaplanan bitki su tüketimi değerleri	123
4.61. Ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile FAO-PM eşitliği tahminleri saçılımı	124
4.62. Ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile Hargreaves eşitliği tahminleri saçılımı	124
4.63. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler)	126
4.64. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (En iyi veriler)	127
4.65. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [Tüm veriler ($-R_s$)]	128
4.66. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [En iyi veriler ($-R_s$)]	130
4.67. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [Tüm veriler ($-K_c$)]	130
4.68. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [En iyi veriler ($-K_c$)]	132

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.69. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler-Perlit)	136
4.70. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler-Cocopeat)	136
4.71. Seçilen YSA-P1 ve YSA-C1 modellerinin ölçüm - tahmin grafiği.....	137
4.72. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-R _s)-Perlit].....	139
4.73. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-R _s)-Cocopeat]	139
4.74. Seçilen YSA(-R _s)-P1 ve YSA(-R _s)-C1 modelleri tahmin-ölçüm grafiği.....	140
4.75. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-K _c)-Perlit]	142
4.76. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-K _c)-Cocopeat].....	142
4.77. Seçilen YSA(-K _c)-P1 ve YSA(-K _c)-C1 modellerinin tahmin-ölçüm değerleri grafiği	143
4.78. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-R _s -K _c)-Perlit].....	145
Şekil 4.79. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-R _s -K _c)-Cocopeat].....	145
4.80. Seçilen YSA(-R _s -K _c)-P1 ve YSA(-R _s -K _c)-C1 modellerinin tahmin-ölçüm değerleri grafiği	146

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)ŞekilSayfa

- 4.81. YSA modeli tahminleri ile ölçülen ileriye dönük bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler-Perlit) 151
- 4.82. İleriye dönük YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler-Cocopeat)..... 152
- 4.83. Seçilen YSA(+1)-P1 ve YSA(+1)-C1 modellerinin tahmin-ölçüm grafiği 152





ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çeşitli topraksız tarım tekniklerinin karakteristik özellikleri (Vox et al., 2010).....	6
2.2. Yeni ve tekrar kullanılmış yetiştirme ortamlarının özellikleri (pF=1) (Gruda et al., 2013).	12
2.3. Açık sistem domates yetiştiriciliğinde 4 aylık bir dönemde su ve gübre kullanımı (Vox et al., 2010).	13
2.4. Topraksız tarımda yetiştiriciliği yapılan çeşitli bitkilerin yaprak alan indeksi (LAI) ve ET/R oranları (Bacci et al., 2011).....	18
2.4. Farklı İklim Koşullarında, Farklı Yetiştiricilik Sistemleri Kullanılarak Yetiştirilen Domates Bitkisinin Su Kullanım Randımanı (kg.m ⁻³) (Pardossi vd., 2004).....	31
2.5. ASCE-PM eşitliğinde kullanılan sabitlerin değerleri ve birimler	37
2.6. ASCE-PM eşitliğinde tanımlanan standartlar	37
3.1. Yetiştirme dönemlerine ilişkin özet bilgiler.....	51
3.2. Besin solüsyonu kimyasal bileşimi ve kullanılan kimyasal kaynaklar.	54
3.3. Yetiştirme ortamlarının sulamaya yönelik bazı özellikleri	60
3.4. Yetiştirme ortamlarının nem sabitleri ve sulama eşikleri.....	63
3.5. Perlit yetiştirme ortamı için, tüm girdiler kullanılarak (12) yapılan taramanın en iyi 10 YSA (10/610) mimarisi.....	70
4.1. Perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları kalibrasyon katsayıları	73

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.2. Yetiştirme dönemlerine göre iklim verilerinin günlük minimum, maksimum ve ortalama değerleri	82
4.3. Otomasyonda kullanılan sulama eşikleri	83
4.4. Üretim döneminden elde edilen verim değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları (I.Dönem).....	101
4.5. Üretim döneminden elde edilen verim değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları (II.Dönem)	103
4.6. Üretim döneminden elde edilen verim değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları (III.Dönem)	106
4.7. Üretim döneminden elde edilen verim değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları (IV.Dönem).....	108
4.8. Kalibrasyon öncesi ve sonrası Hargreaves eşitliklerinin, FAO-PM sonuçlarına yakınlığı.....	118
4.9. Ampirik eşitliklerin istatistiksel değerlendirilmesi.....	125
4.10. Perlit için en iyi veriler ile oluşturulan regresyon modelleri	126
4.11. Cocopeat için en iyi veriler ile oluşturulan regresyon modelleri.....	127
4.12. Tüm veriler ile oluşturulan regresyon modellerinin analizi	128
4.13. Perlit için en iyi veriler ($-R_s$) ile oluşturulan regresyon modelleri	129
4.14. Cocopeat için en iyi veriler ($-R_s$) ile oluşturulan regresyon modelleri	129

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.15. Perlit için en iyi veriler ($-K_c$) ile oluşturulan regresyon modelleri	131
4.16. Cocopeat için en iyi veriler ($-K_c$) ile oluşturulan regresyon modelleri	131
4.17. Eksik veri koşulunda oluşturulan modellerinin analizi (Perlit).....	132
4.18. Eksik veri koşulunda oluşturulan modelleri (Cocopeat)	133
4.19. YSA model tipleri ve kullanılan girdiler.....	134
4.20. Tüm veriler ile perlit ortamı için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli.....	134
4.21. Tüm veriler ile cocopeat ortamı için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli	135
4.22. Perlit yetiştirme ortamında, solar radyasyon (R_s) verisinin eksik olduğu koşul için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli	138
4.23. Cocopeat yetiştirme ortamında, solar radyasyon (R_s) verisinin eksik olduğu koşul için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli	138
4.24. Perlit yetiştirme ortamında, bitki katsayısı (K_c) verisinin eksik olduğu koşul için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli	140
4.25. Cocopeat yetiştirme ortamında, bitki katsayısı ($-K_c$) verisinin eksik olduğu koşul için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli	141
4.26. Perlit yetiştirme ortamında, eksik veri ($-R_s -K_c$) koşulu için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli.....	143
4.27. Cocopeat yetiştirme ortamında, eksik veri ($-R_s -K_c$) koşulu için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli.....	144
4.28. Farklı koşullarda bitki su tüketimi tahmini için oluşturulan yapay sinir ağı modellerinin değerlendirilmesi.....	146

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)ÇizelgeSayfa

4.29. Tüm veriler kullanılarak oluşturulan bitki su tüketimi tahmin modellerinin değerlendirilmesi.....	147
4.30. Solar radyasyon dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan bitki su tüketimi tahmin modellerinin değerlendirilmesi	148
4.31. Bitki katsayısı dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan bitki su tüketimi tahmin modellerinin değerlendirilmesi	149
4.32. Bitki katsayısı ve solar radyasyon dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan bitki su tüketimi tahmin modellerinin değerlendirilmesi	149
4.33. Tüm veriler ile perlit ortamı için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli	150
4.34. Tüm veriler ile cocopeat ortamı için oluşturulan en iyi 5 ileriye dönük YSA modeli	151

1. GİRİŞ

Türkiye kişi başına düşen yıllık su miktarına (1519 m³) göre su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. TÜİK ve DSI'nin öngörülerine göre, 2030 yılında 100 milyonu bulması öngörülen nüfus ile birlikte su fakiri bir ülke haline gelinmemesi için mevcut su kaynaklarının çok iyi korunup, akılcı bir şekilde kullanılması gerekmektedir (DSİ, 2014).

Ülkemizde tüketilen toplam su miktarının (44 milyar m³) %73'lük bölümü tarımda kullanılırken, %16'sı içme suyu olarak, %11'i de sanayi sektöründe kullanılmaktadır (DSİ, 2014). Su kaynaklarının en büyük tüketicisi olan tarımda su kullanım etkinliğinin artırılması, uygun yöntem ve araçların kullanımını gerektirmektedir.

Topraksız tarım, çevreye duyarlı, sürdürülebilir ve kontrol edilebilir bir üretim tekniği olarak kabul edilir. Günümüzde, seracılık yapan neredeyse tüm gelişmiş işletmeler topraksız tarım yöntemleri ile üretim yapmaktadır. Ülkemizde ise topraksız tarım, üretici düzeyinde, henüz gelişim aşamasındadır.

Topraksız tarım tekniklerinden olan ortam kültüründe, bitki besin maddeleri, sulama suyu ile kök bölgesine verilmektedir. Bu nedenle kullanılan besin solüsyonu ile sulamanın yönetimi, çevresel etki, finansal etki ve bitki gelişimi için büyük önem kazanmaktadır.

Topraksız tarım yapan işletmeler büyük çoğunlukla teknolojiden yararlanan işletmelerdir ve verim kaybı oluşmaması için kısıtlı sulama yapmayacakları yönünde bir yanılğı vardır. Bu tip işletmelerin öncelikli hedefinin maksimum kar olduğu düşünüldüğünde, su ve besin maddesinden, sulama sisteminin çalışması için gerekli enerjiden ve kullanılan solüsyonun dezenfeksiyonu için harcanan enerjiden elde edilecek olan tasarrufun, verimdeki azalma ile oluşan ekonomik kayıptan fazla olacağı durumlar oluşabilir.

İyi bir sulama yönetiminde kök bölgesi nem düzeyinin ölçülmesi ve izlenmesi önemlidir. Toprakta kök bölgesinin izlenmesi için geliştirilmiş ve çeşitli çalışma prensiplerine sahip çok sayıda kök bölgesi nem algılayıcısı bulunmaktadır. Bu algılayıcıların ölçüm yaptığı ortam ile tam temas halinde olması, ölçümün doğruluğu ve hassasiyeti için büyük önem taşımaktadır. Topraksız tarım ortam kültüründe kullanılan materyalin bu teması toprak kadar iyi

yapması mümkün değildir ve toprak için üretilen bu algılayıcıların ortam kültüründeki başarısının incelenmesi gerekmektedir.

Ayrıca, teorik olarak, toprakta kullanılabilir nem tansiyonu 0-15 bar arasında oluşurken yetiştirme ortamında bu değer 0-100 hPa (0.00 – 0.01 bar) arasında olmaktadır. Bu nedenle, hassasiyeti yüksek ve dielektirik prensiple çalışan kök bölgesi nem algılayıcıları ön plana çıkmaktadır.

Sulama, bitki su tüketimini tahmin ederek ihtiyaç duyulan suyun kök bölgesine verilmesine dayalı olarak da yönetilebilir. Bitki su tüketimi (evapotranspirasyon), ortam (toprak) yüzeyinden olan buharlaşma (evaporasyon) ve bitki yapraklarından olan terleme (transpirasyon) miktarlarının toplamıdır. Bitki su tüketimi doğrudan ölçülebilir veya farklı yöntemlerle tahmin edilebilir. Doğrudan ölçümde su bütçesi yöntemi (tarla parselleri, lizimetrik ölçümler) kullanılır. Ancak doğrudan ölçüm yöntemlerinin zor, zaman alıcı ve pahalı olması yaygın biçimde kullanılmalarını sınırlamaktadır. Bu nedenle bitki su tüketimi değeri, genellikle dolaylı yaklaşımlar kullanılarak tahminlenmektedir.

Bu amaçla geliştirilmiş birçok ampirik denklem vardır ve iklim verilerinden yararlanılan bu yöntemler bir referans bitki su tüketimi tahmin ederler. Bu referans bitki su tüketimi daha sonra bitki katsayısı olarak bilinen, toprak yüzeyinden buharlaşma, bitki gelişim dönemi, bitki türü, bitki boyu, oransal nem, rüzgar hızı, vb. faktörlerden etkilenen bir katsayı ile düzeltilerek gerçek bitki su tüketimi tahmin edilir (Allen et al., 1998).

Referans bitki su tüketimi hesaplamak için geliştirilen eşitliklerden FAO Penman-Monteith eşitliği uluslararası standart olarak kabul edilir. Solar radyasyon, rüzgar hızı ve bağıl nem verilerinin bulunmadığı koşulda, referans bitki su tüketimi hesabı için Hargreaves eşitliği önerilir (Allen et al., 1998).

Yetiştiriciliği yapılan bitkiler için literatürde çeşitli bitki katsayısı değerleri bulmak mümkündür. Bu katsayının her bitki, her dönem, her arazi için değişkenlik gösterdiği gözönüne alındığında, bitki katsayısının ampirik eşitliklerin başarısını düşüren bir katsayı olduğu görülmektedir. Ayrıca, bitki katsayısı kullanımı, topraksız yetiştiricilik ile uyuşmayan bazı koşullara göre geliştirildiği için bu alanda kullanımı sorgulanabilir. Annandale ve Stockle (1994) “evrensel olarak geçerli” bitki katsayısı değerlerinin olmadığını ve Kc değerlerindeki

dengelesizliğin bitki boyundaki farklılıklar ile arttığını ifade etmişlerdir (Scuch and Burger,1997).

Yapay sinir ağı (YSA), insan beynindeki sinir hücrelerinin (nöron) bilgisayar ortamında matematiksel modellenmiş durumudur. Yapay sinir ağlarında kullanılan öğrenme algoritmaları, klasik bilgisayar algoritmalarından farklıdır. Bu algoritmalar insan beyninin sezgisel gücünü içinde taşırlar. Bu sebeple, birçok bilim dalı yapay sinir ağlarıyla ilgilenmektedir. Genellikle, yapay sinir ağlarıyla oluşturulan modeller zaman serisi analizi, optimizasyon (eniyileme), sınıflandırma, ilişkilendirme veya doğrusal olmayan sistem modellemelerinde kullanılmaktadır (Warner et al., 1996; Yavuz ve Deveci, 2012). Yapay sinir ağı verilen girdilere göre çıktılar üreten akıllı bir kara kutu modeli olarak da tanımlanabilir (Tenti, 1996).

Yapay sinir ağı (YSA), insan beyninin özelliklerinden esinlenerek; öğrenme yoluyla yeni bilgiler türetebilme, keşfetme ve oluşturma gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacıyla geliştiren bilgisayar sistemleridir. Bu yeteneklerin gerçekleştirilmesi geleneksel programlama yöntemleriyle çok zordur. Bu nedenle, yapay sinir ağılarının, mümkün olmayan olaylar veya programlanması çok zor olan olaylar için geliştirilmiş bilgi işlemeyle ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir (Öztemel, 2003). Bazı özelliklerinin beyinde biyolojik karşılığı olmamasına rağmen sinir ağı biyolojik beyinle büyük benzerlikler gösterirler (Elmas, 2003; Yavuz ve Deveci, 2012).

Literatürde YSA ile referans bitki su tüketiminin belirlenmesi üzerine birçok başarılı çalışma bulunmaktadır (Shiri, 2014; Kişi, 2014; Aghajanloo et al., 2013, Huo et al., 2012; Kim et al., 2012; Kumar et al., 2011; Landeras et al., 2008; Khoob, 2008a; Khoob, 2008b; Sudheer et al., 2003; Tabari et al., 2009; Trajkovic et al., 2000; Trajkovic, 2010; Zanetti et al., 2007). Bu çalışmalarda, YSA'nın referans bitki su tüketimi tahminini, az da olsa geliştirdiği görülmektedir. Ancak kıyaslamaların yapıldığı FAO Penman-Monteith yönteminin global bir eşitlik olduğu ve bitkinin yetiştirildiği bölgeye göre kalibre edilmediği, YSA'nın ise yetiştirme şartlarına özel (lokal) bir yöntem olduğu unutulmamalıdır. Yapay sinir ağı, konuma ve bitkiye göre eğitildiğinde, gerçek bitki su tüketimi tahminindeki başarısının ve ampirik eşitliklere üstünlüğünün ortaya çıkacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, topraksız tarım üretim teknikleri ile kapalı besleme sistemi kullanılarak yapılan domates yetiştiriciliğinde, 2 farklı yetiştirme ortamı (perlite ve cocopeat) ve 2 sulama konusu (tam ve kısıt sulama) denenmiştir. Her iki yetiştirme ortamı için kök bölgesinde tüketilmesine izin verilen nem miktarları belirlenmiştir (Tam: %20, Kısıt: %50) ve kök bölgesi nem algılayıcıları ile sulamalar otomatik olarak yönetilmiştir. Tüm dönemler için sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi, verim vb. parametreler ölçülerek değerlendirilmiştir.

Ayrıca, çeşitli iklim verileri ile oluşturulan, farklı mimarilere ve eğitim fonksiyonlarına sahip yapay sinir ağlarının gerçek bitki su tüketimi tahminindeki başarısı incelenmiş, geliştirilmiş regresyon modelleri ve ampirik yöntemlerle kıyaslanmıştır. Aynı zamanda, otomasyon kolaylığı için YSA'nın, günün iklim verileri ile ertesi günün bitki su tüketimini tahminindeki başarısı da incelenmiştir. Ayrıca, solar radyasyon (dolayısıyla net radyasyon) ve bitki katsayısı verilerinin, ayrı ayrı ve birlikte bulunmadığı koşullarda, YSA modellerinin, bitki su tüketimi tahminindeki başarısı da incelenmiştir.

Bu çalışma Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesinde, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü ile Bahçe Bitkileri Bölümlerinin olanaklarından faydalanılarak yürütülmüştür. Ayrıca, çalışmanın gerçekleştirilmesinde, Ege Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'nun katkıları ile yürütülen 2011-ZRF-020 no'lu araştırma projesinden destek sağlanmıştır. Maddi, ayni ve personel katkılarından dolayı adı geçen kurumlara teşekkürlerimi sunarım.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, konu ile ilgili yapılmış çalışmalara ilişkin özet bilgilere yer verilmiştir.

2.1. Topraksız Tarım ve Sulamanın Programlanması

2.1.1. Topraksız tarım ve ortam kültürü

Günümüzde toprak dezenfeksiyonunun zor ve ekonomik olmaması ve toprak dezenfeksiyonunda kullanılan kimyasalların insan ve çevre sağlığını tehdit ettiğinin anlaşılması, pek çok ülkede sera bitki yetiştiriciliğinde topraksız tarım uygulamalarının yaygınlaşmasına yol açmıştır (Tüzel vd., 2002b).

Topraksız tarım tekniği, toprak dışında bir ortamda bitki yetiştirilen ve birçok üretim şeklini kapsayan geniş bir terimdir. Topraksız tarım tekniklerinin sınıflandırılması, bitkinin yetiştiiği ortama (ortam “substrat” kültürü veya su kültürü), besin solüsyonunun uygulanma şekline (damla sulama, yüzeyaltı, sisleme, akan su kültürü veya durgun su kültürü) ve besin solüsyonunun yönetimine (açık sistem “serbest drenaj” veya kapalı sistem “sirküle edilen solüsyon”) bağlı olarak yapılmaktadır (Vox et al., 2010).

Topraksız tarımda, besin solüsyonu yönetimi, açık ve kapalı sistemler olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Açık sistemde, besin solüsyonu tek yönlü kullanılarak bitki kök bölgesine uygulandıktan sonra drene olan solüsyon sistemden uzaklaştırılarak dışarı atılmakta; kapalı sistemde ise besin solüsyonu kök bölgesine uygulandıktan sonra drene olan solüsyon toplanıp kontrol edilerek bitki kök bölgesine tekrar uygulanmaktadır (sirkülasyon) (Winsor and Schwarz, 1990; Öztekin ve Meriç, 2007).

Topraksız tarım, öncelikli olarak bitkinin mineral alımını incelemek amacıyla geliştirilmiş olsa da, günümüzde sera koşullarında sürdürülebilir tarımın temel unsuru olarak görülmektedir (Pardossi et al., 2006; Savvas and Passam, 2002).

Topraksız tarım tekniklerinin karakteristik özellikleri, teknik ekipman aksaklıkları ve kök hastalıkları görülmesi ile oluşabilecek yetiştirme riskleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (Vox et al., 2010).

Çizelge 2.1. Çeşitli topraksız tarım tekniklerinin karakteristik özellikleri (Vox et al., 2010).

	Ortam ve Damla Sulama	Ortam ve Toprakaltı Sulama	Film Şeridi Tekniği	Akan Su Kültürü	Aeroponics
Ticari Uygulamaları	Yaygın	Yaygın	Az	Artıyor	Nadir
Bitki Türü	Sebze, Meyve, Kesme Çiçek	Saksı Bitkileri	Yaprağı Yenen Bitkiler	Yaprağı Yenenler ve Soğanlı Çiçek	Sebze
Yetiştirme Ortamı	Organik / İnorganik	Organik	Yok	Yok	Yok
Besin Solüsyonu Sirkülasyonu	Evet / Hayır	Evet	Evet	Evet	Evet
Yatırım Maliyeti	Orta / Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Çok Yüksek
İşletme Maliyeti	Orta / Yüksek	Orta / Yüksek	Ortalama	Düşük	Orta/Yüksek
Hata Telifisi	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Düşük
Yetiştirme Riskleri	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Çok Yüksek

Ortam kültüründe yetiştirme ortamı olarak çok çeşitli materyal kullanılabilir. Üretici tarafından yetiştirme ortamının seçimi genellikle bulunulabilirlik, fiyat ve yakın çevredeki üreticilerin deneyimine göre yapılır. (Vox et al., 2010).

Seçilen yetiştirme ortamının fiziksel (hacim ağırlık, tane büyüklüğü, porozite, hidrolik geçirgenlik, su/hava oranı ve boşluk çapı dağılımı), kimyasal (pH, kation değişim kapasitesi, tuz konsantrasyonu ile makro ve mikro element içeriği) ve biyolojik (hastalık ve zararlı içeriği ile biyolojik dengesi) özelliklerinin bilinmesi önemlidir (Gruda et al., 2013).

Ortam kültüründe gübre yönetimini toprakta yetiştiricilikten ayıran en önemli faktör sınırlı ortam hacmidir. Sınırlı yetiştirme ortamı hacmi, pH ve besin solüsyonu ayarı için daha düşük bir alan ve sınırlı besin maddesi depolanmasına neden olur. Sınırlı kök bölgesi hacmi de, kök uzunluğunda azalmaya, kök yoğunluğunda artışa ve dolayısıyla kökler arasında rekabeti artırarak rizosferdeki kök aktivitesinin etkisinde artışa neden olur (Raviv et al., 2002).

Hall vd. (1988); Szmidt vd. (1988); Varış, (1991); Abak vd., (1994), Tüzel vd., (1999b), ortam kültüründe bitki başına kullanılan ortam miktarlarının 5-8 litre kadar az olabilmesi ve buna ek olarak ortamların farklı fiziksel ve kimyasal

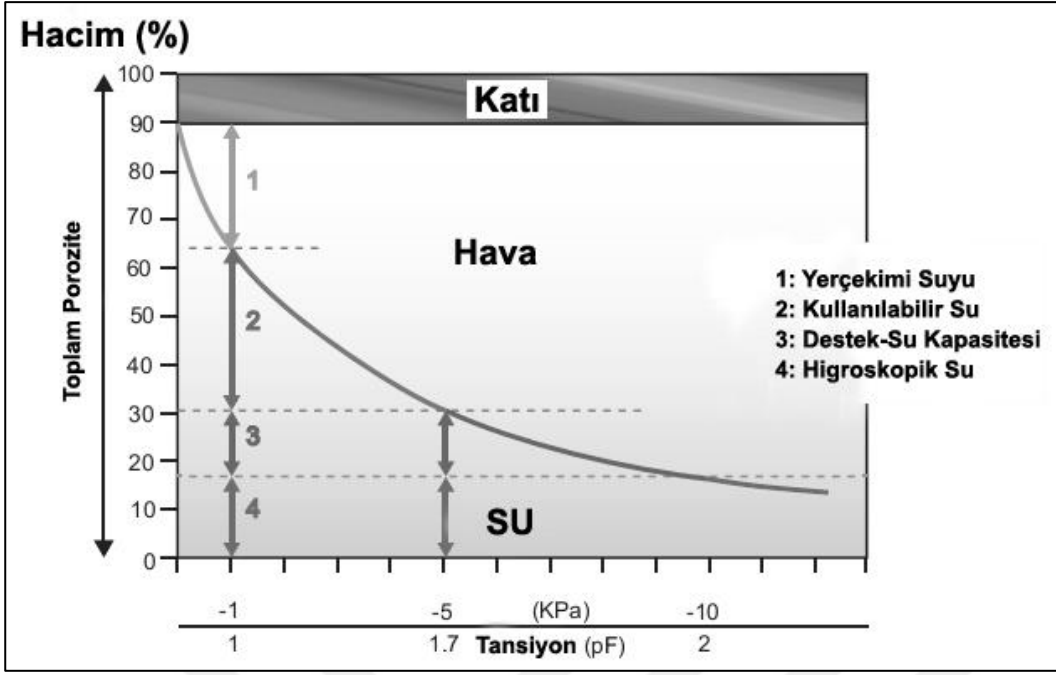
özellikler göstermesi, su ve besin maddelerini uygulama programı üzerine önemli ölçüde etki ettiğini belirtmektedir.

Optimum verimi elde etmek için kullanılan ortamın sahip olması gereken en önemli fiziksel özellik yüksek su tutma kapasitesi ve yeterli hava kapasitesi olarak kabul edilir. Kök bölgesi kullanılabilir nem miktarı ortamın hidrolik geçirgenliği ile doğrudan ilişkilidir. Gözenekli materyalde hidrolik geçirgenlik, nemin azalması ile hızlıca azalır (Raviv et al., 2002).

Yetiştirme ortamında, bitki tarafından alınımı kolay olacak düzeyde ve kök bölgesinde yeteri hava boşluğu bulunacak düzeyde su olmalıdır. Bu iki parametre antagonistiktir: eğer boşluklar su ile dolu ise hava yetersizdir aksi durumda ise su yetersizdir (De Boodt et al., 1974).

Saksı kültüründe, bitki yetiştirme ortamı tam doymuş hale getirildikten ve drenaj durduktan sonra kapta bulunan su miktarı “Kap Kapasitesi” (Tarla Kapasitesi) olarak ifade edilir. Ortam kültüründe bu su miktarı genellikle 1 kPa (10 hPa, $pF=1,0$) değerinde bir tansiyona karşılık gelir. Su tutma kapasitesi sulama miktarı ve sıklığının ayarlanmasında en önemli bilgidir (Gruda, 2005).

Yetiştirme ortamlarının sınıflandırılmasında kullanılan bir kriter de bitki kökleri tarafından farklı enerjilerle alınabilen su içeriğini gösteren ortam karakteristik eğrisidir. Bitkilerin yetiştirme ortamında bulunan sudan faydalanma sınırları toprağa göre oldukça farklıdır. Yetiştirme ortamında bulunan su türleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Gruda et al., 2013).



Şekil 2.1. Ortam nem içeriği – tansiyon ilişkisi (Perelli and Pimpini, 2004)

1. Yerçekimi Suyu: Ortam tarafından tutulamayan ve yerçekiminin etkisi ile hareket eden sudur.
2. Kullanılabilir Su (EAW: Easily Available Water): Bitkiler tarafından doğrudan kullanılan ve 60-300 μm büyüklüğündeki boşlukları dolduran sudur (1.0-1.7 pF).
3. Destek-Su Kapasitesi (WBC: Water-buffering Capacity): Bitkiler yoğun bir şekilde su tükettiğinde rezerv olarak tüketilen 1.7-2.0 pF ile tutulan sudur. 60-300 μm büyüklüğündeki boşlukları doldurur (De Boodt and Verdonck, 1972).
4. Higroskopik Su: Bitkiler tarafından kullanılamayan sudur (pF>2.0) (Gruda et al., 2013).

Yetiştirme ortamındaki büyük boşluklar ve hızlı drenaj bitkiler için iyi bir havalanma sağlarken su genellikle küçük boşluklarda tutulur. Bu sebeple uygun boşluk çapı ve dağılımı, yetiştirme ortamı için önemli bir özelliktir (Gruda and Schnitzler, 2004a).

Suya doymun bir yetiştirme ortamının hidrolik iletkenliği (K_{sat}) drenaj yeteneğinin (Permeabilite) bir göstergesidir. Permeabilite genellikle büyük

gözenek yüzdesi ile tanımlanır. Yüksek K_{sat} ölçümü yüksek miktarda büyük gözenek olduğunu gösterir ve bu gözeneklerin sıkıştırılması ile K_{sat} düşer (Gruda and Schnitzler, 2004b).

Raviv vd.'e (2002) göre, küçük parçalardan oluşan ortamlar su moleküllerinin hareketi için daha büyük yüzey alan oluşturur ve suyun akışı hızlanır. Bu nedenle su akışı en hızlı sıkıştırılmış yetiştirme ortamında oluşurken bunu normal ortamlar ve küçük partiküllerin karışımları izler.

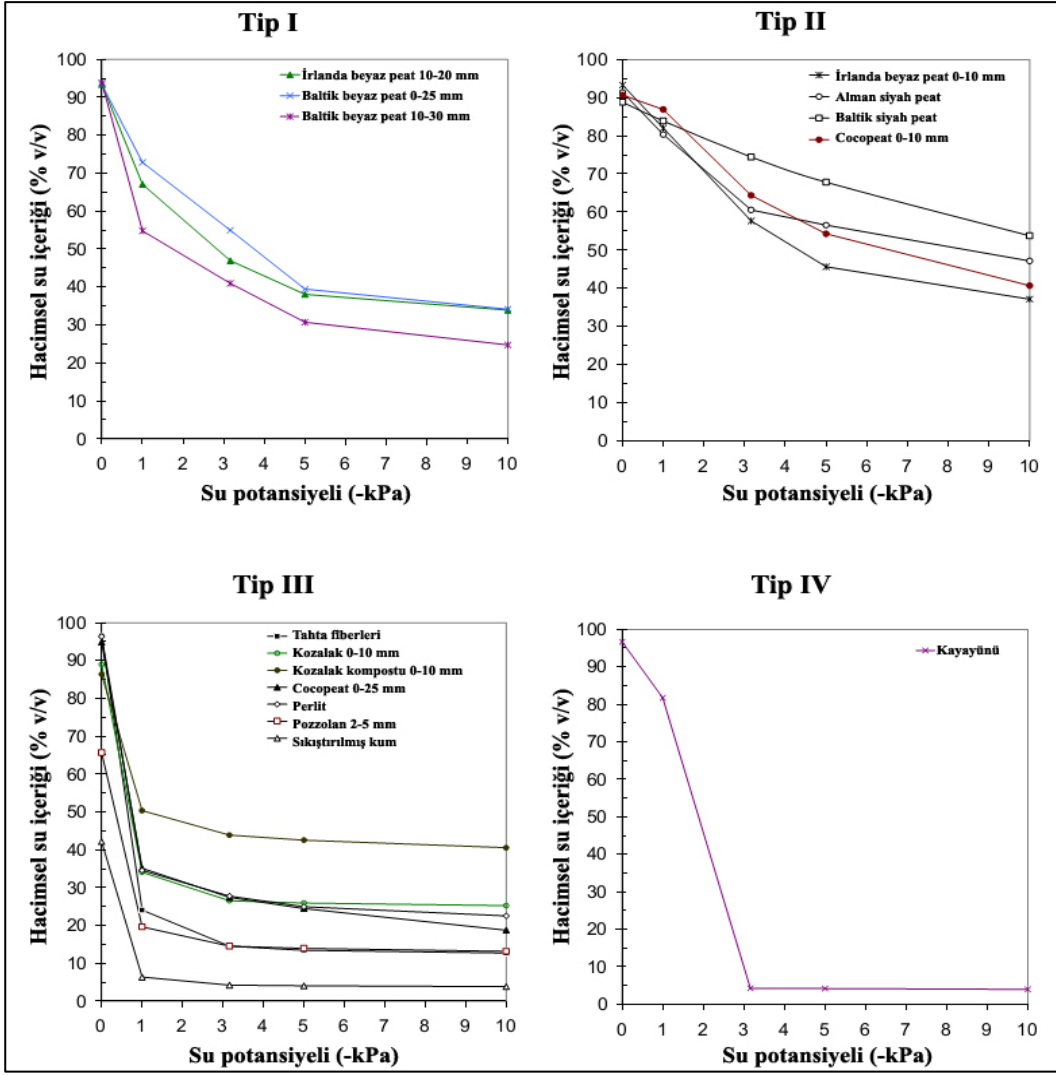
Ortam karakteristik eğrilerine göre, ortam kültüründe kullanılan yetiştirme ortamları 4 tip olarak tanımlanabilir (Rivière et al.1990, Michel, 2010). Bunlar (Şekil 2.2):

Tip I: Havalanan (hava hacmi > %20), su hacmi (> %25) ve destek su kapasitesi yüksek yetiştirme ortamıdır. Genellikle farklı materyalin karıştırılması ile elde edilir ve sulama için en uygun tip yetiştirme ortamıdır.

Tip II: Daha az havalanan ve ortalama su tutma kapasitesi olan yetiştirme ortamıdır. Kök bölgesi oksijen kaynağının kesilmesi riski vardır. Bu yetiştirme ortamına örnek olarak siyah peat türü olan Cocopeat (Coir) verilebilir.

Tip III: Çok havalanan fakat faydalı su içeriği düşük olan bir yetiştirme ortamıdır. Sık ve düşük miktarlarda sulama programı gerektirir. Perlit bu tipte bir yetiştirme ortamıdır.

Tip IV: Hava ve su içeriği iyi olan fakat su içeriğinin hızlıca tükendiği ve destek su kapasitesi çok düşük olan yetiştirme ortamıdır. Bu tipe örnek olarak mineral yün ve tahta fiberleri verilebilir. Su temas noktalarında tutulur ve su dağılımı homojen değildir. Yüksek su içeriğine rağmen düşük destek su kapasitesinden dolayı çok iyi izlenmesi gerekir (Michel, 2010).



Şekil 2.2. Farklı tipteki yetiştirme ortamlarının ortam karakteristik eğrilerine örnekler (Michel, 2010).

Ortam kültüründe bitki yetiştirme ortamı olarak çok çeşitli materyal kullanılmakta olup her geçen gün yeni ürünler piyasaya sürülmektedir. Ortam geliştirmede uluslararası eğilim doğal kaynakların ve yenilenebilir ham maddenin kullanımı yönündedir (Gruda, 2005).

Yetiştirme ortamları genellikle organik (örn. cocopeat) ve inorganik (örn. Perlit) olarak sınıflandırılır. İnorganik ortamlar doğal kaynaklardan olabileceği gibi işlenmiş materyalden de üretilebilir. Organik yetiştirme ortamları da sentetik (örn: Poliüretan) veya doğal organik maddelerden oluşabilir. Yetiştirme ortamları aynı zamanda lifli (örn. Cocopeat) veya taneli (örn. Perlit) olarak da sınıflandırılabilir. Ortamların önemli özelliklerinden birinin de kimyasal karakteristikleri olduğu düşünülürse, sınıflandırma, aktif (örn. Kayayünü) veya inert (örn. Perlit) olarak da yapılabilir (Gruda et al., 2013).

Kayayünü, perlit, tuf, genleştirilmiş kil taneleri ve vermikulit gibi birçok inorganik yetiştirme ortamı bulunmaktadır (Gruda et al., 2006). Perlit kullanımı, kök bölgesinde iyi bir havalandırma ve drenaj, optimum su içeriği ve besin maddesi varlığı sağlar. Perlit, doğal volkanik mineralin 1000 °C'ye ısıtılarak patlatılması ile oluşan bir materyaldir. Bu sıcaklığa ulaştığında orijinal hacminin 4-20 katına kadar genişler ve içeriğinde bulunan %2-6 civarındaki su nedeniyle hafif ve yüksek poroziteye sahip bir materyal ortaya çıkar. Perlit yetiştirme ortamı olarak tek başına kullanılabilirdiği gibi başka materyal ile karıştırılarak da kullanılabilir (Gruda et al., 2013).

Perlit çok hafif bir materyaldir ve hacim ağırlığı 0.1 g.cm^{-3} 'dür. Gözeneklidir, kapiller hareketi iyidir ve ağırlığının 3-4 katı su tutabilir. (Bures vd., 1997a), 10 kPa'da tutulan su miktarının, sıkıştırılmış (0.5-1.0 mm tane çaplı) perlitte, iri perlitte göre (0.25-0.50 mm tane çapı) daha fazla olduğunu belirtmiştir. Fakat bu durum sadece dahili gözenek hacmi ile açıklanmamıştır. (Bures vd., 1997b), 0-4 mm çapında parçalardan oluşan ticari perlitin tarla kapasitesi ve solma noktası değerlerini sırasıyla (hacimsel), %36.5 ve %13.6 olarak bulmuştur.

Perlit nötral (pH = 7.0-7.5) bir materyaldir ve hiçbir mineral besin maddesi içermez. pH düştüğünde besin solüsyonuna toksik alüminyum salma ihtimali vardır (Raviv et al., 2002).

Kullanılabilir ve kolay bulunan organik yetiştirme ortamları, peat (turba), kompost, bark ve tahta kalıntılarıdır. Yetiştirme ortamı olarak kullanımı için bulunulabilirlik başlı başına yeterli değildir. Ortamın standardize olması ve bitki gelişimini destekliyor olması gerekir (Gruda, 2005). Turba (peat), ortam kültürü için en fazla kullanılan en önemli organik materyaldir (Raviv et al., 2002).

Turba (peat), bitki artıkları, çimen, kamış ve yosunların serin, oksijensiz veya az oksijen bulunan bir ortamda ayrışması ile oluşan, düşük mineral ve pH'ya sahip bir materyaldir. Ayrışma sonrası kalan iskelet kısım bol gözenekli bir yapıdadır ve yüksek miktarda su tutma kapasitesine sahiptir. Bu sebeple turba genellikle karışımlarda su tutma kapasitesini ve poroziteyi arttırmak için kullanılır (Raviv et al., 2002).

Cocopeat (Cair, hindistan cevizi kabuğu lifi) genellikle seracılıkta kullanılan bir materyaldir. Ham maddesi, Sri Lanka, Hindistan, Filipinler ve Latin Amerika gibi yerlerde üretilen hindistan cevizi meyvesinin kabuğudur (Gruda et al., 2013).

Cocopeat iyi bir havalanma ve yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Fakat destek-su kapasitesi düşüktür ve gözenek miktarı ve çapı üretim şekline ve kullanılan materyalin kaynağına göre önemli değişkenlikler gösterir (Gruda et al., 2013).

Piyasada, havalanma ve kuruma eğrisi açısından çok uygun olan yetiştirme ortamı sayısı azdır. Kalite ve bulunabilirlik olarak turba'ya (peat) tatmin edici bir alternatif bulunmamaktadır. Turba, topraksız tarım ortam kültürü için vazgeçilemez bir yetiştirme ortamıdır ve diğer yetiştirme ortamları ile karıştırılarak havalanma özelliği artırılabilir (Michel, 2010).

Ortam kültüründe kullanılan yetiştirme ortamı her yıl yenilenmez ve birkaç üretim dönemi için kullanılır. Üretim dönemi sonunda kökler ortam içerisinde bırakılır ve bir miktar ayrışır. Bu şekilde ortamın su tutma kapasitesi ve bazı durumlarda katyon değişim kapasitesinde artış görülür (Gruda et al., 2013).

Yetiştirme ortamını tekrar kullanmanın muhtemel zararları ise porozite-su tutma kapasitesi oranında, yapısı ve kompozisyonunda değişiklikler oluşması ve hastalık taşıma riskidir. Çizelge 2.2'de tekrar kullanılan ortamlarda meydana gelen birtakım değişimler gösterilmiştir (Gruda et al., 2013).

Çizelge 2.2. Yeni ve tekrar kullanılmış yetiştirme ortamlarının özellikleri (pF=1) (Gruda et al., 2013).

Materyal	Tekrar Kullanım	Hacim Ağırlık (g.cm ⁻³)	Hava (%)	Kullanılabilir Su (%)
Cocopeat	Hayır	0.07	35.0	27.4
	Evet	0.09	24.4	30.3
Turba (Peat)	Hayır	0.13	44.8	24.1
	Evet	0.15	35.2	26.0
Kum	Hayır	1.15	30.7	19.2
	Evet	1.16	13.4	34.4

2.1.2. Ortam kültüründe besleme sistemleri

Ortam kültüründe, bitkilerin uniform olmayan transpirasyonu, tuz birikimi ve kök bölgesi besin elementlerindeki dengesizliğe karşı çözüm olarak bol miktarda taze (yeni hazırlanmış) besin solüsyonu kök bölgesine uygulanır. Besin solüsyonuna kök bölgesi tuzluluğunu önlemek için genellikle %25-30 civarında bir yıkama oranı da ilave edilir. Bu nedenle açık sistemlerde yüksek miktarlarda

su ve besin maddesi israfı vardır. Bu da işletme giderlerinde artışa ve çevresel kirliliğe neden olur (Çizelge 2.3) (Vox et al., 2010).

Çizelge 2.3. Açık sistem domates yetiştiriciliğinde 4 aylık bir dönemde su ve gübre kullanımı (Vox et al., 2010).

	Verilen	Bitki tarafından alınan	Kayıp
Su ($m^3.ha^{-1}$)	2450	1840	610
Nitrojen ($kg.ha^{-1}$)	510	352	158
Fosfor ($kg.ha^{-1}$)	130	95	35

Açık sistemler uygulama kolaylığı sağlamakla birlikte, en büyük dezavantajı; su ve besin elementlerinin dışarı atılması sonucunda, su kullanım randımanını düşürmesi, yüzey ve yeraltı sularını kirlletmesidir (Van Os, 1999a; Gül vd., 2001). Nitekim açık sistemde sonbahar ve ilkbahar yetiştiriciliğinde 1 ha sera alanından ortalama olarak, sırasıyla, 1027 ve 1081 m^3 (Meriç, 2006), 1 yıllık üretimden ise 2000 m^3 besin solüsyonunun sera dışına atıldığı ve bunun da yaklaşık 5 ton gübre içerdiği bildirilmektedir. Bu da toprak ve taban suyu kirliliğine neden olmaktadır (Benoit and Ceustermans, 1995).

Kapalı sistemlerde ise kuzey batı Avrupa ülkelerinde her yıl 1 ha sera alanından, 120 kg N, 20 kg P ve 1000 m^3 suyun sistem dışına atılırken, Akdeniz ülkelerinde, bu değerlerin, resirkülasyon yapılmayan açık sistemlerde 300–350 kg N, 125–300 kg P ve 3000–3500 m^3 su olduğu bildirilmektedir. (Marcelis et al., 2000).

Kapalı sistemlerde drene olan solüsyon toplanır ve gerekli işlemlerden geçtikten sonra (pH ve besin konsantrasyonunun ayarlanması, EC kontrolü) dezenfekte edilerek tekrar kullanılır (Vox et al., 2010., Carmassi et al., 2007a)

Kapalı sistem, açık sistemin çevresel etkilerini ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Fakat açık sistem yönetimi çok daha kolay olduğu için kullanımının zorunlu olduğu Hollanda dışında nadiren kullanılmaktadır (Pardossi et al., 2006). (Vox et al., 2010).

Kök zararlılarının yayılımına ek olarak, besin solüsyonu tuzluluğunun (EC) takip edilmesi kapalı sistem yönetiminin ana zorluğudur. Sistemde kullanılan su tuzlu ise besin solüsyonunun EC değeri daha hızlı bir şekilde artış gösterir. Bu

durumda besin solüsyonu EC değeri belirli bir eşiğe ulaşana kadar sirküle edilir ve daha sonra yenilenir (Baas and van der Berg, 1999).

Kapalı sistem uygulamaları açık sisteme göre daha fazla teknik bilgi gerektirmesine rağmen küçük ölçekli üreticilere de adapte edilebilir. Nitekim Gül vd. (2007) hıyar üretiminin yoğun olarak yapıldığı, İzmir'in Menderes ilçesinde, topraksız tarım konusunda deneyimi ve bilgisi olmayan 8 üreticiye kapalı sistem topraksız yetiştirme tekniği ile hıyar yetiştirtmişlerdir. Bölgede nematod ve toprak kaynaklı patojen sorunu bulunmakta ve topraklı yetiştiricilikte genel verim ortalaması 10 – 30 kg.m⁻² olarak belirtilmektedir. Ancak topraksız tarım uygulamasıyla, üreticilerin kendi seralarından elde ettikleri verim değerleri, uygulamalara ve yıllara göre 15.1 ile 32.7 kg.m⁻² arasında değişmiştir. Bu sonuçlar bölgedeki bulaşık ve bulaşık olmayan topraklarla karşılaştırıldığında yüksek çıkmıştır. Yapılan ekonomik analiz sonucunda da üreticinin yıllık ortalama net getirisi 2071 \$ / 1066 m² olarak belirlenmiştir. Üreticiler genellikle düşük seviyede eğitim düzeyine sahip kişiler olup, küçük ölçekli son derece basit yapılı seralarında, kapalı sistemde yetiştiricilik yapabilmişler ve besin çözeltilisinin hazırlanmasını, uygulanmasını ve taşınabilir pH ve EC metre kullanarak kontrolünü öğrenebilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, kapalı sistem ortam kültürünün modern işletmeler yanında küçük ölçekli üreticilere de deneyimli kişilerce adapte edilebileceğini göstermiştir. Tahtalı barajı koruma havzasındaki seralarda, kapalı sistemde ortam kültürü şeklinde yapılan yetiştiricilik, gerek çevre koruma, gerekse de bölgedeki çiftçilere gelir sağlama açısından olumlu sonuçlar vermiştir (Gül vd., 2004).

Açık yada kapalı sistemler olarak kullanılabilen ortam kültüründe, kapalı sistemlerde açık sisteme göre daha az atık su ve besin çözeltilisinin ortaya çıktığı bilinmektedir. Kapalı ortam kültüründeki hıyar yetiştiriciliğinde yaklaşık olarak %22 ve %35 oranlarında su ve gübre (Gül vd., 1999; Tüzel vd., 1999b), domates yetiştiriciliğinde ortalama %32 – %34 oranlarında gübre (Tüzel vd., 2000), gül ve krizantem yetiştiriciliğinde de sırasıyla %48 ve %15 oranlarında gübre (Van Os, 1999) tasarrufu sağlandığı bildirilmiştir. Yine kapalı sistemlerde dışarı atılan su miktarı açık sisteme göre 3.4 kat azaltılmıştır (Tüzel vd., 2002a).

Ülkemizde yürütülen bir çalışmada, ilkbahar dönemi hıyar yetiştiriciliğinde, kapalı sistemin açık sisteme kıyasla su kullanımını % 22 oranında (Tüzel vd., 1999b) domates yetiştiriciliğinde ise sonbahar döneminde %8 - %16 ilkbahar üretim döneminde ise %20 - %24 azalttığı saptanmıştır (Tüzel vd., 2001).

Tüzel vd. (2000), sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde topraksız domates yetiştiriciliğinde farklı ortam ve domates çeşitleri kullanarak açık ve kapalı sistemlerde su ve besin maddesi kullanım miktarları ile verim değerlerinin belirlenmesi amacıyla yürüttükleri çalışmada, açık (15.7 ve 19.0 kg.m⁻²) ve kapalı (17.0 ve 18.0 kg.m⁻²) sistemler arasında verim açısından farklılık bulunmadığını bildirmişlerdir. Araştırmada mevsimlik bitki su tüketimleri, sonbaharda 51.1 – 69.8 l.bitki⁻¹, ilkbaharda ise 91.2 – 119 l.bitki⁻¹ arasında değişirken, kapalı sistemin açık sisteme göre %24 su, %34 gübre tasarrufu sağladığı belirtilmiştir.

Tunalı vd. (2008) açık ve kapalı besleme sistemlerinde, farklı tuzluluk düzeylerinde yaptıkları çalışmada, kullanılan toplam su miktarını incelemiş ve sonbahar dönemi süresince açık sistemde konulara göre 95.12 – 107.24 l.bitki⁻¹ arasında değişirken, kapalı sistemde 71.16 – 83.43 l.bitki⁻¹ olarak ölçmüştür. İlkbahar döneminde ise açık sistemde harcanan toplam su miktarı, konulara göre 137.09 – 162.83 l.bitki⁻¹ arasında değişirken, kapalı sistemde 86.22 – 112.87 l.bitki⁻¹ olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, kapalı sistemde açık sisteme kıyasla, sonbahar ve ilkbahar dönemleri için ortalama olarak sırasıyla %24 ve %36 daha az besin solüsyonu kullanılmıştır. Araştırmadan sağlanan toplam verim ve kullanılan besin solüsyonu miktarları farklı tuzluluk düzeyleri için birlikte değerlendirildiğinde; sonbahar bitki yetiştirme döneminde 4 ve 6 dS.m⁻¹ tuzluluk düzeyleri için kapalı sistemde meydana gelen verim azalması, sırasıyla, %6 ve %17 olarak bulunurken, kapalı sistemin sağladığı su tarrufu, %22 ve %25 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu durum ilkbahar döneminde, verim azalması yönünden %13 ve %4 iken kapalı sistemin sağladığı su tasarrufu, %40 ve %42 arasında değişiklik göstermiştir.

2.1.3. Ortam kültüründe sulamanın programlanması

Topraksız tarımda sulamanın yönetimi (sulama programı) kritik bir öneme sahiptir. Yetersiz sulama, düşük verim ve kalite ile sonuçlanırken, fazla sulama ise su ve besin maddesi israfı, bitkinin hastalıklara karşı direncinin düşmesi, sulama sistemi maliyetlerinin artması ve çevresel zararların artması (atık besin solüsyonu sebebiyle) gibi sorunlar meydana getirir (Pardossi et al., 2009).

Topraksız tarımda etkin bir sulama programının amacı her zaman bitki kök bölgesinde yeterli düzeyde besin solüsyonu bulundurmak ve atık miktarını minimize etmektir. Bu amaçla çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir ve her birinin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır (Jones, 2004a).

Kök bölgesinde kolay alınabilen su (EAW), kap kapasitesi (tarla kapasitesi) 1 kPa ile 5 kPa'da tutulan su arasındaki miktar olarak tanımlanır. Destek su kapasitesi ise 5-10 kPa arasında tutulan su miktarıdır. Ortamda 10 kPa'dan yüksek enerji ile tutulan su ise higroskopik su (faydasız) olarak tanımlanır ve bitkiler tarafından kullanılamaz (de Boodt and Verdonck, 1972). Ortam su içeriği ile tansiyonu arasındaki ilişkinin anlaşılması su akışı, suyun kullanılabilirliği ve sulama programı için büyük öneme sahiptir (Raviv et al., 2002).

Saksı yetiştiriciliğinde, sulama sıklığı ve miktarı, kabın ağırlığını sürekli olarak ölçen bir tartılı lizimetre ile belirlenebilir. Bu yöntem sera yetiştiriciliğinde sıkça kullanılmaktadır (de Graaf et al., 2004).

Saksı yetiştiriciliği yapan çoğu üretici, özellikle Akdeniz bölgesinde, sulamanın otomasyonunu kendi tecrübeleri ile basit bir zamanlayıcı kullanarak yapmaktadır (Bacci et al., 2011, Incrocci et al., 2014). Aşırı sulama nedeniyle, yüksek miktarlarda su kullanan sera endüstrisinin toplam tüketiminin %75-80'ini saksıda yetiştiricilik yapan üreticiler oluşturmaktadır (Marzioletti and Pardossi, 2003).

Daha fazla geliri olan ve sürdürülebilir bir yetiştirme sistemi oluşturmak için mevcut sulama sistemlerini modernize etmek ve su kullanım randımanını arttırmak gerekir. Bunun için bitki su ihtiyacının doğru ölçülmesi veya tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır (Bacci et al., 2011).

Bitki su tüketimi (ET, Evapotranspirasyon), bitki su ihtiyacının belirlenmesinde ana etmendir ve sulama programlaması için bilinmesi şarttır. Bitki su tüketimi toprak veya ortam yüzeyinden meydana gelen buharlaşma ile bitki yapraklarında meydana gelen terlemenin birleşimidir (Bacci et al., 2011).

Saksıda yetişen bitkilerde, bitki su tüketimi, çevresel (sıcaklık, radyasyon, nem, rüzgar hızı, vb.), bitkisel (gelişim dönemi, yaprak alanı, türü, vb.) ve kap özelliklerine (kullanılan ortam, saksı büyüklüğü) bağlıdır. Bitki su ihtiyacını belirlemek için kullanılacak yöntem bu özellikleri dikkate almalıdır (Bacci et al., 2011).

Sulama programlaması için bitki-su ilişkilerini izleyen yenilikçi yöntemler önerilmiştir (Jones, 2004a). Bazı firmalar gövde çapı, yaprak kalınlığı veya gövde

özsü akışını izleyen kontrol cihazları üretmiş olsa da üreticilerden bu ürünlere ilgi olmamıştır (Jones, 2004a; Pardossi et al., 2009).

Bitkiye dayalı sulama yönetimi yaklaşımı (“Konuşan Bitki” teorisi), yaprak su potansiyeli (basınç odası), stoma direnci (difüzyon porometresi), bitki taç sıcaklığı (infrared termometre), gövdedeki su akışı (ısı puls yöntemi), gövde çapı değişimi (dendrometre), ksilem potansiyeli ve toprak-kök arayüz potansiyeli gibi parametreleri izleyerek sulama zamanını belirlemek üzerine kurulmuştur (Caron et al., 1998; Raviv et al., 2002).

Bitkiye dayalı yaklaşımın temel avantajı görsel bir tepki oluşmadan su eksikliğini ortaya koymasıdır. Temel problemi de su eksikliği oluşuktan sonra (post factum), bitkisel zarar oluşuktan sonra, sulama başlatmasıdır. Bu nedenle, bu tip parametrelerin kullanımı, ticari üretim yerine bilimsel çalışmalar için daha uygun olmaktadır (Raviv et al., 2002).

Baille’a (2001) göre sulama yönetiminde kullanılan, kısa dönem karar verme yeteneğine sahip gelişmiş yöntemler, iklim etmenleri veya toprak (veya ortam) su içeriğini baz alırlar.

İklim dayalı yaklaşımda, bitki su tüketimi basit bir denklem (Eşitlik 1) ile hesaplanır. ET_0 , iklim parametreleri kullanılarak hesaplanan referans bitki su tüketimi, K_c ise bitki katsayısıdır (Doorenbos and Pruitt, 1977).

$$ET = ET_0 \cdot K_c \quad (1)$$

Referans bitki su tüketimi tahmini için çok sayıda ampirik yöntemler geliştirilmiştir. Günümüzde en çok kullanılan yöntem Penman-Monteith yöntemidir (Allen et al., 1998). Ampirik yöntemlere alternatif olarak, ET_0 , buharlaşma kabı veya “Evaposensor” aracılığı ile ölçülebilir (Grant et al., 2012).

Bitki katsayısı, K_c , bitki türü, bitki gelişim dönemi, bitkinin toprak yüzeyi örtme oranına bağlı olarak değişen bir katsayıdır ve belirli bir bitkinin gerçek su tüketiminin, referans bitki su tüketimine oranı olarak tanımlanır (Allen et al., 1998).

Bitki katsayısını belirlemek için bitki su tüketiminin ölçülmesi gerekmektedir. Doğrudan ölçümde su bütçesi yöntemi (tarla parselleri, lizimetrik

ölçümler) kullanılır. Ancak doğrudan ölçüm yöntemlerinin zor, zaman alıcı ve pahalı olması yaygın biçimde kullanılmalarını sınırlamaktadır (Bacci et al., 2011).

İyi bir sulama yönetiminde iklime dayalı yaklaşımların kullanılmasının en büyük zorluğu bitki katsayısı değerinin belirlenmesidir. Bitki katsayısı geleneksel yetiştiricilikte nadiren 1.3 değerini aşar (Doorenbos and Pruitt, 1977). Toprak veya ortam yüzeyinden buharlaşmanın minimum olduğu saksı yetiştiriciliğinde ise bitki katsayısı değerleri daha yüksektir (Niu et al., 2006; García-Navarro et al., 2004).

Örtüaltı yetiştiriciliğinde, bitki su tüketimini belirleyen en önemli faktör solar radyasyondur (Baille et al., 1994; van Kooten et al., 2008). Sulama yönetimi için pratik bir yöntem olarak, bitki su tüketimi ile sera içi veya dışı solar radyasyonu ilişkisini gösteren basit doğrusal regresyon önerilmiştir. Bacci vd. (2011), topraksız yetiştiricilik yapılan serada, çeşitli bitkiler için, bitki su tüketimi-solar radyasyon oranını belirlemiştir (Çizelge 2.4). Bu oran 0.65-0.80 arasında değişmiş ve yaprak alan indeksi (LAI) yüksek bitkiler için daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 2.4. Topraksız tarımda yetiştiriciliği yapılan çeşitli bitkilerin yaprak alan indeksi (LAI) ve ET/R oranları (Bacci et al., 2011).

Bitki	Yetiştirme Sistemi	Yetiştirme Sezonu	LAI	ET/R
Domates	NFT	Güz-Bahar	3.0 - 3.5	0.75 – 0.80
Kavun	NFT	Güz-Bahar	3.0 - 3.5	0.70 – 0.75
Çilek	Substrat	Bahar	2.0 - 2.5	0.65 – 0.70
Gerbera	Substrat	Tüm yıl	2.4 – 2.8	0.65 – 0.70
Gül	Substrat	Tüm yıl	2.4 – 2.8	0.70 – 0.75

Carmassi vd. (2007a), örtüaltı domates yetiştiriciliğinde kullanılmak üzere bir bitki su tüketimi modeli geliştirmiş ve test etmiştir. Model, LAI gelişimini tahmin eden ve bu gelişimi radyasyon ile ilişkilendiren iki kısımdan oluşmuştur. LAI gelişimi, Boltzmann sigmoid eşitliği ile modellenmiştir (Motulsky and Christopoulos, 2003).

$$LAI = -0.335 + \frac{(4.803+0.335)}{1+\exp\left(\frac{755.3-GDD}{134.7}\right)} \quad (2)$$

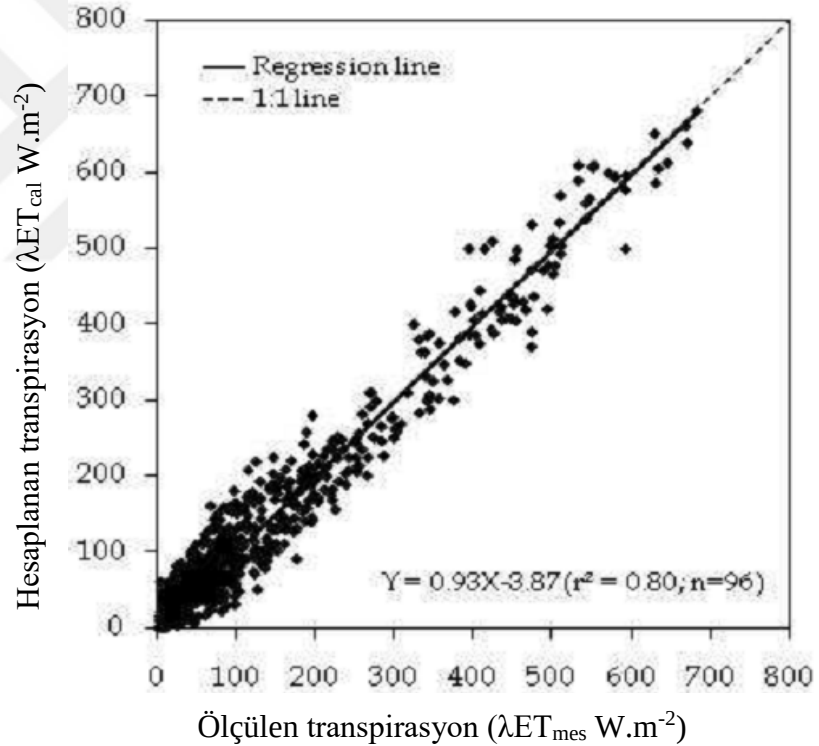
$$ET = 0.946 [1 - \exp(-0.69LAI)] \frac{R}{\lambda} + 0.188 \quad (3)$$

Model, LAI gelişimi tahminindeki başarısı ile güz ve bahar yetiştirme dönemlerinde, domates için günlük bitki su tüketimi tahminlerinde iyi sonuçlar vermiştir (Carmassi et al., 2007a).

Benzer bir araştırmada, Colla vd. (2009), örtüaltı sardunya yetiştiriciliğinde, bahar ve kış dönemlerinde bitki su tüketimi tahmini için Penman-Monteith eşitliğinden daha basit bir model önermiştir:

$$ET = 0.34 [1 - \exp(-0.6 \cdot LAI)] R + 30.27 \cdot LAI - VPD \quad (4)$$

Basitleştirdikleri Penman-Monteith eşitliği ile hesaplanan (ET_{cal}) ve elektronik tartı ile ölçülen (ET_{mes}) bitki su tüketimi değerlerini kıyaslamış ve ölçüm ile tahmin değerleri arasında iyi bir ilişki olduğu sonucuna varmışlardır (Şekil 2.3) (Colla et al., 2009).



Şekil 2.3. Ölçülen ve hesaplanan bitki su tüketimi değerleri arasındaki ilişki (Colla et al., 2009)

Isıtılmayan sera koşullarında net radyasyon (R_n) genellikle güneşlenme süresindeki radyasyon ile ilişkilidir (Bailey et al., 1993). Pardossi ve Battista tarafından, Pisa Üniversitesinde, ısıtılmayan bir cam serada, gerbera bitkisi ile yapılan araştırma (basılmamış) R_n - R ilişkisini ortaya konulmuştur (Bacci et al., 2011):

$$R_n = 0.981 - R \quad (r^2 = 0.923; n = 590) \quad (5)$$

Bitki örtüsü homojen değildir ve eşilikteki radyasyon (R) terimi bitki tarafından yakalanan radyasyonu ifade eder. Bu radyasyon da, LAI ile bitkinin ışık yakalama katsayısı (k) kullanılarak tahmin edilir:

$$R_{int} = 1 - \exp^{-k.LAI} \quad (6)$$

Çevresel değişkenlerin (bitki tarafından yakalanan net radyasyon, hava-yaprak sıcaklığı ve buhar basıncı) yanında stoma direnci (r_s) ve bitki yüzeyinin aerodinamik direnci (r_a) de hassasiyetle ölçülmelidir (Bacci et al., 2011).

Stoma direnci bir porometre ile ölçülebilir ve ölçülen değer diğer çevresel değişkenler ile ilişkilendirilebilir. Çoğu bitkide ısı transferinin gerçekleştiği alan LAI'dir. Buna göre, ortalama kanopi direnci, r_c , aşağıdaki eşitlik ile tanımlanabilir (Bailey et al., 1993; Montero et al., 2001):

$$r_c = r_s / LAI \quad (7)$$

Buhar transferinin gerçekleştiği bitki yüzeyinin aerodinamik direnci (r_a), konvektif ısı transfer katsayısı ile bulunabilir. Aerodinamik direnç ile ısı transfer katsayısı arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikteki gibi varsayılabilir (Bailey et al., 1993):

$$r_a = \frac{\rho \cdot c_p}{2 \cdot LAI \cdot h} \quad (8)$$

Açık olarak, bu yöntem ile bitki su tüketimi tahmininin başarısı, LAI ve r_s ölçümlerinin veya tahminlerinin doğruluğuna bağlıdır. LAI, tahrip edici örneklemeler ile veya bitkiye zarar vermeyen yaprak boyutu ölçümleri ile belirlenebilir (Carmassi et al., 2007b).

Örtüaltı yetiştiriciliğinde bitki su tüketiminin tahminlenmesi için çeşitli karmaşık modeller geliştirilmiştir. Bütün bu modeller arasında, FAO Penman-Monteith eşitliği standart referans olarak kabul edilmiştir (Stanghellini, 1987; Allen et al., 1998; Walter et al., 2002).

Domates gibi bazı önemli bitkilerin su ihtiyacını modelleyen çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Stanghellini, 1987; Jolliet and Bailey, 1992). Bu modeller

yaprakta meydana gelen terleme ile çeşitli iklim parametrelerinin (Güneş radyasyonu, buhar basıncı açığı) ilişkisi üzerine kurulmuştur. Fakat kapalı (veya yarı kapalı) sistemlerde meydana gelebilecek tuzluluk etkisi bitkinin su alımını etkileyeceği için bu modellerin yıkama ihtiyacı ve bitki tarafından alınan su miktarını da değerlendirmeye alması gerekmektedir (Pardossi et al., 2009).

Bitkiler ihtiyaç duymadıkları iyonları almazlar ve kök bölgesinde zamanla bir tuz birikimi olur. Bu sebeple bitki su tüketimi ile sulama arasında keskin bir denge pratik değildir ve biriken tuzların uzaklaştırılması için yıkama suyu ilave edilmesi gerekir. Kök bölgesi sık olarak yıkandığında, kökler, hiçbir zaman çok düşük ozmotik basınç etkisine maruz kalmaz ve bu uygulama ile kök bölgesinin matrik su potansiyeli, besin solüsyonunun matrik potansiyeline yakın tutulur (Raviv et al., 2002).

Toprağa (veya ortama) dayalı yaklaşımda, toprak veya ortamın su potansiyeli (tansiyometre) veya hacimsel su içeriği (örn., dielektrik algılayıcılar) ölçülerek sulama yönetimi yapılır. Bu ölçümleri, algılayıcıların yerleştirilmesindeki yanlışlıklar, ölçümlerde düşüş eğilimi gibi birtakım teknik problemler etkileyebilir. Bu nedenle sık ve dikkatli kontroller gereklidir (Pardossi et al., 2009).

Kök bölgesi nem algılayıcıları kullanılarak toprak su içeriği izlenir ve kök bölgesi nem içeriği belirlenen aralıkta tutulabilir. Prensip olarak bu yöntem ile, doğru kontrol cihazları ve sulama eşikleri kullanıldığında, bitki su tüketimi belirlenmesine gerek duyulmaz ve her bitki için uygulanabilir. Alçı blokları ile yapılan ilk denemelerden sonra ortaya çıkan şüpheler, modern algılayıcıların üretilmesi ile ortadan kalkmış ve kök bölgesi nem algılayıcıları hassas tarımda kullanılmaya başlanmıştır (Pardossi et al., 2009).

Eğilimlerin izlendiği sulama yönetiminde kullanılan kök bölgesi nem algılayıcısının tekrar edebilirliği, az bakım gerektirmesi, düşük maliyetli olması ve kullanımının kolay olması ölçümlerin doğruluğundan daha önemlidir. Bu nedenle, dielektrik algılayıcılar, su dolu tansiyometrelere göre daha kullanıcı dostudur. Buna ek olarak piyasada bulunan bazı algılayıcılar (WET, 5TE) toprağın veya ortamın elektriksel geçirgenliğini de ölçerek kontrollü gübrelemeye de olanak sağlamaktadır (Pardossi et al., 2009).

2.1.4. Kısıtlı sulama

Dünya çapında su kaynaklarında azalma, sulama maliyetinde ve dünya nüfusunda sürekli artış ile sulama miktarının azaltılması ve randımanların yükseltilmesi ihtiyacı doğmuştur (Jones, 2004b).

Su stresi, stomanın kapanarak terlemenin azalmasına, karbon asimilasyonunun ve biyokütle üretiminin azalmasına neden olur (Smith et al., 2002). Kısıtlı sulama, verimde minimum etki yapacak stres düzeyinde, maksimum sulama miktarının altında bir su uygulaması yaparak, su tasarrufu hedefleyen bir tekniktir (FAO, 2002).

Birçok araştırmacı kısıtlı sulama programı ile net gelirin arttırabileceği sonucuna varmıştır (English, 1990; Martin et al., 1989; Kumar and Khepar, 1980; Fardad and Golkar, 2002; Zhang et al., 2002). Kısıtlı sulamanın potansiyel kazanımları; artan su kullanım randımanı, işletme maliyetindeki azalma ve suyun fırsat maliyetidir (English et al., 1990). Kısıtlı sulama ile düşen verimin maliyeti, daha fazla sulanan alan yaratarak veya tasarruf edilen su ve besin maddesi miktarından karşılanabilir (Ali et al, 2007).

Sulama teknolojisindeki gelişmeler ve ölçümleri daha hassas yapmaya olanak sağlayan yeni ekipmanlar ile verim ve kalite üzerindeki etki en aza indirilerek, su ihtiyacını azaltan kısıtlı sulama stratejileri geliştirilebilir (FAO, 2002).

Hastalık ve zararlı kaynaklı verim kayıpları ile hasat, depolama ve gübreleme hatalarından kaynaklanan verim kayıplarına göre kısıtlı sulamadan oluşacak olan kayıp çok daha düşüktür. Fakat kısıtlı sulama bilinçli yapıldığında ürün kalitesini arttırabilir. Örneğin, buğdayın protein içeriği ve pişirme kalitesi, pamuk ipliğinin uzunluğu ve sağlamlığı, şeker pancarı ve üzümün şeker konsantrasyonu kısıtlı sulama ile artış göstermektedir (Kirda, 2002).

Savic vd. (2008), farklı sulama programlarının [(1) su kısıtı, (2) kısmi kök kuruluğu, (3) tam sulama] domates meyve kalitesi, su kullanım randımanı ve verim üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kısmi kök bölgesi kuruluğu ve su kısıtı uygulamaları verimi tam sulama uygulamasına göre %18 oranında azaltmışlardır. Bu sulama uygulamaları su kullanım randımanını arttırmış ve sulamada kullanılan suyun miktarını %40 oranında azaltmıştır. Su kısıtı ve kısmi kök bölgesi kuruluğu

uygulamaları kaliteyi (özellikle şeker ve organik asit içeriklerini) arttırmıştır. Su kısıtı ve kısmi kök bölgesi kuruluğu uygulamalarının verimde önemli bir azalış olmadan meyve kalitesi ve su tasarrufunda artış sağladığı sonucuna varılmıştır.

2008-2009 yıllarında kuzey-batı Çin’de yürütülen bir çalışmada, fide döneminde sulama suyu miktarını tam sulama konusuna göre 1/2 ve 1/3 oranlarında azaltmanın kalite üzerine çok etkili olmadığı, meyve olgunlaşma ve hasat döneminde azaltmanın verimi %23 - %41 oranlarında azalttığı fakat kalitenin yükseldiği saptanmıştır. Tasarruf edilen su miktarı, verim ve kalite parametreleri ile birlikte değerlendirildiğinde, çiçeklenme ve meyve gelişimi döneminde kısıt uygulanmasının ve sonrasında stresin kaldırılmasının sera domates yetiştiriciliğinde bu bölge için uygun olabileceği belirtilmiştir (Wang et. al., 2011).

Tüzel vd. (2009), hıyar bitkisinin sulamasında tam sulama, az kısıt, çok kısıt ve çiftçi sulaması olmak üzere 4 farklı sulama programı karşılaştırdıkları çalışma sonucunda; en yüksek verimi (27.8 kg.m^{-2}) tam sulama konusunda, en düşük verimi (20.3 kg.m^{-2}) ise çok kısıt uygulamasından elde etmişlerdir. Su kullanım etkinliklerine bakıldığında en düşük değer çiftçi sulaması konusundan, en yüksek değer ise az ve çok kısıt konularından elde edilmiştir.

Zushi ve Matsuzoe (1998), su kısıtının beş domates çeşidinde C vitamini, şeker, organik asit, amino asit ve karoten içeriklerine etkisini incelemişlerdir. Su kısıtı uygulamasında C vitamini miktarı çeşide göre bazılarında artarken, bazılarında etkilenmemiştir. Bitkilerin yaş ağırlıklarında bulunan glukoz ve fruktoz miktarının tüm çeşitlerde kısıt uygulandığında tam sulanan bitkilere göre daha fazla olduğu, fakat kuru ağırlıklarının aynı kaldığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar sadece meyvede su miktarının azaldığını göstermiştir. Organik asit ve serbest amino asit miktarlarında su stresine artmıştır. Kırmızı ve pembe renkli çeşitleri de perikarpın dış bölgesindeki likopen miktarı artmış, ancak sarı pigmentlerin (beta karoten ve ksantofil) miktar ve dağılımı su kısıtı uygulamasından etkilenmemiştir.

Su stresinin kırmızı, pembe, sarı ve mandarin rengi olmak üzere dört farklı renkteki kiraz domateslerinde meyve rengi ve karoten yapısına etkisini de araştırmışlardır. Stres altında kırmızı renkli çeşidin meyvelerinin ilkbahar ve sonbahar üretim dönemlerinde, pembe renkli çeşidin meyvelerinin sonbahar döneminde renklenmesinin hızlandığı görülmüştür. Birçok çeşitte tam sulamaya göre su stresi uygulamasında pigmentasyon (hücrelerin renklenmesi) artmıştır,

çünkü domatesin renk tonu (hue) değeri azalmış ve kroma değeri artış göstermiştir. Sonbahar üretim dönemindeki su kısıtı uygulamasının ilkbahar uygulamasına göre meyve renklenmesinde çok daha etkili olduğu görülmüş, ancak mandarin rengindeki çeşitte meyve renklenmesi üzerine yetiştirme dönemi etkili olmamıştır. Kırmızı ve pembe renkteki çeşitlerin tam olgun meyvelerinin yaş ağırlıklarındaki toplam karoten su stresiyle birlikte artmıştır, ayrıca tam sulamaya göre su stresindeki meyvelerin karoten içeriğindeki likopen oranı da artmıştır. Su stresi sarı renkteki çeşidin yaş ağırlığındaki beta-karoten miktarını arttırmış fakat mandarin rengindeki çeşidin yaş ağırlığındaki beta-karoten miktarı ne ilkbahar ne de sonbaharda etkilememiştir (Matsuzoe et al., 1998)

Köhler vd. (1999), bitkilere verilen suyun az miktarda azalmasının hem meyve kalitesinin artmasına hem de daha yüksek pazarlanabilir meyve oranının elde edilmesine neden olduğunu saptamışlardır. Vanessa domates çeşidi meyve gelişmesinin başlangıcında iki farklı sulama uygulaması altında yetiştirilmiştir. Kontrol uygulamasında maksimum su tutma kapasitesinin %70'i (bu oran meyve tutumundan sonraki optimum su miktarıdır), diğerinde ise %50'si oranında sulama suyu uygulanmıştır. Daha az su uygulanan bitkilerde bitki gelişimi ve özellikle meyve tutumu olumsuz olarak etkilenirken, meyvelerde şeker ve vitamin C içerikleri özellikle meyve olgunlaşma döneminde artmıştır. Ayrıca titre edilebilir asit konsantrasyonu ve C6 aldehitleri kırmızı olum evresindeki meyvelerde daha yüksek bulunmuştur. Her iki uygulamada da elde edilen pazarlanabilir verim miktarı benzer bulunmuştur.

Kang vd. (2006), domateste meyve verimi ve toplam suda çözünebilir kuru madde (TSÇKM) üzerine su kısıtının etkilerini incelemişlerdir. Sulama miktarı -20, -30 ve -40 kPa uygulamaları ile sırasıyla %11, %25 ve %41 oranlarında azaltılmış ve -15 kPa olan standart uygulama ile karşılaştırılmıştır. -30 kPa ve -40 kPa uygulamaları -15 kPa ile kıyaslandığında ilk salkımda TSÇKM' nin %11 ve %24 oranlarında arttığı, verimde önemli bir kayıp olmadığı belirlenmiştir.

2.2. Kök Bölgesi Nem Algılayıcıları ve Topraksız Tarımda Kullanımı

Toprağın hacimsel nem içeriğinin veya matrik potansiyelinin kök bölgesi nem algılayıcıları kullanılarak ölçülmesi mümkündür. Matrik potansiyel, toprak veya substrat gibi gözenekli bir ortamda tutulan suyu çıkarmak için gereken

enerjinin ifadesidir. Hacimsel nem içeriği ise belirli bir hacimdeki bozulmamış toprağın içerdiği nem miktarıdır (Pardossi et al., 2009).

Kök bölgesi nem algılayıcılarının faydaları ; kök bölgesi nem düzeyi sürekli izlendiği için sulama programının etkinliği artırılması, otomasyona dahil edilebilmesi, kök bölgesi altına yerleştirilen algılayıcılar ile derine sızım miktarının takip edilebilmesi, bitki su ihtiyacının anlık olarak belirlenebilmesi, besin maddelerinin yıkanmasının önlenmesi, yağış etkinliğinin belirlenebilmesi, bitkinin yetiştiği ortam hakkında ek bilgi sağlama (Elektriksel iletkenlik, toprak sıcaklığı) ve sulama etkinliği artırılarak su tasarrufu sağlanabilmesi olarak sıralanabilir (Muñoz-Carpena, 2004).

Toprağın dielektrik özelliklerini kullanan nem algılayıcıları ile toprak yığını geçirgenliği (dielektrik sabiti) ölçülerek toprak nem içeriği tahmin edilir. Dielektrik sabit; K_{ab} , topraktan geçen bir elektromanyetik dalga veya sinyalin hızını ifade eder. Toprak gibi minareller, hava ve su içeren bir yapıda, geçirgenlik bu bileşenlerin içeriğine bağlı olarak değişir. Suyun dielektrik sabiti ($K_{su} = 81$) diğerlerinden çok daha yüksek olduğu için ($K_{mineral} = 2-5$, $K_{hava} = 1$) toplam geçirgenlik su içeriği tarafından belirlenir (Muñoz-Carpena, 2004).

Toprağın hacimsel nem içeriği (HN) ile dielektrik sabiti (K_{ab}) arasındaki ilişki eşitlik 9'da belirtilmiştir (Topp et al., 1980):

$$HN = -5.3 \times 10^{-2} + 2.29 \times 10^{-2} K_{ab} - 5.5 \times 10^{-4} K_{ab}^2 + 4.3 \times 10^{-6} K_{ab}^3 \quad (9)$$

Bu eşitlik, hacimsel nem içeriği yüzde 50'nin altında olan çoğu mineral toprak için geçerli olmakla birlikte, yüksek nem içeren topraklar, organik topraklar ve volkanik topraklar için kalibrasyon gerektirir (Muñoz-Carpena, 2004).

Toprağın dielektrik özelliklerinden yararlanan bu yöntemin yaygınlaşmasındaki en önemli nedenler; (1) ölçümlerin anında alınması, (2) sürekli okumalar ile otomasyona katkı vermesi ve (3) algılayıcıların minimum bakım gerektirmesidir.

Toprağın dielektrik özelliklerinden yararlanarak ölçüm yapan algılayıcılar çalışma/ölçüm prensiplerine göre kendi arasında beş ana gruba ayrılabilir. Bunlar ; **(1) TDR** (*Time Domain Reflectometry*), **(2) FD** (*Frequency Domain: Kapasitans*

ve FDR), **(3) ADR** (*Amplitude Domain Reflectometry: Alternatif Akım Direnci*), **(4) PT** (*Phase Transmission*) ve **(5) TDT** (*Time Domain Transmission*). Bu algılayıcı tipleri bakım, kalibrasyon gereksinimleri ve fiyat açısından farklılık gösterir (Pardossi et al., 2009, Muñoz-Carpena, 2004).

Kök bölgesi nem algılayıcılarının yetiştirme ortamına yerleştirilme şekli de önemli bir unsurdur. Tarla koşullarında, algılayıcılar genellikle kök bölgesinin iki derinliğine (yüzlek ve derin) yerleştirilir. Saksı yetiştiriciliğinde, Saksının üst yarısında çok az kök gelişimi olurken alt kısmında yoğunlaşma meydana gelir. Yerçekimi ve düşük su tutma kapasitesi nedeniyle kabın alt yarısındaki nem düzeyi daha fazladır ve ortalama bir kap değeri için algılayıcılar, kap ortasına yerleştirilmelidir (Pardossi et al., 2009).

Bacci vd. (2003 ve 2004), 1.5-9.0 L arasında değişen hacimlerdeki kaplarda (çap 12-18 cm) en iyi pozisyonun, üstten kap uzunluğunun 1/3'ü kadar derinlik ve kap kenarında 3-4 cm uzaklık olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, damla sulama sistemi kullanıldığında, algılayıcı uçların, damlatıcılar ile 90° açı yapacak şekilde yerleştirilmesi gerektiğini de belirtmişlerdir.

Yetiştirme ortamı olarak kumlu toprak ve cocopeat'in kullanıldığı ve çeşitli bitkilerin yetiştirildiği bir denemede, Farina ve Bacci (2005), Theta-Probe ML2X (Delta-T Devices) kök bölgesi nem algılayıcısının uygunluğunu denemiştir. Ölçümlerin tekrarlanabilirliği her iki ortam için iyi bulunmuş ve 0.4 - 0.7 dS.m⁻¹ aralığında besin solüsyonu tuzluluğu ile yapılan ölçümlerde %3 - %4 hata saptamışlardır. Bu hatanın önemsiz olduğunu belirterek Theta-Probe ML2x kullanarak yönetilen bir sulamanın, cocopeat'te bitki gelişimine olumsuz etkisi olmadığını belirtmişlerdir.

Farina ve Bacci (2005), aynı zamanda sıcaklıktaki değişimlerin algılayıcıların tekrarlanabilirliğini etkilemediğini de belirtmişlerdir. Homojen olmayan topraklarda ve hatalı yerleştirme durumunda Theta-Probe'da birtakım kısıtlamalar gözlenmiştir. Algılayıcı yerleştirilirken, fazla güç uygulanmaması, uçların toprak veya ortam ile tam temas halinde bulunması büyük öneme sahiptir (Pardossi et al., 2009).

Sulama programında kök bölgesi nem algılayıcıları kullanımı çeşitli araştırmacılar tarafından yayınlanmıştır (Pardossi et al., 2009; Pardossi and Incrocci, 2011; van Iersel et al., 2011). Incrocci vd. (2014), zamanlayıcı

tarafından kontrol edilen sulama konusunu, WET (kök bölgesi nem algılayıcısı) ve ET modeli ile kontrol edilen sulama konuları ile kıyasladığında sırasıyla %40 ve %37 su tasarrufu, %73 ve %71 drenaj miktarında azalma gözlemlenmiştir. Zamanlayıcı ile yapılan sulamada ortalama yıkama oranı %42.5 olarak ölçülürken, WET ve ET modeli uygulamalarında sırasıyla, %18.8 ve %20.3 olmuştur.

Algılayıcı ile yürütülen sulamada, bitki büyümesinde ve kalitesine önemli bir etki olmadan, su kullanımında (-21% ile -40% arasında) ve besin maddesi tüketiminde (-39% ile -74% arası) yüksek miktarda azalma gözlemlenmiştir (Incrocci et al., 2014).

2.3. Topraksız Tarımda Domatesin Bitki Su Tüketimi, Verimi ve Su Kullanım Randımanı

Shelford vd. (2004), sulamaların solar radyasyon ve ağırlık (tartılı lizimetre) yöntemine göre programlandığı bir araştırmada, her iki yöntemin de sera topraksız domates yetiştiriciliğinde kullanılabileceği belirtilmektedir. Araştırmada domates bitkisinin mevsimlik su tüketimi günlük ortalaması, her bir yöntem için sırasıyla 1.49 l.gün⁻¹ ve 1.26 l.gün⁻¹ olarak saptanmıştır. Sulamaların solar radyasyona göre programlandığı durumda, yıkama oranı gün içinde sapmalar göstermesine karşın, ağırlık yönteminin kullanıldığı durumda yıkama oranlarında büyük sapmaların görülmediği bildirilmektedir. Aynı araştırmada, solar radyasyon yönteminde gün içindeki sulama aralığı 21 – 62 dakika arasında değişirken, ağırlık yönteminde bu değişim sadece gündüz saatlerinde 73 – 262 dakika, tüm gün içinde 73 – 511 dakika arasında belirlenmiştir.

Lizarraga vd. (2003), topraksız domates yetiştiriciliğinde yetiştirme dönemi boyunca sabit hacim ve aralıklarda yapılan sulamaların bitkinin değişen su tüketimini karşılayacak kadar esnek bir yöntem olmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, bu tip sulama programının özellikle sabah saatlerinde su ve gübre israfına yol açarken, öğle saatlerinde bitkilerin su stresine girmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yerine, her 0.81 MJ.m⁻²'lik güneş radyasyonu değerinde yapılan sulamaların daha uygun olduğu, ancak bunun da akşamları bitki kök bölgesini nemli tutmak amacıyla bir zamanlayıcı kullanılarak desteklenmesine ihtiyaç gösterdiği kanısına varmışlardır.

Bauerle (1984), domates yetiştiriciliğinde bitkiler genç iken günde bir kez yapılan sulamanın yeterli olabileceğini, ancak sonraki dönemlerde daha sık

aralıklarla sulama yapılması gerektiğini bildirmiştir. Özellikle sera içi solar radyasyon miktarının yüksek olduğu günlerde bunun oldukça önemli olduğunu vurgulamıştır.

Roh vd. (1997), tarafından yapılan çalışmada perlit, kayayünü ve karışımları kullanılmış ve sulamaların miktar ve sıklığını kontrol etmek amacıyla solar radyasyon verilerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla sulamalar 10, 20 ve 30 cal.cm^{-2} birikimli radyasyon değerlerinde yapılmıştır. Buna göre, perlit için 10 cal.cm^{-2} , kayayünü ve karışım için de 20 – 30 cal.cm^{-2} solar radyasyon düzeyinin önerilebilir olduğu belirtilmiştir.

Adams (1989), torf torbalarının sulanmasında, güneş radyasyonu değerlerini esas alarak verilmesi gereken suyun %120, %100, %80 ve %60'ı uygulandığında, su gereksiniminin %100'ü karşılanan bitkilerde domates veriminin en yüksek olduğunu bildirmektedir.

Uronen (1995), tarafından torf ve kaya yünü ortamları kullanılarak açık sistem ve kapalı sistemde domates bitkisi yetiştirilmiştir. Açık ve kapalı kaya yünü sisteminde besin çözeltisi el ile kontrol edilen damla sulama sistemi ile verilmiştir. Bunun yanında kapalı sistemde besin çözeltisi resirküle edilmiştir. Birinci yılda su kullanımı (324 – 665 l.bitki⁻¹) takip eden 2 yıldan (229 – 506 l.bitki⁻¹) daha fazla olmuştur. Torfun kullanıldığı sistemde ise besin çözeltisi kapillare ile bitki kök bölgesine uygulanmıştır. Kapalı kaya yünü sisteminde drenaj %50'ye ulaşırken, torftan drenaj alınmamıştır. Açık sistemde torftaki verim 27.2 – 31.2 kg.m^{-2} , kaya yününde ise 26.6 – 32.0 kg.m^{-2} arasında iken, kapalı sistemde torfta 21.2 – 26.9 kg.m^{-2} ve kaya yününde 25.5 – 28.0 kg.m^{-2} olarak bulunmuştur. Verimdeki bu farklılığın kapalı sistemlerde yapılan fazla sulamadan kaynaklanabileceği bildirilmiştir.

Bauerle (1984) ve Uronen (1995), domates bitkisinin ortam kültüründe yetiştirildiği koşullarda günlük bitki su tüketiminin dönem başında 0.2 – 0.4 litre iken olgunlaşma döneminde 2 litreye kadar yükselebileceğini bildirmektedir.

Tüzel vd. (1999a), sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde 4 farklı ortamda yetiştirilen domates bitkisinde sera içine gelen her 1.0, 1.7, 2.4, ve 3.1 MJ.m^{-2} güneş radyasyonu toplam değerinde yapılan sulamaların su tüketimi ve verim üzerine etkilerini belirlemiştir. Araştırmada mevsimlik bitki su tüketimleri sonbahar döneminde 57.2 – 82.5 l.bitki⁻¹, ilkbahar döneminde 107.3 – 148.6

l.bitki⁻¹ arasında; verim değerleri ise, sonbahar döneminde 15.18 – 15.95 kg.m⁻², ilkbahar döneminde 18.36 – 20.38 kg.m⁻² arasında değişmiştir. Buna göre, bitki gelişim dönemi boyunca bitki su tüketim hızına bağlı olarak sık aralıklarla sulama yapılması, bu açıdan da sera içi güneş radyasyonunun 1 MJ.m⁻² düzeyinin özellikle ilkbahar döneminde daha iyi bir uygulama olduğu saptanmıştır. Yıl içinde toplam 30 kg.m⁻²'den daha fazla ürün alınması nedeniyle topraksız yetiştiriciliğin iyi bir sulama ve gübreleme programıyla desteklenmesi durumunda ülkemiz koşullarında yararlı olacağını belirtmişlerdir.

Alarcon vd, (2001), sonbahar döneminde kapalı sistem şeklinde yapılan topraksız domates yetiştiriciliğinde mevsimlik bitki su tüketimini 59.3 l.bitki⁻¹ olarak bildirirken, kapalı sistemin yaklaşık %50 su ve gübre tasarrufu sağladığını vurgulamışlardır.

Tüzel vd. (1999b), tarafından tek ürün domates yetiştiriciliği şeklinde yapılan araştırmada besin çözültisi günde 1, 2 ve 4 kez uygulanacak şekilde 6 değişik ortamla birlikte denemeye alınmıştır. Programlar içinde günde 2 ve 4 kez sulama yapılan konulardan sırasıyla 18.53 kg.m⁻² ve 19.0 kg.m⁻² olmak üzere en yüksek verimler elde edilmiştir.

Cherry domatesin tropik bölgede kurulu serada su tüketimi ve veriminin belirlenmesine yönelik Harmanto vd., (2005) tarafından yürütülen çalışmada su tüketim değerleri, günde 1 kez ve günde 3 kez olmak üzere iki farklı sulama programı ve 4 farklı sulama miktarına (sera dışı iklim parametreleri dikkate alınarak FAO Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanan bitki su tüketimi miktarı, bu miktarın %25, 50 ve 75'i) göre 4.1 ve 5.6 mm.gün⁻¹ (0.3 ve 0.4 l.bitki⁻¹.gün⁻¹) olarak bulunmuştur. Sera dışı iklim parametreleri kullanılarak hesaplanan bitki su tüketimi miktarının %75'inin bitkilere uygulandığı sulama konusundan 0.44 kg.m⁻² ile en yüksek verim alınmıştır. Bitki su tüketimlerinin diğer çalışmalardan elde edilen su tüketimlerine göre daha düşük olması ise seranın tropik iklimde bulunması nedeniyle sera içindeki yüksek oransal neme ve çeşit özelliğine dayandırılmıştır.

Su kullanım randımanı (WUE) terimi farklı şekillerde tanımlanmakla birlikte daha çok bitki gelişimi ile su kullanımı arasındaki ilişkiyi ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır (Gregory, 2004). Genel anlamda randıman boyutsuz bir terimdir. Girdi ile çıktı arasındaki oranı ifade eder ve teorik olarak maksimum bir değere ihtiyaç duymaktadır (Jones, 2004b; Gregory, 2004). Bununla birlikte

tarımsal amaçlı olarak, yaprak ve bitki gibi farklı ölçeklerde farklı amaçlar için tanımlanabilir. Yaprak ölçeğinde, su kullanım randımanı anlık olarak belirlenmektedir. Bu amaçla gaz değişimi ölçümleri kullanılmakta ve karbon asimilasyonunun transpirasyona oranı şeklinde ifade edilmektedir. Bu oran buhar basıncı açığına (VPD) bağımlı olduğundan, farklı buhar basıncı değerlerinde hesaplamalar yapılmak istendiğinde gerçek su kullanım randımanı olarak tanımlanan ve yine anlık değerlere bağlı olan karbon asimilasyonunun stoma iletkenliğine oranı ($A \cdot g_s^{-1}$) kullanılmaktadır.

Bitki ölçeğinde, su kullanım randımanı yetiştirme sezonu boyunca belirlenmekte ve belirli bir süre içinde bitkideki net kuru madde artışının aynı süre içindeki su kaybına oranı olarak tanımlanmaktadır. Ancak, uygulama alanlarına bağlı olarak kuru madde ve su kaybı değişik şekillerde ifade edilebildiğinden, bitki ölçekli su kullanım randımanı fizyolojik/biyolojik ve agronomik anlamda farklı şekillerde kullanılmaktadır. Fizyolojik/biyolojik açıdan genellikle transpirasyonla kaybedilen birim su miktarına karşılık üretilen toplam biyomas veya gövde biyomas miktarı (transpirasyon randımanı) olarak ifade edilirken, agronomik açıdan evapotranspirasyon ya da transpirasyonla kaybedilen su miktarına karşılık gelen ekonomik verim olarak tanımlanmaktadır (Chaves et al., 2004).

Bazı durumlarda üretilen biyomas miktarları glikoz eşdeğeri şeklinde de verilmektedir. Glikoz eşdeğeri daha çok farklı kimyasal içeriğe sahip bitkilerin su kullanım randımanlarının karşılaştırılmasında kullanılmaktadır (Jones, 2004b).

Su kullanım randımanı için kullanılan diğer bir agronomik ifade de elde edilen verime karşılık kullanılan sulama suyu miktarı olarak bilinen sulama suyu kullanım randımanıdır. Bu terim, farklı bitki yetiştirme sistemlerinin izlenmesi ve karşılaştırılması açısından önemlidir. Bitkiler arasındaki farklılıklar belirlenmek istendiğinde ise yetiştirme sezonu süresince hesaplanan su kullanım randımanına buhar basıncı açığının etkisini de yansıtmak gerekmektedir. Bu amaçla farklı iklim koşullarında elde edilen değerler ortalama buhar basıncı açığı ile düzeltilerek bitkiler arasında daha güvenli karşılaştırmalar yapmak mümkün olmaktadır (Chaves et al., 2004).

Tarla domates yetiştiriciliğinde su kullanım randımanları incelendiğinde üretimde kullanılan su miktarının çok yüksek boyutlarda olduğu görülmektedir. Ortalama olarak, açıkta yetiştirilen 1 kg domates için 200 ± 100 litre su

kullanılmaktadır. Günümüzde İsrail’de bu değer damla sulama ile 60 l.kg^{-1} ’a düşürülürken, Hollanda seralarında ise 20 l.kg^{-1} ’dır. Serayı tamamen kapalı bir sistem haline getirip buharlaşan suyu tekrar geri kazanarak bu değeri teorik limit olan 1.5 l.kg^{-1} ’a kadar düşürmek olasıdır (van Kooten et al., 2008).

Pardossi vd. (2004), bazı Akdeniz ülkelerinde farklı iklim koşullarında farklı sistemler kullanılarak yetiştirilen domates bitkisinin su kullanım randımanının (WUE) sera içi koşullarda açıkta yetiştiriciliğe göre daha yüksek olduğunu bildirmektedir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Farklı İklim Koşullarında, Farklı Yetiştiricilik Sistemleri Kullanılarak Yetiştirilen Domates Bitkisinin Su Kullanım Randımanı (kg.m^{-3}) (Pardossi vd., 2004).

Yetiştiricilik Şekli	Ülke	Su Kullanım Randımanı (kg.m^{-3})
Tarla Koşulları	İsrail (Toprak)	17
	Fransa (Toprak)	14
Isıtılmayan Plastik Örtülü Sera	İspanya (Toprak)	25
	Fransa (Toprak)	24
	İsrail (Toprak)	33
	İtalya (Açık sistem)	23
	İtalya (Kapalı sistem)	47
İklim Kontrollü Topraksız Tarım Serası	Fransa (Açık sistem)	39
	Hollanda (Açık sistem)	45
	Hollanda (Kapalı sistem)	66

Tüzel ve Meriç (2001), ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde sera topraksız domates yetiştiriciliğinde açık sistem, kapalı sistem ve besleyici film tekniği (NFT) ’nde bitki su tüketimi ve su kullanım randımanlarını belirlemişlerdir. Buna göre, en yüksek su tüketimi sonbahar ve ilkbaharda NFT ’den elde edilirken, sonbaharda açık ve kapalı sistemde %10 ve %31; ilkbaharda ise %11 ve %34 daha az su tüketimi meydana gelmiştir. Su kullanım randımanları ise, açık ve kapalı sistemde sonbahar döneminde $81.6 - 54.3 \text{ kg.m}^{-3}$, ilkbahar döneminde ise $50.3 - 40.4 \text{ kg.m}^{-3}$ arasında olmuştur. Kapalı sistemde açık sisteme, sonbaharda ise ilkbahara göre daha yüksek su kullanım randımanları elde edilmiştir.

Akat ve Tüzel (2001), sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde, açık ve kapalı sistemde yetiştirilen domates bitkisinin 4 farklı yetiştirme ortamında su kullanım

randımanını irdelenmiştir. Su kullanım randımanları en yüksek ve en düşük değerler olarak; sonbaharda açık sistemde 51.77 ve 45.80 kg.m⁻³, kapalı sistemde 62.46 ve 56.27 kg.m⁻³; ilkbaharda açık sistemde, 22.97 ve 21.05 kg.m⁻³ kapalı sistemde 29.38 ve 26.44 kg.m⁻³ olarak bulunmuştur. Ortalama değerler olarak, sonbahar dönemine ilişkin su kullanım randımanları ilkbahar dönemine göre %109, kapalı sisteme ilişkin su kullanım randımanları açık sisteme göre %23 daha yüksek belirlenmiştir.

2.4. Bitki Su Tüketimi ve Tahminlenmesi

2.4.1. Bitki su tüketimi

Toprak yüzeyinden buharlaşma (evaporasyon) ile bitkide terleme (transpirasyon) yoluyla su kaybının olduğu iki sürecin kombinasyonu, bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon, ET) olarak ifade edilir (Allen et al., 1998).

Sıvı moleküllerinin buhar haline dönüşmesi için bir enerji gereklidir. Direkt solar radyasyon ve az da olsa çevrenin hava sıcaklığı bu enerjinin kaynağıdır. Buharlaşmanın gerçekleştiği yüzeyden su buharı çıkarılmasında en önemli etken, buharlaşma yüzeyinin ve çevreleyen atmosferin buhar basınçları arasındaki farktır. Buharlaşma devam ettikçe, çevreleyen atmosfer doymun hale gelmeye başlar ve zaman içerisinde su buharı transferi durma noktasına gelir. Su buharınca doymun havanın, kuru hava ile yer değiştirmesi rüzgar hızına bağlıdır. Dolayısıyla, bitki su tüketimi süreci incelenirken, solar radyasyon, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı dikkate alınması gereken iklim parametreleridir (Allen et al., 1998).

Buharlaşma yüzeyi toprak olduğunda, bitki örtüsü tarafından gölgelenme oranı ve buharlaşma yüzeyindeki su miktarı, buharlaşma sürecini etkileyen diğer faktörler olmaktadır. Sık yağmurlar, sulama ve yüzlek taban suyundan kaynaklanan yükselmeler toprak yüzeyinin su kaynaklarıdır. Bu su kaynakları, buharlaşma ihtiyacını karşıladığında, buharlaşma miktarı sadece iklim parametrelerine bağlıdır. Aksi durumda ise buharlaşma hızlıca azalır ve birkaç gün içerisinde tamamen durabilir (Allen et al., 1998).

Transpirasyon, bitki dokusu içerisinde bulunan suyun buharlaşarak atmosfere verilmesidir ve bitkiler bu buharı stomaları aracılığı ile atmosfere iletir. Stomalar, bitki yapraklarında bulunan, açılıp kapanan, küçük haznelerdir. Su, besin maddeleri ile birlikte, bitki kökleri tarafından alınır ve bitkiye iletilir.

Buharlaşma yaprakta meydana gelir ve atmosfere buhar verililişi stomalar tarafından kontrol edilir. Bitki tarafından alınan suyun çok büyük bir kısmı terleme yoluyla atmosfere iletilirken geriye kalan çok küçük bir kısım su bitki tarafından kullanılır (Allen et al., 1998).

Transpirasyon, buharlaşma gibi, buhar basıncı farklılığı, rüzgar ve enerji kaynağına bağlıdır. Transpirasyon sürecini incelerken, radyasyon, sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar hızının yanı sıra kök bölgesi nem miktarı, suyun kökler tarafından alınabilirliği, köklerde tıkanma ve toprak suyu tuzluluğu da dikkate alınmalıdır. Transpirasyon oranı aynı zamanda bitki karakteristik özellikleri, çevresel etkiler ve yetiştirme tekniklerinden de etkilenir (Allen et al., 1998).

Buharlaşma ve terleme simultane olarak meydana gelir ve bu ikisini birbirinden ayırmanın kolay bir yolu yoktur. Toprak yüzeyinde suyun bulunabilirliği dışında, bitki yetiştirilen bir topraktaki buharlaşma, büyük oranda yüzeye ulaşan solar radyasyon miktarına bağlıdır. Bu miktar bitkinin büyüme dönemi süresince düşer. Dikim döneminde ET'nin %100' buharlaşma kaynaklıyken bitki büyümesini tamamlayıp toprak yüzeyini iyice rttğnde, ET'nin %90'ı terleme kaynaklı olur (Allen et al., 1998).

Bitki su tketimeinin doğrudan ölçülmesi zorludur. Özel ekipmanlar ile bazı fiziksel parametrelerin hassas ölçümü veya toprak su dengesinin ölçüldüğü lizimetreler gereklidir. Bu yöntemler, pahalı ve zorlu olmanın yanı sıra eğitilmiş bir personel de gerektirir. Sıradan lmler için uygun olmasa da ET tahminlerinin doğruluğunun değerlendirilmesi için gereklidir (Allen et al., 1998).

Suyun buharlaşması, hissedilebilir ısı veya radyant enerji formunda, yüksek miktarda enerji gerektirir. Bu nedenle, evapotranspirasyon süreci, bitki yüzeyindeki enerji değişimi ile yönetilir ve kullanılabilir enerji ile sınırlıdır. Bu sınırlama nedeniyle, bitki su tüketimi, enerji değişimi prensibi ile belirlenebilir. Belirli bir anda, belirli bir yzeeye gelen enerji, aynı anda yüzeyi terkeden enerjiye eşittir (Allen et al., 1998).

Enerji dengesi eşitliği yazılırken tüm akılar dikkate alınmalıdır. Buharlaşma yüzeyi için enerji dengesi eşitliği řu şekilde yazılabilir:

$$R_n - G - \lambda ET - H = 0 \quad (10)$$

Eşitlikte R_n net radyasyon, H hissedilebilir ısı, G toprak ısı akısı ve λET gizli ısı akısıdır.

Eşitlik bu dört değişken ile sınırlandırılmıştır ve bitkide depolanan veya salınan ısı, metabolik aktivitelerde kullanılan enerji gibi unsurlar dahil edilmemiştir. Bu enerjiler günlük net radyasyonun çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır ve diğer dört faktör ile kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeydedir (Allen et al., 1998).

Bitki su tüketimi tahminlenmesinde kullanılan bir diğer yöntem ise kütle transferi yöntemidir. Bu yöntem, geniş homojen bir yüzeyde, küçük hava paketlerinin (eddy) dikey hareketini inceler. Bu paketler, maddeyi (su buharı) ve enerjiyi (ısı, momentum) buharlaşan yüzeye getirir ve götürür. Denge koşulları varsayıldığında, bu paketlerin su buharı iletim katsayısı, ısı ve momentum iletim katsayısı ile orantılıdır. Bitki su tüketimi, hava sıcaklığı ve su buharının, dikey bölmeleri izlenerek, Bowen oranı (Bowen Ratio) ile hesaplanabilir (Allen et al., 1998).

Diğer doğrudan ölçüm yöntemleri de rüzgar hızı ve su buharının katmanlarını kullanır. Bu ve eddy kovaryans gibi yöntemler, buhar basıncı, sıcaklık ve rüzgar hızı gibi parametrelerin farklı seviyelerde ve hassas ölçümlerine ihtiyaç duyar. Bu nedenle, bu tip yöntemler sadece bilimsel araştırmalarda kullanılır (Allen et al., 1998).

Bitki su tüketimi, toprak su dengesinin çeşitli unsurlarını ölçerek de belirlenebilir. Bu yöntemde, belirli bir zamanda, bitki kök bölgesine giren ve çıkan sular belirlenir. Sulama (I), yağış (P) ve kapiller yükselme (CR), denklemin, kök bölgesine su ekleyen kısmını oluşturur. Yüzey akış (RO) ve derine sızım (DP) ise su çıkışını temsil eder. Kök bölgesinde suyun yatay hareketinden dolayı su kaybı (SF_{out}) veya kazancı (SF_{in}) olabilir. Yüksek eğim şartları haricinde, suyun yatay hareketi ile kazanç/kayıp çok küçüktür ve genellikle ihmal edilir. Bu zaman aralığında toprak nemindeki azalmadan (ΔSW) yararlanılarak bitki su tüketimi (ET) elde edilebilir (Allen et al., 1998).

$$ET = I + P - RO - DP + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW \quad (11)$$

Yüzeyaltı akış, derine sızım ve kapiller yükselme gibi unsurların ölçümü zorludur ve kısa dönemler için kullanılamaz. Toprak su dengesi yöntemi ile bitki

su tüketimi değerleri, genellikle haftalık veya 10 günlük periyotlar için belirlenir (Allen et al., 1998).

Bitki kök bölgesi, çevresinden izole edilerek, toprak su dengesi yöntemindeki unsurlar yüksek doğrulukla belirlenebilir. Bu uygulama, bozulmuş veya bozulmamış toprak ile doldurulan tanklarda (lizimetre) bitki yetiştirilmesi ile yapılır. Hassas tartılı lizimetrelerde, ağırlık değişimi ölçülerek, kısa zaman aralıkları (saatlik) için yüksek hassasiyette bitki su tüketimi değerleri belirlenebilir. Tartılı olmayan lizimetrelerde ise, çıkan drenaj miktarı ve verilen su arasındaki farktan bitki su tüketimi belirlenebilir (Allen et al., 1998).

Doğru bir ölçüm için lizimetre içerisinde ve çevresindeki bitki gelişiminin (boy ve yaprak alanı) benzer olması gereklidir. Lizimetrelerin kurulumu zorlu ve pahalıdır. Aynı zamanda işletme ve bakım maliyetleri de yüksektir. Bu nedenlerle lizimetrelerin kullanımı da bilimsel araştırmalar ile sınırlıdır (Allen et al., 1998).

Doğrudan ölçümlerle belirlenmesindeki zorluklar nedeniyle, bitki su tüketimi, genellikle iklim parametrelerinden hesaplanmaktadır. Bitki veya referans bitki su tüketiminin belirlenmesi için çok sayıda ampirik veya yarı ampirik denklem üretilmiştir (Allen et al., 1998).

Bu denklemlerin performansını analiz etmek için çok sayıda araştırmacı, çeşitli yerler için çeşitli denklemler ile çalışmalar yürütmüştür. 1990 yılının Mayıs ayında düzenlenen Uzman Konsültasyonu sonucunda, FAO Penman-Monteith yöntemi, referans bitki su tüketimi (ET_0) hesaplanmasında standart yöntem olarak kabul edilmiştir (Allen et al., 1998).

2.4.2. Referans bitki su tüketimi

Referans bitki yüzeyinden meydana gelen buharlaşma ve terleme, referans bitki su tüketimi (ET_0) olarak tanımlanır. Referans bitki, 0.12 m yüksekliğinde, yüzey direnci 70 s.m^{-1} ve albedosu 0.23 olan, iyi sulanan ve toprak yüzeyini tamamen örten çim bitkisidir. Sabit yüzey direnci (70 s.m^{-1}), haftalık aralıklarla sulanan ve kısmen kuruyan toprak yüzeyini ifade eder (Allen et al., 1998).

Referans bitki su tüketimi, iklim verileri kullanılarak hesaplanır. FAO Penman-Monteith yöntemi, radyasyon, sıcaklık, bağıl nem ve rüzgar hızı

verilerine ihtiyaç duyar. FAO Penman-Monteith eşitliği aşağıdaki gibidir (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad (12)$$

Eşitlikte

- ET_o : Referans bitki su tüketimi (mm.gün^{-1}),
- R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$),
- G : Toprak ısı değişim yoğunluğu ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$),
- T : 2m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$),
- u_2 : 2m yükseklikteki rüzgar hızı (m.s^{-1}),
- e_s : Doygun buhar basıncı (kPa),
- e_a : Gerçek buhar basıncı (kPa),
- $e_s - e_a$: Buhar basıncı açığı (VPD, kPa),
- Δ : Buhar basıncı eğrisi eğimi ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$),
- γ : Psikometrik sabit ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Genellikle, 2 m yükseklikteki rüzgar hızı $u_2 \geq 0.5 \text{ m.s}^{-1}$ olarak sınırlandırılmalıdır. Havanın durgun olduğu yüzeylerde buhar değişimini teşvik için havanın kaldırma kuvvetini ve sınır katmanı dengesizliğini hesaba katmak amacıyla bu sınırlandırma gereklidir. Rüzgar hızının düşük olduğu ve sıcak havanın kaldırma gücünün yüzeyde hava değişimine sebep olduğu koşullarda bu etki ($u_2 \geq 0.5 \text{ m.s}^{-1}$) gözlenir (Allen et al., 1998).

Sera gibi, rüzgar hızının çok düşük olduğu koşullarda $u_2 \geq 0.5 \text{ m.s}^{-1}$ sınırlandırmasının kabulü, referans bitki su tüketimi eşitliğinin doğruluğunu artırır.

Amerika’da Sulama Birliği (IA; Irrigation Association), Amerikan Çevre Mühendisleri Birliği’nin (ASCE; American Society of Civil Engineers) Çevre ve Su Kaynakları Enstitüsü’nden (EWRI; Enviromental and Water Resources Institute) tarım ve peyzaj alanlarında kullanıma uygun bir standart referans bitki su tüketimi eşitliği geliştirmesini istemiştir. Bunun üzerine, 1999 yılının Mayıs ayında kurulan EWRI komitesi, iki farklı yüzey için (kısa ve uzun bitki örtüsü; çim ve alfalfa) FAO Penman-Monteith eşitliğini güncellemiştir (ASCE-EWRI, 2005).

EWRI komitesi tarafından kısa bitki örtüsü (ET_{os}) ve uzun bitki örtüsü (ET_{rs}) için önerilen referans bitki su tüketimi eşitliği aşağıdaki gibidir (ASCE-EWRI, 2005):

$$ET_{sz} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (13)$$

Eşitlikte

ET_{sz} : Kısa veya uzun bitki örtüsü için standart referans bitki su tüketimi (mm.d^{-1} veya mm.h^{-1}),

C_n : Bitki örtüsü tipine ve hesap zaman aralığına bağlı pay sabiti ($\text{K.mm.s}^3.\text{Mg}^{-1}.\text{d}^{-1}$ veya $\text{K.mm.s}^3.\text{Mg}^{-1}.\text{h}^{-1}$),

C_d : Bitki örtüsü tipine ve hesap zaman aralığına bağlı payda sabiti (s.m^{-1}).

ASCE Penman-Monteith (ASCE-PM) eşitliğine ilişkin katsayılar (Çizelge 2.5) ve bitki örtüsü standartları (Çizelge 2.6) aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 2.5. ASCE-PM eşitliğinde kullanılan sabitlerin değerleri ve birimler

Hesap Zaman Aralığı	Kısa Referans Bitki, ET_{os}		Uzun Referans Bitki, ET_{rs}		Birimler (ET_{os} ve ET_{rs})	Birimler (R_n ve G)
	C_n	C_d	C_n	C_d		
Günlük	900	0.34	1600	0.38	mm.d^{-1}	$\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$
Saatlik, Gündüz	37	0.24	66	0.25	mm.h^{-1}	$\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$
Saatlik, Gece	37	0.96	66	1.7	mm.h^{-1}	$\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$

Çizelge 2.6. ASCE-PM eşitliğinde tanımlanan standartlar

Terim	ET_{os}	ET_{rs}
Referans bitki yüksekliği, h	0.12 m	0.50 m
Sıcaklık ve nem ölçümleri yüksekliği, z_h	1.5-2.5 m	1.5-2.5 m
Rüzgar hızı ölçüm yüksekliği, z_w	2.0 m	2.0 m
Buharlaşma gizli ısısı	2.45 MJ.kg^{-1}	2.45 MJ.kg^{-1}
Yüzey direnci, günlük	70 s.m^{-1}	45 s.m^{-1}
Yüzey direnci, gündüz	50 s.m^{-1}	30 s.m^{-1}
Yüzey direnci, gece	200 s.m^{-1}	200 s.m^{-1}

ABD’de 49 farklı meteoroloji istasyonunda yapılan yoğun testler sonucunda, ASCE-PM eşitliği güvenilir bulunmuş ve kullanımı tavsiye edilmiştir (ASCE-EWRI, 2005).

Solar radyasyon, bağıl nem ve/veya rüzgar hızı verilerinin eksik olduğu koşulda referans bitki su tüketimi hesaplamak için Hargreaves eşitliği (Hargreaves and Samani, 1985) önerilmektedir (Allen et al., 1998). Hargreaves eşitliği sadece günlük hava sıcaklığı ölçümlerine ve hesaplanan extraterrestrial radyasyona (R_a , atmosfer yüzeyine gelen radyasyon) ihtiyaç duyar (Droogers and Allen 2002).

$$ET_o = 0.0023(T_{ort} + 17.8)(T_{maks} - T_{min})^{0.5} R_a \quad (14)$$

Hargreaves ve Allen (2003), sıcaklık değişimi, rüzgar hızı ve bulutluluk durumunun etkisi ile Hargreaves eşitliği sonuçlarının haftalık veya daha uzun süreli tahminlerde kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

Hargreaves eşitliği, yüksek rüzgar ($u_2 \geq 3 \text{ m.s}^{-1}$) koşullarında yüksek tahminlerde bulunurken, yüksek bağıl nem koşullarında da düşük tahminlerde bulunmaktadır (Allen et al., 1998).

Samani (2004), yaptığı araştırma sonucunda eşitliğin farklı iklim koşullarında kullanımı için kalibre edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Hargreaves eşitliğinin kalibrasyonu genellikle FAO-PM eşitliği ile karşılaştırılarak elde edilen katsayılar (Eşitlik 15: a, b) ile yapılmaktadır (Allen et al., 1998).

$$ET_{o, \text{HG Kal.}} = a + b \cdot ET_{o, \text{HG}} \quad (15)$$

2.4.3. Bitki Katsayısı (K_c)

Bitki katsayısı terimi, ilk olarak Jensen (1968) tarafından referans bitki su tüketimi ile sulama programı yapılması için tanımlanmıştır.

Bitki katsayısı, K_c , gerçek bitki su tüketiminin (ET_c), referans bitki su tüketimine (ET_o) oranıdır ve deneysel olarak her iki parametrenin hassas bir şekilde belirlenmesi sonucunda hesaplanır. Bitki katsayısı, yetiştirilen bitkiyi, referans bitkiden ayıran dört temel karakteristiği temsil eder (Allen et al., 1998). Bu karakteristik özellikler:

- Bitki yüksekliği, FAO-PM eşitliğindeki aerodinamik direnç (r_a) değişkenine etki eder. Bitkiden atmosfere buharın transferinde etkilidir. FAO-PM eşitliğinde iki farklı şekilde temsil edilir.

- Bitki-toprak yüzeyinin albedosu (yansımaları), yüzeyin net radyasyonuna direk etkisi vardır.
- Kanopi direnci, yaprak alanı (stoma sayısı), yaprağın yaşı, durumu ve stoma kontrolü ile ilişkilidir. Kanopi direnci, yüzey direncini (r_s) etkiler.
- Toprak yüzeyinden buharlaşma, toprak yüzeyinin nem içeriği ve bitki tarafından örtülme oranı, yüzey direncini (r_s) etkiler. Islanma sonrası toprak yüzeyinden buhar transferi yüksektir. FAO-PM eşitliğindeki yüzey direnci (r_s), kanopi direnci ve toprak yüzeyi direncinin birleşik ifadesidir (Allen et al., 1998).

Sonuç olarak, farklı bitkilerin, bitki katsayısı değerleri de farklı olmaktadır. Bitkinin gelişim dönemi boyunca değişen karakteristik özellikleri de bitki katsayısı değerinin, bitki gelişim dönemine göre değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. Buna ek olarak, buharlaşmanın, bitki su tüketimine dahil bir etmen olması nedeniyle, toprak yüzeyindeki buharlaşmaya etki eden faktörler de bitki katsayısında değişkenliğe neden olmaktadır (Allen et al., 1998). Bitki katsayısına etki eden faktörler aşağıdaki gibidir:

Bitki türü: albedo, bitki boyu, aerodinamik özellikler, yaprak ve stoma özelliklerinin etkisi ile yetişkin ve iyi sulanan bitkilerin bitki su tüketimi farklılık gösterir. Bitkilerin dikim aralığı ve sıklığı da bitki katsayısına etki eder (Allen et al., 1998).

İklim: rüzgardaki değişimler, özellikle uzun bitkiler için, bitkinin aerodinamik direncinde, dolayısıyla, bitki katsayısında değişimlere neden olur. Rüzgar hızındaki artış ve bağıl nemdeki düşüş, bitki katsayısı değerinde yükselmeye sebep olacaktır. Kurak ve rüzgarlı bölgelerde, K_c yüksek olurken, nemli ve rüzgar hızı düşük olan bölgelerde, K_c düşük olur (Allen et al., 1998).

Toprak yüzeyinden buharlaşma: toprak yüzeyini tamamen örten bitkilerde, bitki katsayısı, buharlaşmanın payı düşük olduğu için büyük ölçüde transpirasyon tarafından belirlenir. Bitkinin küçük veya toprak yüzeyini açık bıraktığı koşullarda, yağış veya sulama sonrası, buharlaşmanın, bitki su tüketimi ve K_c üzerindeki etkisi çok belirgin olur. Bu koşulda toprak yüzeyinin ıslatılma sıklığı K_c değerini yüksek oranda etkiler (Allen et al., 1998).

Bitki gelişim dönemi: bitki büyüdükçe, toprak yüzeyini örtme oranı, bitki boyu ve yaprak alanı değişir. Gelişim dönemlerindeki farklı bitki su tüketimleri nedeniyle bitki katsayısı da değişkenlik gösterir. Yetiştirme dönemleri; başlangıç (dikim), gelişim, orta sezon ve hasat olmak üzere 4'e ayrılabilir (Allen et al., 1998).

Buharlaştırma ve terlemedeki farkların etkisi tek bir katsayı (K_c) ile ifade edilebileceği gibi ayrı olarak değerlendirilmesi de mümkündür. Tekil K_c yönteminde bitkide terleme ile toprakta buharlaşmanın birlikte etkisi ifade edilir. Çift K_c yönteminde ise, bitkide terlemeyi, bazal bitki katsayısı (K_{cb}), toprak yüzeyinden buharlaşmayı ise buharlaşma katsayısı (K_e) temsil eder. Yöntem seçimi, ihtiyaç duyulan hassasiyete, amaca ve mevcut iklim verilerine bağlı olarak yapılır (Allen et al., 1998).

Tarlada yetiştirilen bitkilerde, bitki katsayısı, büyük oranda bitkinin toprak yüzeyini örtme oranına bağlıdır. Örneğin, domates bitkisi için başlangıç dönemi bitki katsayısı $K_c=0.2$ iken gelişimini tamamladığında $K_c=1.1$ seviyesine gelmektedir (Snyder et al., 1987).

Örtüaltında yetiştirilen bazı bitkilerin kanopi gelişimi ve üretim şekli açık alan yetiştiriciliğinden farklıdır. Bitki aralığında, bitki boyunda (askıya almak gibi işlemler ile) ve aerodinamik özelliklerinde oluşan farklılıklar, bitki katsayısını değiştirebilir. Buna ek olarak, sera içerisindeki difüz radyasyon oranı da sera dışından yüksektir (Baille, 1999). Bu sebeple, açıkta yetiştiricilikte elde edilen, standart K_c değerlerinin örtüaltı yetiştiriciliğinde kullanılması uygun değildir (Orgaz et al., 2005).

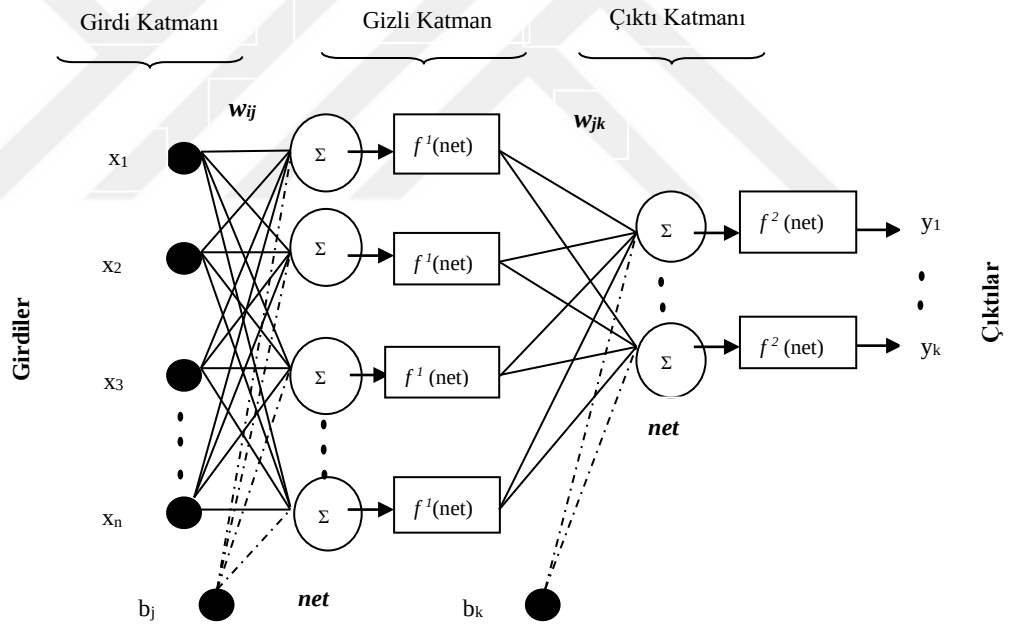
Bacci vd (2011), yaptıkları çalışmada, saksıda yetiştirdikleri farklı odunsu süs bitkileri için bitki katsayılarının 0.18-1.55 arasında değişiklik gösterdiğini bulmuşlardır. Saksı yetiştiriciliği için literatürde odunsu süs bitkileri K_c değerlerinin <1 ve >5 olabileceği söylenmiştir (Bacci et al., 2008; García-Navarro et al., 2004; Scuch and Burger, 1997).

Saksı yetiştiriciliğinde bitki katsayısı değerlerinin daha yüksek olmasının nedeni buharlaşma yüzeyi ile kanopinin değişken yüzey alanıdır (Burger et al., 1987). Saksı yetiştiriciliğinde bitki aksamının, saksı alanını aşması normaldir. Küçük saksıdaki büyük bitkinin, yüksek bitki su tüketimi sonucunda yüksek K_c değeri elde edilir (Scuch and Burger, 1997.)

Bitki katsayısı konsepti, saksı yetiştiriciliği ile uyuşmayan bazı durumlara göre geliştirildiği için bu alanda kullanımı sorgulanabilir. Annandale ve Stockle (1994) “evrensel olarak geçerli” bitki katsayısı değerlerinin olmadığını ve K_c değerlerindeki dengesizliğin bitki boyundaki farklılıklar ile arttığını ifade etmişlerdir (Scuch and Burger, 1997.)

2.4.4. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), sinir sisteminin özelliklerinden (bilgi türetebilme, tanımlama, tahmin etme vb.) esinlenerek geliştirilen bilgisayar sistemleridir (Skapura, 1996; Haykin, 1994). Yapay sinir ağları biyolojik sinir sistemlerinde olduğu gibi hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşturulmakta ve genel olarak yapay sinir ağı mimarisi üç katman halinde tanımlanmaktadır (Şekil 2.4). İlk katman giriş katmanı; son katman ise çıkış katmanıdır. Aradaki diğer katmanlar ise gizli katman ya da ara katman olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.4. Yapay sinir ağı mimarisi (Serbeş, 2010).

Şekil 2.4 incelendiğinde bir yapay sinir ağı modelinde katmanların yanı sıra; girdiler, ağırlıklar (w), girdi aktivasyon fonksiyonu [$f^1(\text{net})$], çıktı aktivasyon fonksiyonu [$f^2(\text{net})$] ve çıktılar olmak üzere 5 temel eleman bulunmaktadır. Ağın girdi ve çıktı tabakasında probleme ait veriler bulunmaktadır. Girdi ve çıktı tabakalarındaki hücre sayıları problemde tanımlanan bilgilere bağlı değişkenlik göstermektedir. Girdi tabakasındaki bilgilerin sistem içindeki etkinlikleri ve

önemi ise ağırlıklarla sağlanmaktadır. Bilgi, bu ağırlıklarda saklanmakta olup; ağın zekası ve öğrenme performansı ağırlık değerlerinin doğru belirlenmesine bağlı olmaktadır. Ağırlıklı girdilerin toplamı olarak bulunan net fonksiyonu ile ise girdilerin hücreler üzerindeki etkileri ifade edilmektedir (Serbeş, 2010).

Bir ağda birden fazla ara katman olabilmektedir. Bir yapay sinir ağında kaç tane ara katman kullanılacağı ve her bir ara katmanda kaç sinir hücresi olacağı ise bugüne kadar belirlenememiş; probleme göre değişen bu duruma deneme-yanılma yoluyla çözüm getirilebilmiştir (Haykin, 1994; Öztemel, 2003).

Aktivasyon fonksiyonu doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (non-lineer) özellikte olabilmektedir. Uygulamalarda genellikle tanım aralığı yaklaşık 0-1 arasında olan sigmoid (logistic) adı verilen aktivasyon fonksiyonu kullanılmasıyla beraber, hiperbolik tanjant, linear, step gibi farklı fonksiyonlar da kullanılabilmektedir (Haykin, 1994; Ham ve Kostanic, 2001; Cıgızoğlu, 2001; Alp ve Cıgızoğlu, 2005).

Yapay sinir ağlarının mimarisi kadar ağın eğitilmesinde, yani ağın öğrenmesinde kullanılacak yöntem de çok önemli olmakta ve bu aşamada ağın girdilere karşılık üretilmesi gereken çıktıları öğrenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda birçok yapay sinir ağı algoritması geliştirilmesine karşın uygulamalarda sıklıkla kullanılan algoritmalar ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı algoritmalarıdır. Algoritmanın bu ismi almasının temel sebebi ise algoritmanın işleyişinin ileriye doğru hesaplama ve geriye doğru hesaplama olmak üzere iki aşamada gerçekleşmesidir (Serbeş, 2010).

İleri doğru hesaplama aşamasına, girdi katmanındaki girdilerin ağa sunulması ile başlanmaktadır. Gizli katmandaki her hücre girdi katmanından gelen girdileri bağlantı ağırlıkları ile almakta ve gizli katmandaki hücrelere gelen net girdiler hesaplanmaktadır. Bu net girdi değerlerinin belirlenen bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle gizli katman elemanlarının çıktıları hesaplanabilmektedir. Bu işlem tüm gizli katman ve çıktı katman elemanları için tekrarlanmakta; çıktı katmanının tüm çıktıları belirlendiğinde ileri hesaplama aşaması tamamlanmaktadır (Serbeş, 2010).

Geriye doğru hesaplama aşamasında ise ağın ürettiği çıktı değerleri, beklenen çıktı değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Çıktı ile beklenen değerler arasındaki fark yapay sinir ağı modellerinde hata olarak adlandırılmakta ve geriye

yayılım aşamasında bu hatanın kabul edilebilir düzeye indirilebilmesi ağıın ağırlık ve eşik (bias) değerlerinin iteratif olarak değiştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Böylece başlangıçta rastgele atanan ağıın ağırlıkları, hata istenen sınırlara ulaşınca kadar güncellenmektedir. Bu çok tabakalı yapay sinir ağı modellerinde genellikle en küçük hata kareler yöntemine dayalı genelleştirilmiş delta öğrenme kuralı ile gerçekleştirilmektedir (Rumelhart et al., 1986).

Bu kapsamda, belirlenen performans fonksiyonunu en aza indirecek ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı algoritmaları geliştirilmiş ve uygulamalarda kullanılmıştır. Klasik geriye yayılım algoritması, Momentum terimli geriye yayılım algoritması gibi deneme yanılma yöntemini kullanan ağlar bunlardan sadece bazılarıdır. Bu klasik algoritmaların yanı sıra sayısal optimizasyon yöntemlerini kullanan ve çözümlemelerde hızlı yakınsama sağlayan Newton ve Levenberg-Marquardt algoritmaları da sıklıkla tercih edilir hale gelmiştir (Hagan and Menhaj, 1994; Bolat ve Kalenderli, 2003; Okkan, 2009; Serbeş, 2010).

Sinir ağları için “en iyi” denebilecek bir eğitim algoritması yoktur. Eğitim algoritması çözümü aranan problemin karakteristiğine göre seçilmelidir. Az sayıda ağırlık (<300) içeren bir ağ için Levenberg-Marquardt (LVM) etkilidir. LVM, diğer eğitim algoritmalarından daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşır fakat hafıza gereksinimi, ağırlık sayısının karesi ile doğru orantılıdır. Ağda ortalama miktarda (<500) ağırlık bulunduğunda Quasi-Newton (QN) ve Limited Memory Quasi-Newton (LMQN) algoritmaları da etkilidir. Fakat hafıza gereksinimleri, LVM gibi, ağırlık sayısının karesi ile orantılıdır. Çok sayıda ağırlık bulunan sinir ağlarında Conjugate Gradient Descent (CGD) eğitim algoritması önerilir. CGD genel kullanıma yönelik, ikinci nesil algoritmalar arasında hızı ile öne çıkan bir eğitim algoritmasıdır. Hessian matrisini hesaplama ve saklama gereği duymayan bir algoritmadır ve hafıza gereksinimi, ağıın ağırlık syısı ile orantılıdır. (Anonim, 2005).

Bununla birlikte yapay sinir ağı modellerinde ağıın genelleyebilme yeteneğinin değerlendirilebilmesi açısından ağıın girdi ve çıktı değerlerinin hepsi kullanılmamakta, belli bir kısmı eğitim, belli bir kısmı ise test safhalarında değerlendirilmektedir. Böylece hazırlanan yapay sinir ağı modelinin başarısı sınanabilmektedir (Haykin, 1994; Ham ve Kostanic, 2001; Mandic ve Chambers, 2001).

İklim faktörlerinden yararlanarak bölgesel referans bitki su tüketimini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, bölgede bulunan 40 kurak, 60 yarı kurak, 35 yarı nemli bölgedeki 135 meteoroloji istasyonundan elde edilen hava sıcaklığı oransal nem, rüzgar hızı ve güneşlenme süresi değerlerini içeren 30 yıllık veri seti kullanılmış, (1970-2000) 3 farklı bölge için yapay sinir ağı (YSA) modelleri kurulmuştur. FAO Penman-Monteith eşitliği ile hesaplanan referans bitki su tüketimleri modellerin eğitimi için kullanılmıştır. İklim verileriyle kurulan regresyon modelleri ile yapay sinir ağı modellerinin sonuçları karşılaştırıldığında YSA modellerinin referans bitki su tüketiminin modellenmesinde regresyon modellerinden daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Dört girdili YSA modelinin üç girdili olana göre daha doğru sonuçlar verdiği hata kareler ortalamasının karakökü değerleri ve belirleme katsayılarının sırasıyla $0.130 \text{ mm.gün}^{-1}$, 0.986 ve 0.21 mm.gün^{-1} , 0.961 olduğu bildirilmiştir (Dai et al., 2009).

Pan buharlaşmasının referans bitki su tüketimine dönüştürülmesinde radyal tabanlı fonksiyon (RBFN) ağı ve ampirik eşitliklerin karşılaştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada, Christiansen, FAO-24 pan ve FAO-56 Penman-Monteith eşitliklerinin sonuçları çim bitkisinden meydana gelen bitki su tüketiminin lizimetre ile ölçülen değerleri ile karşılaştırılmış, bunun yanında RBFN kullanılarak pan ölçümleri ile yine bitki su tüketimi modellenmiştir. RBFN en düşük hata kareler ortalamasının karakökü değerini ($0.433 \text{ mm.gün}^{-1}$) vermiştir. Çalışma sonucunda RBFN modelinin pan buharlaşması ölçümlerinin ve referans bitki su tüketimi değerlerini tahminlemede oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiş, modelin belirleme katsayısının 0.9501 olarak bulunduğu belirtilmiştir. Yapay sinir ağı modelleri hakkında bilgi sahibi olmadan sadece modele ilişkin kodların kullanımıyla da sonuçların alınabileceği belirtilmiştir (Trajkovic, 2009).

Günlük pan buharlaşmasının modellenmesinin amaçlandığı bir çalışmada, çok katmanlı geriye yayılım algoritması (MLP), radyal tabanlı sinir ağları (RBNN) ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN) kullanılmıştır. MLP tahminleri RBNN ve GRNN teknikleriyle ve Stephens-Stewart (SS) metodu sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Modellerin performansları karşılaştırıldığında iklim verileri kullanılarak oluşturulan MLP ve RBNN modellerinin pan buharlaşmasının tahminlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Ayrıca GRNN modelinin SS metodu sonuçlarına göre daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir (Kişi, 2009).

Potansiyel bitki su tüketiminin tahmin edilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, yapay sinir ağı uygulamalarından biri olan çok katmanlı geri yayılım algoritması ile lineer olmayan regresyon modeli sonuçları karşılaştırılmış. Model sonuçlarının karşılaştırılması için Penman-Monteith eşitliğiyle hesaplanan günlük referans bitki su tüketimi sonuçlarının ilgili aydaki gün sayısı ile çarpılmasıyla elde edilen aylık değerleri kullanılmıştır. Modellerin kurulmasında Penman-Monteith eşitliğinin aksine sadece yüzey sıcaklığı, buhar basıncı ve yağış değerleri kullanılmıştır. Haziran ayında lineer olmayan regresyon modeli ile çok katmanlı geriye yayılım algoritması sonuçları neredeyse birbirine yakın sonuçlar verirken, Temmuz ve Ağustos aylarında yapay sinir ağı modeli olan çok katmanlı geriye yayılım algoritmasının çok daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Chattopadhyay, 2009).

Pan buharlaşmasının yapay sinir ağları (ANN) kullanılarak modellenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, ANN geri yayılım algoritması kullanılarak en az iklim parametresi kullanmak amacıyla değişik parametre kombinasyonları ile buharlaşmanın tahminlenmesine çalışılmış, oluşturulan model sonuçları Stephens ve Stewart (SS) modelinin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. ANN modelleri ile aylık olarak elde edilen değerlerle pan buharlaşma değerleri arasındaki ilişkinin korelasyon değeri 0.97 ile 0.99 arasında değiştiği bildirilmiştir. 6 adet girdi kullanılarak yapılan ve gizli katman sayısının 12 adet olduğu ANN modelin en iyi model olduğu belirlenmiştir. SS modeli sadece sıcaklık ve radyasyon verisi ile oluşturulduğundan sadece iki girdi parametresi ve 5 gizli katman kullanılarak oluşturulan ANN modeline bakıldığında modellerin oluşturulduğu bütün yıllarda SS modelinden daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Sudheer et al., 2002).

Bitki su tüketiminin modellenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, kesikli küçük dalga dönüşüm ve geri beslemeli sinir ağlarının birleştirilmesiyle oluşturulan model (WNN) kullanılmış, klasik yapay sinir ağları (ANN), çoklu lineer regresyon ve Hargreaves ampirik metodu ile karşılaştırılmıştır. Modellerin oluşturulması ve ampirik metod ile hesaplama için CIMIS (California Irrigation Management Information System) meteoroloji istasyonundan elde edilen hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, rüzgar hızı, oransal nem ve bitki su tüketimi değerleri kullanılmıştır. En iyi model yapısının 4 girdili (hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, oransal hava nemi ve rüzgar hızı) ve 3 gizli katman kullanılan WNN olduğu belirtilmiş, hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) değerinin 1.22 mm/gün, belirleme katsayısının 0.976 olduğu bildirilmiştir. WNN modeli klasik ANN, lineer regresyon modeli ve Hargreaves metodu ile karşılaştırıldığında bu yöntemin

daha başarılı olduğu ve bitki su tüketimin tahminlenmesinde uygulanabileceği belirtilmiştir (Partal, 2009).

En az iklim verisi kullanarak yapay sinir ağları (ANN) ile bitki su tüketiminin tahminlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, referans bitki su tüketimleri sıcaklık, çiğlenme noktası, güneş radyasyonu, rüzgar hızı ve nem parametrelerinin 1990-1991 yılları olmak üzere iki yıllık veri setleri kullanılarak Penman-Monteith (PM) eşitliği yarımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler ANN modellerinin eğitimi için kullanılmıştır. Dört farklı ANN modeli ile PM eşitliğinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış modellerin belirleme katsayıları 0.81-0.82 arasında değişmiştir. Modellerin farklılığı girdi ve gizli katman sayılarındaki değişikliklerden meydana gelmiştir. Sonuçlara bakıldığında bitki su tüketiminin tahmininde kısıtlı iklim parametreleriyle de olsa ANN yönteminin kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir (Jain et al., 2008).

Referans bitki su tüketiminin tahminlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, tahminleme için uyarlamalı bulanık-sinir ağı (ANFIS) yaklaşımı kullanılmış, model yapıları Penman-Monteith eşitliği ile hesaplanan çim bitkisi referans bitki su tüketim değerleri ile eğitilmiş ve test edilmiştir. Modelin girdilerini CIMIS (California Irrigation Management Information System) tarafından yönetilen 120 adet meteoroloji istasyonundan elde edilen meteorolojik veriler (güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, oransal nem ve rüzgar hızı) oluşturmuştur. Dört girdinin de kullanıldığı ANFIS modelinin ortalama hata karesi 0.016, ortalama mutlak oransal hata %6.4 ve belirleme katsayısı 0.996 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar altında ARFIS modelinin referans bitki su tüketiminde başarıyla kullanılabileceği bildirilmiştir (Doğan, 2009).

Yarı kurak iklim koşullarında pan buharlaşması değerlerinden referans bitki su tüketimini tahminlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, yapay sinir ağları (YSA) modeli kullanılmış, model sonuçları ölçülen iklim parametreleriyle kullanılarak Penman-Monteith (PM) eşitliğiyle hesaplanan referans bitki su tüketimleriyle karşılaştırılmıştır. YSA modelinin girdileri olarak maksimum ve minimum hava sıcaklığı ile pan buharlaşması değerleri kullanılmıştır. YSA ve geleneksel pan katsayısı modellerinin hata kareler ortalamasının karakökü değeri ve belirleme katsayısı 0.8 mm.gün⁻¹, 0.91 ve 1.46 mm.gün⁻¹ 0.84 olarak bulunmuştur. YSA modeli ve pan buharlaşması değerleri ile pan katsayısı değerinin çarpımından elde edilen referans bitki su tüketimi değerleriyle PM

eşitliği sonuçları karşılaştırıldığında YSA modelinin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Khoob, 2008b).

Serada yetiştirilen kavun için akıllı sulama sistemi geliştirilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, sulamaların kontrolü amacıyla bulanık kontrol, aç-kapa kontrol ve otomatik olmayan kontrol olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bulanık kontrol yöntemi 2000 yılında aynı sera içindeki toprak nem değişim değerleri kullanılarak MATLAB ortamında hazırlanan model çalışmanın yapıldığı 2001 yılındaki bir gün (24 saat) sonrası toprak nemini tahminlemek amacıyla oluşturulmuştur. Bulanık kontrole göre oluşturulan modelin korelasyon katsayısı 0.77 olarak bulunmuş bu değerin göreceli olarak iyi olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında otomatik olmayan sulamaya göre bulanık kontrol ve aç-kapa kontrolde sırasıyla %52 ve %40 su tasarrufu sağlandığı bildirilirken meyve kalitesinde üç uygulamanın da neredeyse birbirine yakın değerler verdiği belirtilmiştir (Nakano et al., 2010).

Geleneksel sulama yöntemleriyle yapılan su tasarrufları sonucu oluşan verim kaybı problemini çözmek için sera koşullarında otomatik sulama sistemi geliştirmek amacıyla yapılan bir çalışmada, referans bitki su tüketimi sera içinde ölçülen iklim verileriyle Penman-Monteith eşitliği kullanılarak hesaplanmış, bitki su tüketim değerleri ise hesaplanan bu değerler ile bitki katsayısı çarpılarak elde edilmiştir. Sulama uygulamaları bitki su tüketimi değeri baz alınarak yapılmış çalışma sonucunda %28 su tasarrufu sağlandığı, verimde ise %18 oranında artış olduğu belirtilmiştir (Zhao et al., 2008).

Sapanca Gölü'ndeki günlük buharlaşmanın YSA kullanılarak tahmin edilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, Sakarya Merkez Meteoroloji İstasyonuna ait 1990-2004 yılları arası 2636 adet günlük veri kullanılmıştır. Modellerin kurulması için minimum ve maksimum sıcaklık, rüzgar hızı, oransal nem, gerçek güneşlenme süresi ve maksimum güneşlenme süresi kullanılmış, model çıktıları ile ölçülen buharlaşma değerleri arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Çalışmada ileri beslemeli geri yayımlı (İBGYYSA) ve radyal temelli yapay sinir ağı (RTYSA) modeli kullanılmış, Penman-Monteith (PM) modeli ile karşılaştırılmıştır. İBGYYSA, RTYSA VE PM modellerinin performansları karşılaştırıldığında korelasyon katsayıları sırasıyla 0.651, 0.716 ve 0.700 ortalama mutlak hataları %68.540, %59.484 ve %59.207, ortalama karesel hataları 2.674, 2.512 ve 2.557 bulunmuş, ölçülen buharlaşma değerlerine en yakın sonuçların

İBGYYSA yöntemiyle oluşturulan modelin verdiği belirtilmiştir (Doğan vd., 2007).

Eğridir Gölü'nden meydana gelen buharlaşmaları tahminlemek amacıyla model yapılarının geliştirildiği bir çalışmada, güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, su sıcaklığı ve nisbi nem parametreleri ile Penman metodu buharlaşma değerlerine göre çeşitli yapay sinir ağı modelleri (YSAp) geliştirilmiştir. Bu modeller karşılaştırıldıklarında benzer performans gösterdikleri ancak model girdi parametrelerinin farklı olduğu görülmüştür. Bunun yanında YSAp modellerinde kullanılan parametreler ile buharlaşma tahmin modelleri (BTMp) geliştirilmiştir. Bu modellerin günlük ve aylık bazdaki sonuçları Priestley-Taylor, Brutsaert-Stricker, deBruin, Makkink ve Hamon metodlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmış, BTMp modellerinin klasik metotlara göre istatistiksel açıdan daha iyi performans gösterdikleri belirtilmiştir. Ayrıca yapay sinir ağları metodu kullanılarak pan buharlaşmasını tahminlemek için modeller oluşturulmuş, sadece hava sıcaklığı, göl suyunun sıcaklığı ve güneş radyasyonun günlük değerinin kullanılmasının modelin performansını önemli bir derecede azaltmadığı belirtilmiştir. Sınırlı parametre sayısı ile hem Penman hem de pan buharlaşması değerlerinin tahmini için yapay sinir ağları metodunun kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (Terzi, 2004).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme alanı ve üretim dönemleri

Araştırma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait, Bornova'da Kuzey-Güney yönünde kurulu bulunan PE örtülü serada yürütülmüştür (Şekil 3.1). Sera yay şeklinde iki çatılı olup, eni 16 m, uzunluğu 50 m, yan yüksekliği 2.5 m ve çatı yüksekliği 4.0 m'dir. Yan yüzeyler ve çatılarda bulunan havalandırma açıklıkları içeriye zararlı girişini engellemek üzere net ile kaplanmıştır. Sera içersinde otomasyonu sağlanmış sıcak hava üflemeli 2 adet ısıtıcı ile sera içerisinde ve dışarısında bazı meteorolojik verileri ölçmek amacıyla iklim sensörleri bulunmaktadır. Araştırma süresince serada yalnızca dondan koruma amacıyla ısıtma yapılmıştır.



Şekil 3.1. E.Ü. Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü PE bitünel serası

Araştırmada, saksı kültürü yetiştirme tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla, boyutları 75x23x16 cm olan plastik yatay saksılardan faydalanılmıştır. Fideler her saksıda üç bitki yer alacak ve m²'de 3.8 bitki (1.20 m x 0.80 m x 0.25 m) olacak şekilde çift sıra tekniğine göre dikilmişlerdir. Yetiştirme ortamı, bitki başına 6 litre kök hacmi olmak üzere plastik saksılara (18 l.saksı⁻¹) doldurulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Deneme alanından bir görünüm

Kullanılan saksıların alt kısımlarına araştırma süresince uygulanan besin solüsyonunun fazlasının drenaj yoluyla dışarı atılabilmesi amacıyla drenaj delikleri açılmıştır. Her konudan drene olan solüsyonun toplanmasında, açılan drenaj deliklerinden boşalan solüsyonun, saksıların yanına monte edilmiş ve buharlaşma kayıplarına izin vermeyecek şekilde düzenlenmiş 32 mm çapındaki PE borulara akması sağlanmış ve bu borular yardımıyla ilgili depolara taşınmışlardır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Fidelerin saksılara dikimi

Araştırma 2011-2013 yılları arasında, iki sonbahar ve iki ilkbahar olmak üzere dört bitki yetiştirme dönemi boyunca yürütülmüştür. Yetiştirme dönemlerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Yetiştirme dönemlerine ilişkin özet bilgiler

	I.Dönem	II.Dönem	III.Dönem	IV.Dönem
Dikim tarihi	11.03.2011	24.08.2011	05.03.2012	04.09.2012
Son hasat tarihi	04.07.2011	11.01.2012	17.07.2012	14.01.2013
Dönem uzunluğu (gün)	116	141	135	133
Gözlem sayısı (gün)	112	133	133	132
Sera içi ort. sıcaklık ($^{\circ}\text{C.gün}^{-1}$)	21.2	17.3	24.1	18.2
Sera içi ort. Rs ($\text{MJ.m}^{-2}\text{.gün}^{-1}$)	9.8	6.4	10.3	6.5
Ortalama ET_0 (mm.gün^{-1})	2.75	1.69	2.81	1.62
Sezonluk ET_0 (mm)	284	227	371	210

Topraksız tarım üretim teknikleri ile kapalı besleme sistemi kullanılarak yapılan domates yetiştiriciliğinde, 2 farklı yetiştirme ortamı (perlite ve cocopeat) ve 2 sulama konusu (tam ve kısıt sulama) oluşturulmuştur.

Araştırma 2 faktörlü tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Bitkilere su kısıtı uygulamasına fideler saksılara aktarıldıktan 2 hafta sonra başlanmıştır (Efe vd., 2000).

3.1.2. Yetiştirme ortamları

Yetiştirme ortamı olarak, kolay bulunabilir ve topraksız yetiştiriciliğe uygun mineral bir ortam olan perlite (Şekil 3.4a) ve organik bir otam olan cocopeat (Şekil 3.4b) kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Yetiştirme ortamları a) perlite ve b) cocopeat

Perlit yetiştirme ortamının hacim ağırlığı 0.063 g.cm^{-3} ve tarla kapasitesi %36.9 olarak bulunurken, bu değerler cocopeat için sırasıyla 0.066 g.cm^{-3} ve %48.1 olarak belirlenmiştir (Tunalı vd., 2013). Elde edilen değerler literatür ile benzerlik göstermiştir (Bures vd., 1997a; Bures vd., 1997b; Gruda vd., 2013).

3.1.3. Bitki özellikleri

Denemede bitkisel materyal olarak domates (*Lycopersicon esculentum* Mill.), çeşit olarak ise “**Duru F1**” kullanılmıştır. “Duru F1” kültür çeşidi sonbahar ve ilkbahar yetiştiriciliğine uygun sarak bir domates olup, boğum araları kısa, orta güçlü bir bitki yapsına sahiptir. Domates Mozaik Virüsü (ToMV)’ne, Verticillium Solgunluğu (Ve)’na, *Fusarium oxysporium* 0 ve 1 ırkları (F 0-1)’na, Domates Sarı Yaprak Kıvrıcıklığı Virüsü (TYLCV)’ne dayankılıdır. Erkenci ve yüksek verimli bir çeşittir. Bir salkımda 6-7 meyve oluşturur ve ortalama meyve ağırlığı 150-170 gramdır (Anonim, 2011). Çalışmada, hazır fide kullanılmıştır.



Şekil 3.5. *Duru F1* Domates çeşidi

3.1.4. Sulama sistemi

3.1.4.1. Sulama yöntemi

Araştırmada, besin solüsyonunun bitkilere uygulanmasında damla sulama sistemi kullanılmıştır. Lateral üzerine 2 l.h^{-1} anma debisine sahip basınç düzenleyicili on-line damlaticılar bağlanmıştır. Çalışmaya alınan her konuya uygulanan besin solüsyon miktarları, selonoid vanalar ve kalibrasyonu yapılmış sayaçlardan yararlanılarak günlük olarak kaydedilmiştir. (Şekil. 3.6).



Şekil 3.6. Denemede kullanılan selonoid vana ve sayaçlar

Sera dışında oluşturulan ve elektrik jeneratörü ile destekli sistem denetim biriminde hazırlanan besin çözeltisi ile sistemin otomasyonu sağlanmıştır. Sistem denetim biriminden sağlanan besin çözeltisi ($\text{EC} = 2 \text{ ds.m}^{-1}$, $\text{pH} = 5,5 - 6,5$), sera içerisinde bulunan kapalı sistem tanklarının doldurulmasında kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Sistem denetim birimi

3.1.4.2. Besin solüsyonu

Araştırmada sera dışında sistem denetim biriminde bulunan depoda Day (1991)'e göre hazırlanan besin çözeltisi kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Besin solüsyonu kimyasal bileşimi ve kullanılan kimyasal kaynaklar.

Besin Elementi	Kullanılan Miktar (mg.l ⁻¹)	Kullanılan Kimyasal Kaynak
N	210-240	NH ₄ NO ₃ (%33)
P	40	H ₃ PO ₄ (%85)
K	250-300	KNO ₃ (13-0-46)
Ca	150	Ca(NO ₃) ₂ (%15.5 N, %19 Ca)
Mg	50	MgSO ₄ .7H ₂ O (%10 Mg)
Fe	2	Sequestrene (%6 Fe)
Mn	0.75	MnSO ₄ .H ₂ O
Zn	0.5	ZnSO ₄ .7H ₂ O
B	0.4	H ₃ BO ₃
Cu	0.1	CuSO ₄ .5H ₂ O
Mo	0.05	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O

3.1.4.3. Kapalı sistem

Bitkilere besin solüsyonu uygulanması konulara ait besin solüsyonu tanklarından yapılmıştır. Sistemde drene olan solüsyon kendi besleme tanklarına boşaltılarak tekrar kullanımı sağlanmıştır. Bitki su tüketimine bağlı olarak tanklarda azalan besin solüsyonları hergün otomatik olarak doldurulmuştur. Bu sistemde tüm konulara uygulanan, atılan ve sirküle edilen besin solüsyonları hacimsel olarak ölçülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kapalı sistem besin solüsyonu tankları ve dolum sistemi

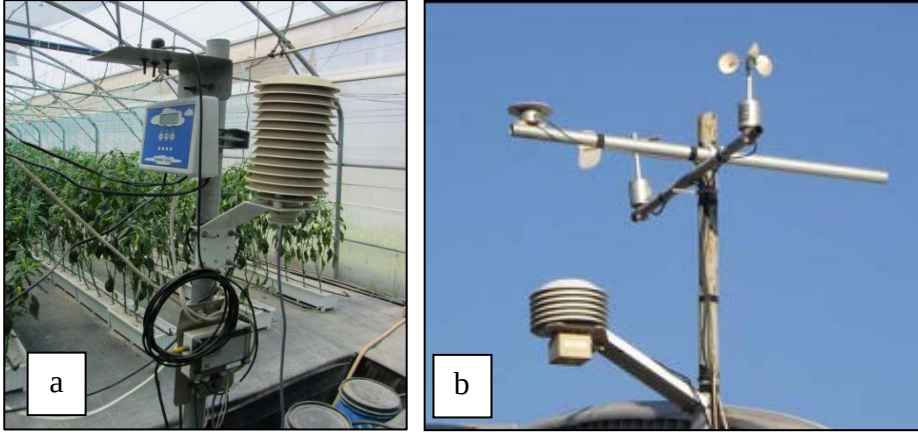
Haftada 2 kez drenaj tanklarından alınan besin solüsyonu örneklerinin, EC ve pH ölçümleri yapılmıştır. Besin solüsyonunun elektriksel iletkenliği (EC) Mettler Toledo MC-126 model EC-metre ile, pH'sı ise Mettler Toledo marka Seven Easy pH-metre ile ölçülmüştür.

Kapalı sistemde besin tanklarında bulunan besin solüsyonunun elektriksel iletkenlik değeri olması gereken düzeyi (2 dS.m^{-1}) aştığında, besleme tankındaki solüsyonu hacimsel olarak ölçülerek sera dışına atılmış ve besleme tankı yeniden ilgili solüsyon ile doldurulmuştur.

3.1.5. Kontrol üniteleri ve algılayıcılar

3.1.5.1. İklim istasyonları

Deneme süresince iklim verileri (sera içi ve dışı) 15 dakika aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Sera içerisinde (Şekil 3.9a) ve dışarısında (Şekil 3.9b) meteorolojik verileri ölçmek amacıyla algılayıcılar (Delta-T Devices; sıcaklık, nem ve solar radyasyon algılayıcıları) ve veri kaydediciler (Delta-T Devices; GP1 ve DL3000) (Şekil 3.10) kullanılmıştır.

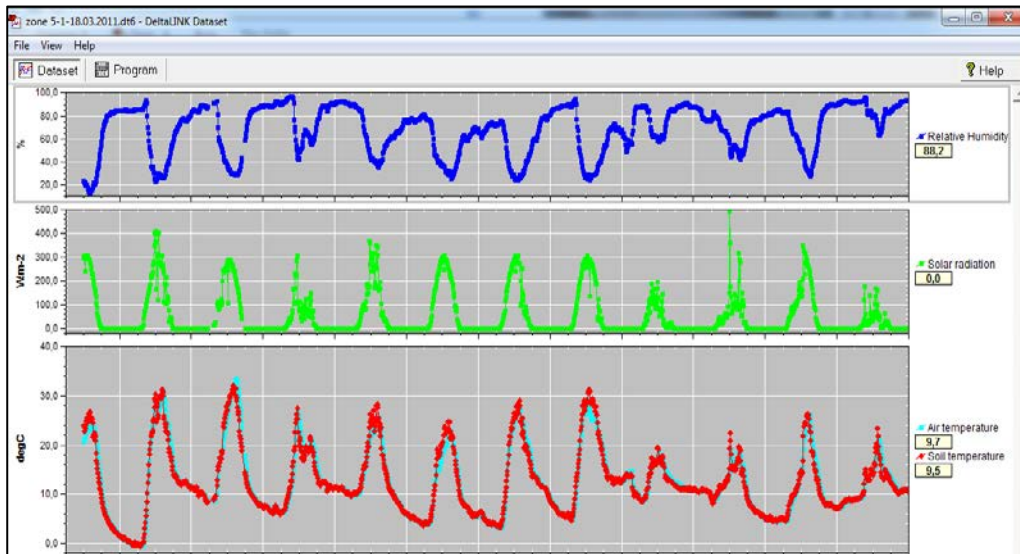


Şekil 3.9. Sera içerisinde (a) ve dışında (b) bulunan iklim algılayıcıları



Şekil 3.10. İklim verilerini toplayan veri kaydediciler

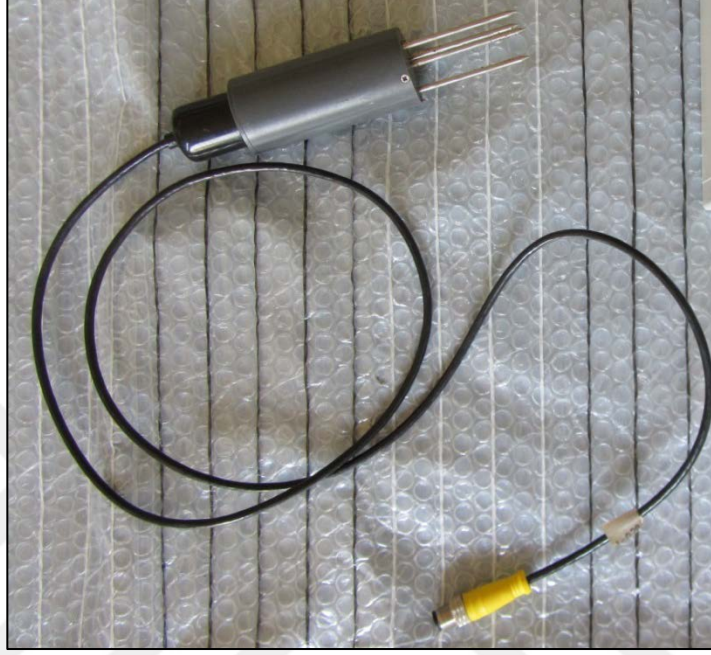
Veri kaydedicilerin, sera yakınındaki işletme binasında bulunan bilgisayara, sera ile işletme binası arasına kurulan veri hattı aracılığı ile bağlantısı yapılmıştır. Delta-T firması tarafından sağlanan arayüz (DeltaLINK) ile verilerin izlenmesi ve bilgisayara aktarılması sağlanmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. İklim istasyonu yazılımından (DeltaLINK) görünüm

3.1.5.2. Kök bölgesi nem algılayıcıları

Araştırmada, Theta-Probe ML2 (Delta-T Devices) (Şekil 3.12) kök bölgesi nem algılayıcıları kullanılmıştır. ML2 yerleştirildiği ortamın nem içeriğini hacimsel olarak ölçen bir kök bölgesi nem algılayıcısıdır.



Şekil 3.12. Theta-Probe ML2 kök bölgesi nem algılayıcısı

Theta-Probe, kalibrasyonu yapıldığında, 0-70 °C aralığında $\pm 0.01 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ doğruluğunda okumalar yapmaktadır (Delta-T Devices Ltd., 1999). Theta-Probe ML2 genellikle toprakta %5 doğrulukta okumalar sağlarken toprağa özel kalibrasyonu yapıldığında %1 doğrulukta ölçüm yapmaktadır (Pardossi et al., 2009).

Theta-Probe ML2, cocopeat ve perlit için kalibrasyonları yapılmış ve her konuya kök bölgesi nem düzeyini izlemek için saksı ortasına yerleştirilmiştir. Algılayıcıdan alınan veriler, 15 dakikalık aralıklarla GP1 veri kaydedicisi (Delta-T Devices) ile depolanmıştır.

3.1.5.3. Veri toplayıcı ve kontrol cihazları

Araştırmada, algılayıcılar ve dijital sayaçlardan gelen veriler depolamak için GP1 veri kaydediciler (Şekil 3.13) kullanılmıştır. GP1 veri kaydedici, üzerinde bulunan anahtar (relay) sayesinde sulama kontrolü yapabilmektedir.

GP1 veri kaydediciler, veri hattı aracılığı ile işletme binasında bulunan bilgisayara bağlanmıştır. DeltaLINK yazılımı aracılığı ile konulara göre belirlenen nem açığı eşiklerine göre sulamalar kontrol edilmiştir.



Şekil 3.13. Sulama kontrolünde kullanılan GP1 veri kaydediciler

Kapalı sistem besleme tanklarından günlük olarak eksilen solüsyonu tamamlamak için bir zamanlayıcı (timer) kullanılmıştır. Konulara ait tankların dolum vanaları zamanlayıcı tarafından her sabah 06:00 – 07:00 arasında sıralı olarak açılarak dolum sağlanmıştır. Tanklara yerleştirilen seviye kontrol düzeneği sayesinde besin solüsyonunun her seferinde aynı seviyeye kadar dolması sağlanmıştır.

Sistemde, kontrol cihazlarından iletilen sinyaller ile açılıp kapanan selonoid vanalar kullanılmıştır. Dolum ve sulama hatlarında dijital sayaçlar kullanılarak, geçen su hacimleri veri kaydedicilerde depolanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Bitkisel işlemler

3.2.1.1. Kültürel işlemler

Araştırmada bitki bakım işleri Sevgican (2002)'a göre yürütülmüştür. Bitkiler büyüdükçe sardırma, koltuk alma, hastalıklı ve yaşlı yaprakların alınması işlemi zamanı geldikçe yapılmıştır. Dönem içerisinde meyve salkımları oluştukça, her salkımda 6 meyve kalacak şekilde salkım budaması yapılmıştır.

Hasatlar kızaran meyvenin toplanması şeklinde yapılmıştır. Üretim sonuna doğru son salkımdaki meyveler yeşil olsa da toplanmıştır. Bitkilerde, 7. salkım üzerinde 2 yaprak bırakılarak büyüme ucunun alınması ile büyüme durdurulmuştur.

Tozlanma ve döllemeye yardımcı olmak amacıyla Koppert A.Ş.'den satın alınan Bombus arıları kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Tozlama ve döllemeye yardım için kullanılan Bombus arıları

3.2.1.2. Hasat ve sınıflandırma işlemleri

Meyveler her hasatta çaplarına göre dört ayrı şekilde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre:

- 1.Sınıf : çapı 5.5 cm 'den büyük olan meyveler,
- 2.Sınıf : $5.5 \text{ cm} > \varnothing > 4.5 \text{ cm}$,
- 3.Sınıf : $4.5 \text{ cm} > \varnothing > 3.5 \text{ cm}$ ve
- 4.Sınıf (Pazarlanamaz) : çapı 3.5 cm 'den küçük meyveler.

Her hasatta toplam verim, pazarlanabilir verim, toplam meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığı değerleri de belirlenmiş ve dönem sonunda elde edilen sonuçların istatistiksel analizleri yapılmıştır.

Toplam verim (kg.m^{-2}): İlk hasattan son hasada kadar olan süreçte her tekerrürden toplanan meyveler ayrı ayrı tartılmıştır. Hasat periyodu sonunda her bir konudaki verim değerleri kümülatif olarak toplanarak toplam verim değeri bulunmuştur.

Pazarlanabilir verim (kg.m^{-2}): Toplam verimden pazarlanamaz boydaki (çapı 3.5 cm'den küçük meyveler) ve zarar görmüş (çiçek burnu çürüklüğü, fizyolojik bozukluk gösteren meyveler) meyvelerin ağırlığı çıkarılarak pazarlanabilir verim hesaplanmıştır.

Toplam meyve sayısı (adet.m^{-2}): Her hasatta toplanan meyvelerin sayısı tekerrürlere göre alınmış ve dönem sonunda uygulamalara ait toplam meyve sayısı, m^2 'deki bitki sayısı üzerinden belirlenmiştir.

Ortalama meyve ağırlığı (g): Uygulamalara ait toplam verim, meyve sayısına bölünerek hesaplanmıştır.

3.2.2. Yetiştirme ortamlarının sulamaya ilişkin özelliklerinin belirlenmesi

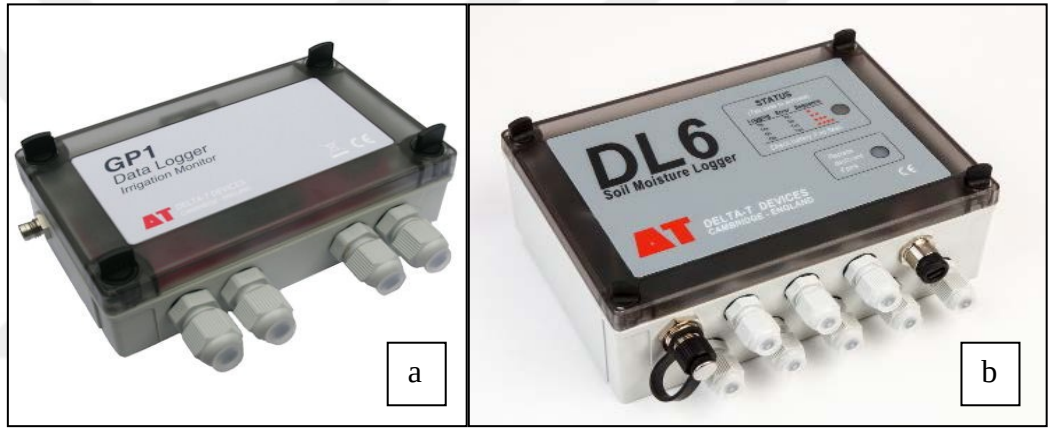
Araştırmada kullanılan yetiştirme ortamları saksılara doldurulmuş ve su eklenerek doyurulmuştur. Saksıların üstü buharlaşmayı önlemek için plastik örtü ile kapatılmış ve serbest drenaja bırakılmıştır. Saksı ağırlığında azalma durduğunda ortamlar tarla kapasitesinde olduğu varsayılarak 100 cm^3 'lük örnek kapları ile bozulmamış örnekler alınmıştır. Örneklerin yaş ve kuru ağırlık değerleri ölçülerek hacim ağırlık ve tarla kapasitesi değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.3) (Tunalı vd., 2013). Hesaplanan değerler literatür ile de benzerlik göstermiştir (Gruda et al., 2013, Bures et al., 1997a).

Çizelge 3.3. Yetiştirme ortamlarının sulamaya yönelik bazı özellikleri

	Perlit	Cocopeat
Hacim Ağırlığı (γ) (g.cm^{-3})	0,063	0,066
Tarla Kapasitesi (θ_w) (%Pv)	36,9%	48,1%

3.2.3. Kök bölgesi nem algılayıcıların ortamlara özel kalibrasyonu

Theta-Probe ML2 kök bölgesi nem algılayıcısının kalibrasyonu ve doğrulaması için 2 yöntem birlikte kullanılmıştır. Kalibrasyon için üretici firmanın önerdiği yöntem kullanılmıştır. Sonucun doğrulaması ve ortam karakteristik eğrilerinin çıkarılması için ise 3 saksı cocopeat ve 3 saksı perlit olmak üzere toplam 6 saksı yetiştirme ortamlarıyla doldurulmuştur. Saksıların hacimsel nem içeriği (Theta-Probe ML2) ve matrik potansiyeli (SWT-3) ölçümleri için algılayıcılar yerleştirilmiştir. Saksılara, belirli aralıklarla, doygun hale gelene kadar su eklenmiş, kuruma süreçleri izlenmiş ve elde edilen veriler veri kaydediciler (Şekil 3.15) ile sera çalışmaları öncesi, 5 ay süresince 15 dakika aralıklarla depolanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.15. Çalışmada kullanılan a) GP1 ve b) DL6 veri kaydediciler



Şekil 3.16. Theta-Probe ML2'nin ortamlara özel kalibrasyonu için yapılan çalışma

Araştırma öncesi kök bölgesi nem algılayıcılarının kalibrasyonu yapılmıştır (Tunalı vd., 2013). Bu amaçla 2 noktadan ölçüm alınmış ve bu ölçümler ile Eşitlik 17 ve 18 'de verilen a_0 ve a_1 kalibrasyon katsayıları belirlenmiştir.

Yöntemde istenilen birinci ölçüm, yaşı ortamın (hacimsel nem içeriği bilinen, tarla kapasitesi) ML2 değeri (Volt, V), ikinci ölçüm ise fırın kurusunun ($\theta_w=0$) ML2 değeridir (V).

Aşağıdaki eşitlik kullanılarak, dielektrik sabitin (ϵ) belirlenmesiyle hacimsel nem içeriği (θ_w) belirlenmiştir:

$$\theta_w = (\sqrt{\epsilon} - a_0)/a_1 \quad (17)$$

Eşitlikte, ϵ dielektrik sabit, a_0 ve a_1 ise ortama bağlı kalibrasyon katsayılarıdır. Hacimsel nem içeriğinin “ $\theta_w=0$ ” olduğu durumda (fırın kuru), $\sqrt{\epsilon} = a_0$ olmaktadır.

Dielektrik sabitin kare kökü ($\sqrt{\epsilon}$), aşağıdaki eşitlik ($R^2= 0.998$) kullanılarak, Theta-Probe’un okumalarından (V) hesaplanmıştır (Tunalı vd., 2013).

$$\sqrt{\epsilon} = 4.70V^3 - 6.40V^2 + 6.40V + 1.07 \quad (18)$$

ML2 Theta-Probe’un kalibrasyonu için gerekli olan iki sabite (a_0 ve a_1) elde edildikten sonra, kayıt edilen kalibrasyonsuz (dönüştürülmemiş, V) ML2 verileri, yukarıdaki eşitlikler (Eşitlik 17 ve 18) kullanılarak hacimsel nem içeriğine (θ_w) dönüştürülmüştür. Kalibrasyon sonucu dönüştürülen ML2 okumaları (θ_w) ile SWT-3 (hPa) verileri karşılaştırılarak ortam karakteristik eğrileri oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Gravimetrik yöntem ile elde edilen tarla kapasitesi değerleri (Bkz. Çizelge 3.3) ile kalibrasyon sonrası okunan tarla kapasitesi değerleri (10 hPa) karşılaştırılmış ve kalibrasyonun doğrulaması yapılmıştır. Elde edilen ortam karakteristik eğrisinden, yetiştirme ortamlarının solma noktası (100 hPa) (De Boodt et al., 1974) ve kullanılabilir nem miktarları (TK-SN) belirlenmiştir.

3.2.4. Sulama yönetimi ve uygulamaları

3.2.4.1. Sulama suyu miktarı ve sulama zamanının belirlenmesi

Konulara uygulanacak solüsyon miktarları saksı drenaj çıkışlarında yapılan gözlemlere dayandırılmış ve konularda günlük olarak yaklaşık % 30 düzeyinde drenaja izin verilmiştir (Vox et al., 2010; Winsor and Schwarz, 1990). Bu amaçla,

sulama suyu miktarları, bitki gelişim dönemleri ve günlük ölçümler dikkate alınarak haftalık olarak düzenlenmiştir.

Sulama zamanları, sürekli olarak kök bölgesi nem algılayıcıları ile izlenmiş ve ortam nemindeki azalmaya göre ayarlanmıştır. Ortamların nem içeriği, konulara göre belirlenen eşik değerlerine ulaştığında, GP1 veri kaydediciler aracılığı ile sulamalar otomatik olarak başlatılmıştır.

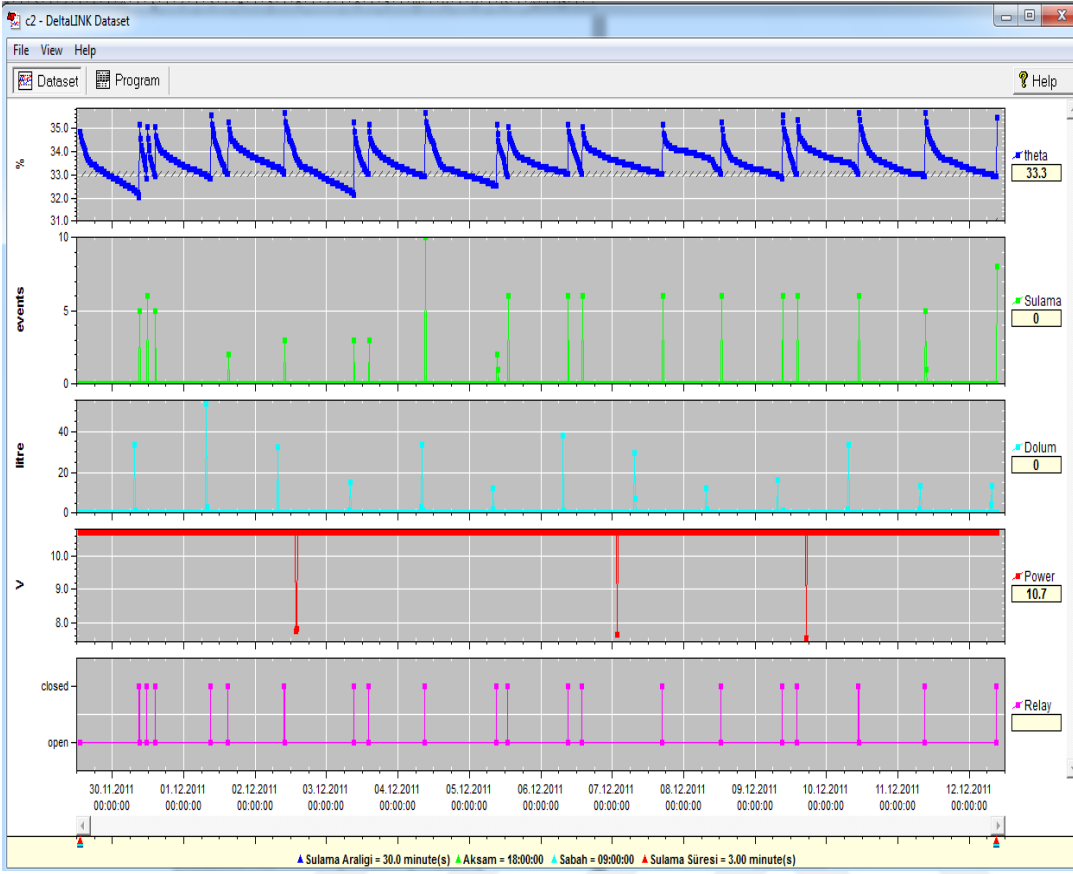
3.2.4.2. Sulama uygulamaları

Her iki yetiştirme ortamı için kök bölgesinde tüketilmesine izin verilen nem miktarları belirlenmiş ve kök bölgesi nem algılayıcıları ile sulamalar otomatik olarak yönetilmiştir. Tam sulama konusunda, kullanılabilir nem kapasitesinin %20'lik kısmının tüketilmesine izin verilirken, kısıt konusunda %50'lik nem açığına izin verilmiştir. Elde edilen sulama eşikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Yetiştirme ortamlarının nem sabitleri ve sulama eşikleri

	Perlit (%P_v)	Cocopeat (%P_v)
Tarla Kapasitesi (10 hPa)	37%	48%
Solma Noktası (100 hPa)	12%	17%
Kullanılabilir Nem	25%	31%
%20 Nem açığı sulama eşik değeri	32%	42%
%50 Nem açığı sulama eşik değeri	25%	33%

Cocopeat'te yetiştirilen bitkiler için, tam sulama konusunda, kök bölgesi nem içeriği %42'ye indiğinde sulama başlatılırken, kısıt sulama konusunda ise kök bölgesi nem içeriği %33 oranına indiğinde başlatılmıştır. Perlit için ise tam ve kısıt sulama konuları için bu eşik değerleri sırasıyla %32 ve %25 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Sulamayı yöneten yazılımdan görüntü

3.2.4.3. Su kullanım randımanının belirlenmesi

Su kullanım randımanının belirlenmesinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Gregory, P.J., 2004) :

$$WUE_{SSM} = \frac{\text{Toplam Verim}}{\text{Sulama Suyu Miktarı}} (\text{kg.m}^{-3}) \quad (19)$$

$$WUE_{BST} = \frac{\text{Toplam Verim}}{\text{Bitki Su Tüketimi}} (\text{kg.m}^{-3}) \quad (20)$$

Kapalı sistem içerisinde sirküle edilen ve konulara ilişkin sulama sayaçlarından geçen besin solüsyonu, sulama suyu miktarı olarak ifade edilmiştir.

3.2.5. Bitki su tüketimi ve tahminlenmesi

3.2.5.1. Gerçek bitki su tüketiminin (ET_c) belirlenmesi

Araştırmada her konuya ait bitki su tüketimleri, uygulanan ve drene olan miktarlar arasındaki ilişkiden, su bütçesi yönteminden (Kırda, 1999; Baille, 1996) yararlanılarak saptanmıştır.

$$ET_c = I - D \quad (22)$$

Eşitlikte;

ET_c : Bitki su tüketimi (l.bitki⁻¹)

I : Sulama suyu miktarı (l.bitki⁻¹)

D : Drenaj (l.bitki⁻¹)

Kapalı sistemde besin tanklarına eklenen besin solüsyonu ve konulara uygulanan besin solüsyonu miktarları ilgili sayaçlardan okunarak tüm konularda gerçek bitki su tüketimi değerleri günlük olarak belirlenmiştir.

3.2.5.2. Referans bitki su tüketimi (ET_o)

Sera içinde ölçülen iklim verileri ile FAO-Penman-Monteith eşitliğine göre günlük bitki su tüketimleri hesaplanmıştır (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (23)$$

Eşitlikte;

ET_o : Referans bitki su tüketimi (mm.gün⁻¹),

R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ.m⁻².gün⁻¹),

G : Toprak ısı değişim yoğunluğu (MJ.m⁻².gün⁻¹),

T : 2m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı (°C),

u₂ : 2m yükseklikteki rüzgar hızı (m.s⁻¹),

e_s : Doygun buhar basıncı (kPa),

e_a : Gerçek buhar basıncı (kPa),

e_s - e_a : Buhar basıncı açığı (kPa),

Δ : Buhar basıncı eğrisi eğimi (kPa.°C⁻¹),

γ : Psikrometrik sabit (kPa.°C⁻¹).

Çalışmada ayrıca, solar radyasyon, bağıl nem ve/veya rüzgar hızı gibi iklim verilerinin eksik olduğu koşulları temsil etmesi için Hargreaves eşitliği kullanılmıştır (Hargreaves and Samani, 1985). Günlük hava sıcaklığı ölçümleri ve atmosfer yüzeyine gelen radyasyon (R_a) ile referans bitki su tüketimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$ET_{o,HG} = 0.0023(T_{ort} + 17.8)(T_{maks} + T_{min})^{0.5}R_a \quad (24)$$

Hargreaves eşitliğinin sera iklimine kalibrasyonu için, FAO-PM ile hesaplanan referans bitki su tüketimi ile Hargreaves eşitliğinden hesaplanan referans bitki su tüketimi kıyaslanmış ve Eşitlik 25’de gösterilen ampirik katsayılar (a ve b) belirlenmiştir.

$$ET_{o,HGcal} = a + bET_{o,HG} \quad (25)$$

3.2.5.3. Bitki katsayılarının (K_c) belirlenmesi

Her yetiştirme döneminde, her iki yetiştirme ortamı için bitki katsayıları ayrı ayrı belirlenmiştir. Ölçülen gerçek bitki su tüketimi değerleri ile hesaplanan referans bitki su tüketimi (FAO-PM) değerlerinin oranından günlük bitki katsayısı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlerden, grafiksel belirleme yöntemi ile bitki katsayısı eğrileri elde edilmiştir (Allen et al., 1998).

Bu yöntemde, ET_c ve ET_o verilerinin 5 günlük ortalamaları oluşturulmuş, bitki büyüme dönemlerine göre grafiğe yerleştirilerek bitki katsayısı eğrileri elde edilmiştir.

3.2.5.4. Bitki su tüketimi tahminleri

Bitki su tüketiminin (ET_c) tahmin edilmesi için standart yöntem ($ET_o \times K_c$), geliştirilmiş regresyon modelleri ve yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan geliştirilmiş regresyon modellerinin (GRM), YSA modellerinin ve ampirik yöntemlerin başarısı kıyaslanmıştır.

Modellerin oluşturulmasında kullanılan 12 girdi ve girdi kaynakları aşağıdaki gibidir;

Algılayıcılar ile ölçülen girdiler;

- 1- T_{ort} , T_{maks} ve T_{min} ($^{\circ}C$), İklim istasyonu tarafından, 15 dk aralıklar ile kayıt edilen sıcaklık verilerinden elde edilen, günlük ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri.
- 2- RH_{ort} , RH_{maks} ve RH_{min} (%), İklim istasyonu tarafından, 15 dk aralıklar ile kayıt edilen bağıl nem verilerinden elde edilen, günlük ortalama, maksimum ve minimum bağıl nem değerleri.
- 3- R_s ($MJ.m^{-2}.gün^{-1}$), İklim istasyonu tarafından, 15 dk aralıklar ile kayıt edilen anlık solar radyasyon verilerinden elde edilen, günlük toplam solar radyasyon değerleri.

Hesaplanarak elde edilen girdiler;

- 1- K_c , Günlük olarak ölçülen bitki su tüketimi ile iklim verilerinden hesaplanan referans bitki su tüketiminden hesaplanan, bitki katsayısı değerleri.
- 2- R_n ($MJ.m^{-2}.gün^{-1}$), Ölçülen solar radyasyon ve hesaplanan veriler aracılığı ile bulunan net radyasyon değerleri.

Zamansal ve mekansal girdiler;

- 1- DoY, Yılın gününü (1-365) ifade eden veriler.
- 2- DAP, Dikim sonrası günü ifade eden veriler.
- 3- R_a ($MJ.m^{-2}.gün^{-1}$), Zamana ve konuma bağlı girdiler ile hesaplanan atmosfer yüzeyine gelen radyasyon (extraterrestrial radiation) değerleri.

3.2.5.5. GRM ile bitki su tüketimi tahmini

Genelleştirilmiş regresyon modellerin (GRM) girdileri belirlenirken, **(1)** tüm verilerin bulunduğu koşul ile **(2, 3 ve 4)** eksik veri koşuluna göre kurgu yapılmıştır. Her dört durum için, **(a)** mümkün olan tüm verilerin (*tüm veriler*)

kullanıldığı, **(b)** mümkün olan tüm verilerden en az değişken ile en iyi sonucu veren (*en iyi veriler*) modeller aranmıştır.

Eksik veri kurgusunda, **(2)** üretici koşullarında modellerin uygulanabilirliği için, pahalı algılayıcılar ile ölçülen solar radyasyon verisinin ($-R_s$) (dolayısıyla net radyasyon verisinin), **(3)** deneysel olarak elde edilen bitki katsayısının ($-K_c$) ve **(4)** her ikisinin ($-R_s - K_c$) de birlikte bulunmadığı modeller oluşturulmuştur.

En az değişken ile en iyi sonucu veren model aranırken (b), her iki yetiştirme ortamı ve 4 veri seti koşulu için en iyi sonucu ($R^2_{düz}$) veren 500 regresyon modeli (toplam 4000 model) taranmış ve her konu için farklı girdi kombinasyonlarını temsil eden 10 model çizelgeler ile bulgular ve tartışma bölümünde sunulmuştur. Her konu için en iyi genelleştirilmiş regresyon modeli seçilerek değerlendirmeye alınmıştır.

Genelleştirilmiş regresyon modelleri STATISTICA istatistiksel analiz paket programı kullanılarak oluşturulmuştur.

3.2.5.6. YSA ile bitki su tüketimi tahmini

Yapay sinir ağı (YSA) modellerinin genelleme yeteneğinin sınanması açısından, modellerde, verilerin % 68'lik kısmı eğitim, %16'sı doğrulama (validasyon) ve geri kalan %16'lık kısmı ise test verisi olarak kullanılmıştır (Khoob, 2008b). İleri beslemeli geri yayımlı (FFBP) YSA modelleri Alyuda NeuroIntelligence yazılımı ile oluşturulmuştur.

Girdiler, yapay hücrelerin sınırlı işlem değer aralığı nedeniyle ölçeklendirilerek kullanılmış, öğrenme işlemi tamamlandıktan sonra ise ölçeklendirilen veriler ters işlem ile orijinal değerlere dönüştürülmüştür. Ölçeklendirme, Eşitlik 27 kullanılarak yapılmıştır.

$$SF = (SR_{\max} - SR_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (26)$$

$$X_p = SR_{\min} + (X - X_{\min}).SF \quad (27)$$

Eşitlikte;

X : X verisinin gerçek değerini,
 $X_{\min}$: X veri setinin minimum değerini,

$X_{\max}$: X veri setinin minimum değerini,
 $SR_{\min}$: Ölçeklendirme aralığının alt limitini,
 $SR_{\max}$: Ölçeklendirme aralığının üst limitini,
 SF : Ölçeklendirme faktörünü,
 X_p : X verisinin ölçeklendirilmiş değerini,
 ifade eder.

Çıktılarda ölçeklendirme, linear aktivasyon fonksiyonu için -1 ile +1, logistic (sigmoid) aktivasyon fonksiyonu için 0 ile +1 aralığında yapılmıştır.

Model taramalarında kullanılacak olan girdi ve çıktı aktivasyon fonksiyonlarının belirlenmesi için bir ön çalışma yapılmıştır. Ön çalışmada, 3 girdi (linear, sigmoid, hiperbolik tanjant) ve 3 çıktı (linear, sigmoid, hiperbolik tanjant) aktivasyon fonksiyonu kombinasyonlarında yaklaşık 4000 yapay sinir ağı mimarisi taranmış ve girdi aktivasyon fonksiyonu olarak logistic (sigmoid), çıktı aktivasyon fonksiyonu olarak ise logistic ve linear fonksiyonlar kullanılmasına karar verilmiştir.

Yapay sinir ağlarının eğitiminde, CGD (Conjugate Gradient Descent), QN (Quasi-Newton), LMQN (Limited Memory Quasi-Newton) ve LVM (Levenberg-Marquardt) eğitim algoritmaları kullanılmıştır.

Yapay sinir ağı (YSA) girdileri belirlenirken, **(1)** tüm verilerin bulunduğu koşul ile **(2, 3 ve 4)** eksik veri koşullarına göre kurgu yapılmıştır.

Eksik veri kurgusunda, **(2)** üretici koşullarında modellerin uygulanabilirliği için, pahalı algılayıcılar ile ölçülen solar radyasyon verisinin ($-R_s$) (dolayısıyla net radyasyon verisinin), **(3)** deneysel olarak elde edilen bitki katsayısının ($-K_c$) ve **(4)** her ikisinde ($-R_s -K_c$) bulunmadığı modeller oluşturulmuştur. Aynı zamanda, otomasyon kolaylığı için YSA'nın, günün iklim verileri ile ertesi günün bitki su tüketimini tahminindeki başarısı da incelenmiştir.

En iyi yapay sinir ağı mimarileri aranırken, 1-2 gizli katman ve her katmanda 1-30 hücre içeren mimariler (610 mimari), 2 yetiştirme ortamı ve 4 girdi seti için, 2 farklı çıktı aktivasyon fonksiyonu ile yaklaşık 9800 yapay sinir ağı mimarisi taranmıştır. Her konu (2 ortam, 4 girdi koşulu, 2 aktivasyon fonk., toplam 16 konu) için, test hata değerleri minimum, belirleme katsayısı değerleri maksimum olan 5 mimari seçilmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Perlit yetiştirme ortamı için, tüm girdiler kullanılarak (12) yapılan taramanın en iyi 10 YSA (10/610) mimarisi

Mimari	Hata (Eğitim)	Hata (Doğrulama)	Hata (Test)	R ²
12-24-16-1	0,228	0,336	0,355	0,932
12-24-10-1	0,317	0,366	0,375	0,857
12-24-8-1	0,275	0,370	0,378	0,898
12-17-13-1	0,305	0,357	0,379	0,877
12-22-14-1	0,186	0,351	0,380	0,949
12-16-20-1	0,281	0,360	0,385	0,901
12-29-7-1	0,329	0,382	0,385	0,846
12-22-19-1	0,212	0,314	0,388	0,933
12-19-14-1	0,289	0,331	0,390	0,895
12-10-19-1	0,303	0,338	0,391	0,881

Tarama sonucunda her konu için (16 konu) seçilen mimariler (80 mimari), 4 farklı eğitim algoritması ile eğitilmiş ve test veri seti ile en iyi sonucu veren 5 model, ilgili konularda (2 ortam, 4 girdi koşulu, toplam 8 konu) çizelgeler ile bulgular ve tartışma bölümünde gösterilmiştir. Her konu için (8 konu), test veri seti ile en iyi tahminleme yapan YSA modeli değerlendirmeye alınmıştır.

3.2.6. Verilerin değerlendirilmesi ve istatistiksel analiz

Araştırmadan elde edilen toplam verim, pazarlanabilir verim, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı verileri, tüm dönemler ve ortamlar için, ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler SPSS istatistiksel analiz paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılıkları varyans analizi sonucunda önemli bulunduğu %5 önem düzeyinde ($p < 0.05$) LSD (Least Significant Difference) testi yapılmıştır (Efe vd., 2000).

Dönemlik verim grafiklerinde, konular içerisinde tekerrürlerin ortalamaya etkisini gösterebilmek için standart hata çizgileri kullanılmıştır.

Ölçülen ve tahmin edilen parametrelerin, birbiri ile ilişkisini belirlemek amacıyla, saçılma diyagramı (scatter-plot), regresyon denklemi ve belirleme katsayıları (R^2) kullanılmıştır.

Eşit sayıda girdi içeren modellerin karşılaştırılmasında belirleme katsayısı (R^2) anlamlı olabilmektedir. Ancak farklı sayıda girdi içeren modellerin karşılaştırılmasında düzeltilmiş belirleme katsayısı ($R^2_{düz}$) değerlerinin kullanılması, modelin girdi sayısının modele etkisi dâhil edildiği için, istatistiksel açıdan daha anlamlıdır.

$$R_{\text{düz}}^2 = 1 - \frac{N-1}{N-i-1} (1 - R^2) \quad (28)$$

Eşitlikte;

$R_{\text{düz}}^2$: Düzeltilmiş belirleme katsayısını,

N : veri sayısını,

i : modelde kullanılan girdi sayısını,

ifade eder.

Model değerlendirilmesinde kullanılan hata indislerinden biri hata kareler ortalaması kareköküdür (HKOK). HKOK'nın 0'a eşit olması kusursuz bir uyumu ifade eder. HKOK değeri 0'a yaklaştıkça, tahmin edilen değer, ölçülen değere yakınsar ve modelin başarısı artar.

$$HKOK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (O_i - T_i)^2} \quad (29)$$

Eşitlikte;

HKOK : Hata kareler ortalamasının karekökünü,

O_i : Ölçülen i. değeri (modelin tahmin etmesi beklenen),

T_i : Modelin tahmin ettiği i. değeri,

ifade eder.

Nash-Sutcliffe model etkinlik katsayısı (E), hidrolojik modellerin tahminleme gücünü belirlemek için kullanılır (Anonim, 2014; Nash et al., 1970). Araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan bu katsayı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$E = 1 - \frac{\sum (O_i - T_i)^2}{\sum (O_i - O_{\text{ort}})^2} \quad (30)$$

Eşitlikte;

E : Model etkinlik katsayısını,

O_i : Ölçülen i. değeri (modelin tahmin etmesi beklenen),

O_{ort} : Ölçülen değerlerin ortalamasını,

T_i : Modelin tahmin ettiği i. değeri,
ifade eder.

Nash-Sutcliffe model etkinlik katsayısı $-\infty$ ile 1.0 arasında değışir ve $E=1.0$ kusursuz modeldir. Negatif değerler ise ölçüm ortalamasının modelden daha iyi bir tahmin olduğunu ifade eder (Moriasi et al., 2007).

Bitki su tüketimi tahmini için kullanılan ampirik eşitlik ve modellerin tahmin başarısının değerlendirilmesinde, düzeltilmiş belirleme katsayısı ($R^2_{düz}$), hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK) ve Nash-Sutcliffe model etkinlik katsayısı (E) kullanılmıştır. Düzeltilmiş belirleme katsayısı ($R^2_{düz}$) ile model etkinlik katsayısı (E) yüksek, HKOK düşük olan modeller tercih edilmiştir.



4. BULGULAR

4.1. Kök Bölgesi Nem Algılayıcılarının Kalibrasyonu

Üretici firma (Delta-T Devices) tarafından belirlenen yöntem ile Theta-Probe ML2'nin kalibrasyonu yapılmıştır. Yaş ve kuru ML2 okumaları ve bu okumalardan hesaplanan dielektrik sabit kare kökü ($\sqrt{\epsilon}$, Permitivite, Eşitlik 18) ile kalibrasyon katsayıları (*Hesap Kutusu 1.*) Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Perlit ve cocopeat'ın tarla kapasitesi değerleri sırasıyla 0,86 V ve 1,05 V olarak elde edilmiştir. Gravimetrik yöntem ile elde edilen tarla kapasitesi değerleri de, sırasıyla %37 ve %48 olarak bulunmuştur. Örnekler kurutulduktan sonra alınan ML2 okumaları da 0.04 V ve 0.16 V olmuştur.

Çizelge 4.1. Perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları kalibrasyon katsayıları

	Perlit	Cocopeat
Yaş okuma (V)	0.86	1.05
Permitivite ($\sqrt{\epsilon_y}$)	4.83	6.17
Kuru Okuma (V)	0.04	0.16
Permitivite ($\sqrt{\epsilon_k}$)	1.30	1.95
Hacimsel nem içeriği (θ_y)	37%	48%
Katsayı, a_1	10.70	8.80
Katsayı, a_0	1.30	1.95

Hesap Kutusu 1.

Perlit ;

$$\sqrt{\epsilon_y} = 4.70 \times (0.86)^3 - 6.40 \times (0.86)^2 + 6.40 \times 0.86 + 1.07 \Rightarrow \sqrt{\epsilon_y} = \mathbf{4.83}$$

$$\sqrt{\epsilon_k} = 4.70 \times (0.04)^3 - 6.40 \times (0.04)^2 + 6.40 \times 0.04 + 1.07 \Rightarrow \sqrt{\epsilon_k} = \mathbf{a_0 = 1.30}$$

$$\theta_y = (\sqrt{\epsilon} - a_0)/a_1 \Rightarrow 0.33 = (4.83 - 1.30) / a_1 \Rightarrow \mathbf{a_1 = 10.70}$$

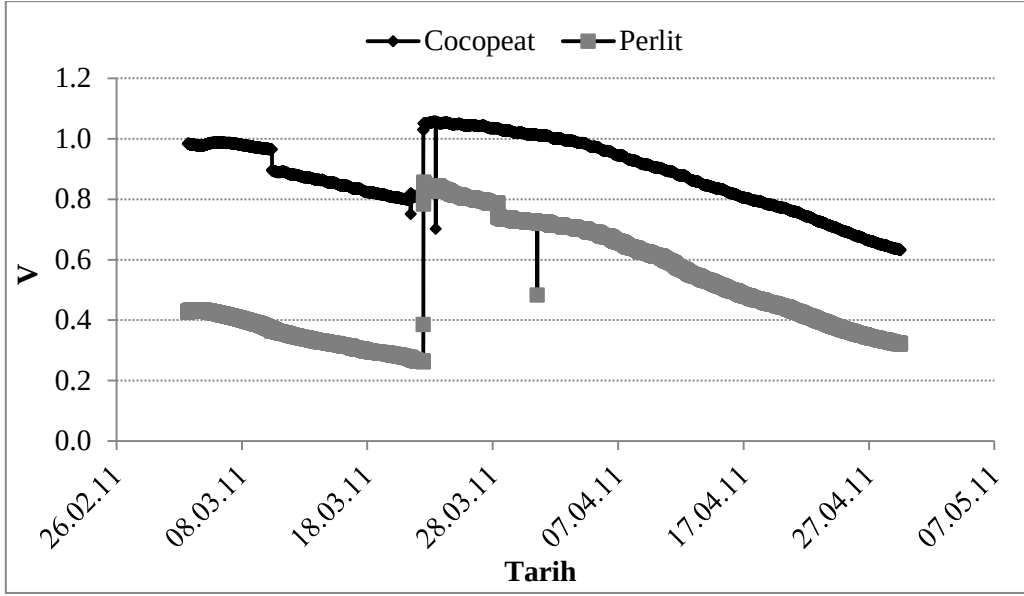
Cocopeat ;

$$\sqrt{\epsilon_y} = 4.70 \times (1.05)^3 - 6.40 \times (1.05)^2 + 6.40 \times 1.05 + 1.07 \Rightarrow \sqrt{\epsilon_y} = \mathbf{6.17}$$

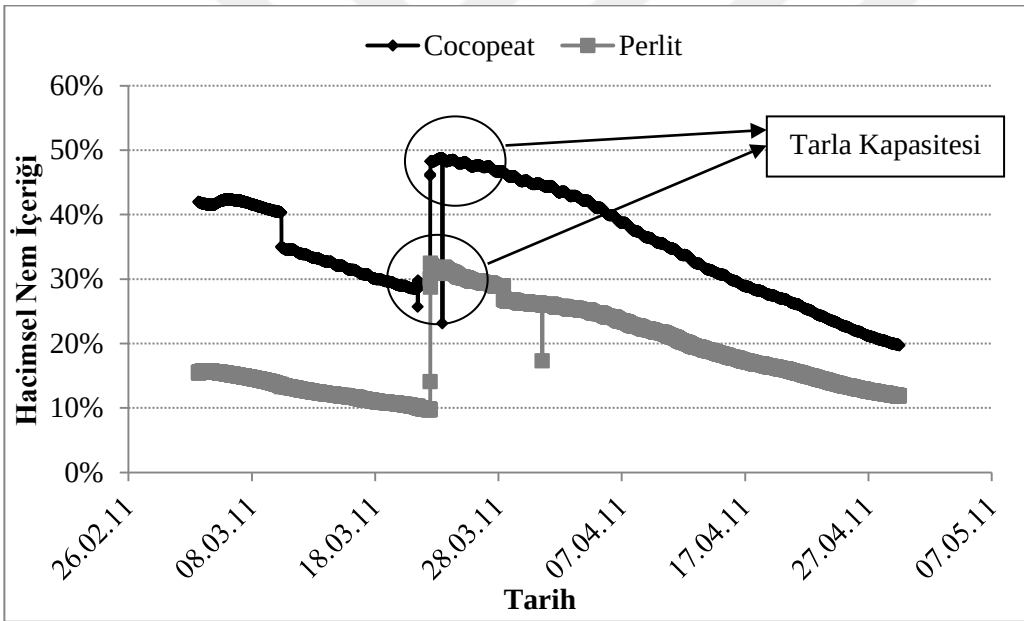
$$\sqrt{\epsilon_k} = 4.70 \times (0.16)^3 - 6.40 \times (0.16)^2 + 6.40 \times 0.16 + 1.07 \Rightarrow \sqrt{\epsilon_k} = \mathbf{a_0 = 1.95}$$

$$\theta_y = (\sqrt{\epsilon} - a_0)/a_1 \Rightarrow 0.48 = (6.17 - 1.95) / a_1 \Rightarrow \mathbf{a_1 = 8.80}$$

Eşzamanlı yürütülen deneyde kayıt edilen ML2 (V) verileri (Şekil 4.1), kalibrasyon katsayıları ile hacimsel nem içeriğine (θ_w) dönüştürülmüş ve her iki yetiştirme ortamı için kuruma grafikleri elde edilmiştir. Gravimetrik yöntem ile elde edilen tarla kapasitesi (Perlit = %37, Cocopeat = %48) değerleri, ML2 okumaları ile eşleştirilmiş ve kalibrasyon doğrulanmıştır (Şekil 4.2).

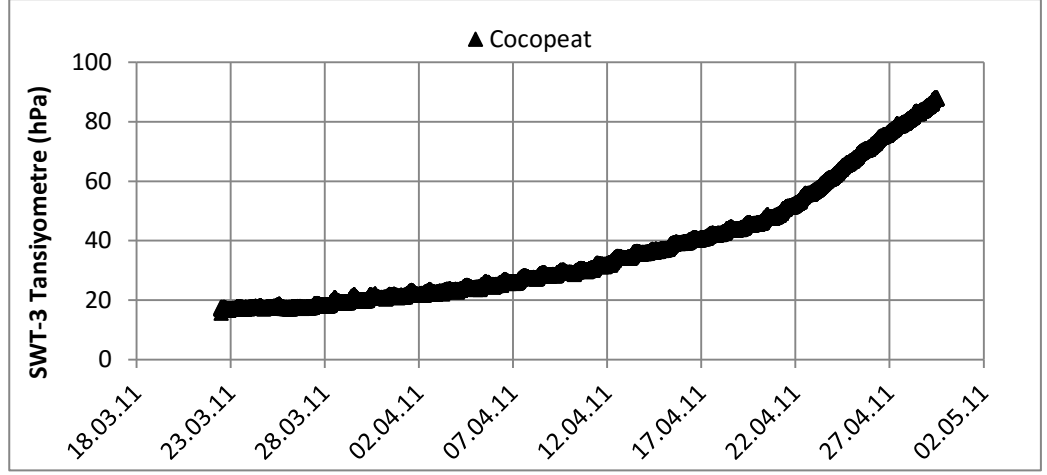


Şekil 4.1. Kalibrasyon öncesi dönüştürülmemiş ML2 okumaları (V)

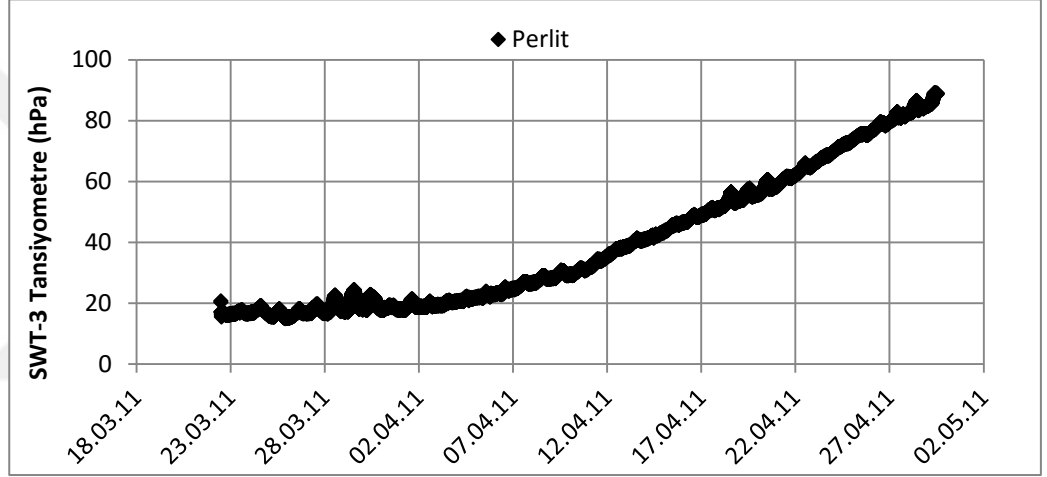


Şekil 4.2. Kalibrasyon katsayıları ile dönüştürülmüş ML2 okumaları (θ_w)

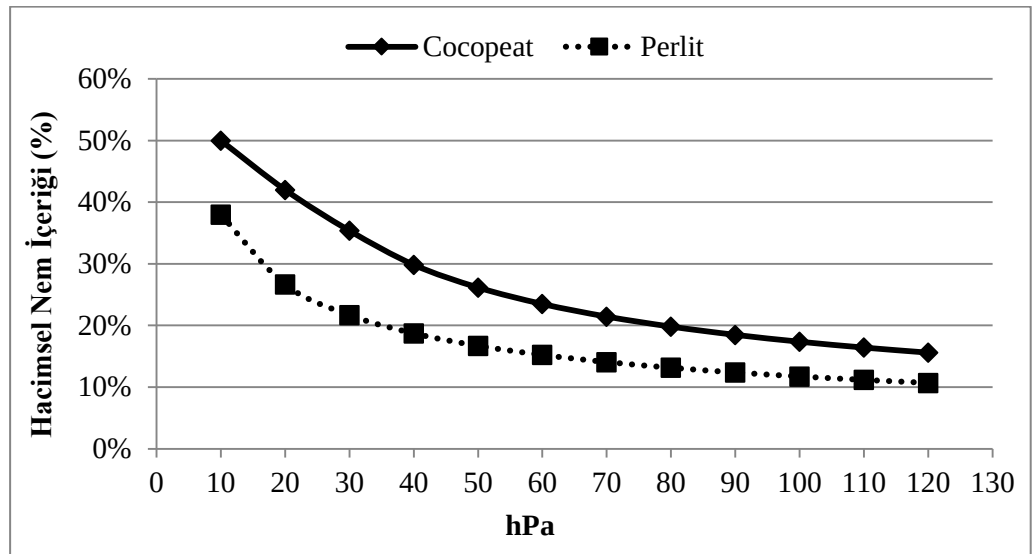
Çalışmada, ML2 verileri ile birlikte SWT-3 Tansiyometre verileri de alınmıştır (Şekil 4.3 ve 4.4). ML2 okumaları (θ_w) ile SWT-3 (hPa) verileri karşılaştırılarak ortam karakteristik eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.3. Cocopeat yetiştirme ortamı SWT-3 Tansiyometre verileri



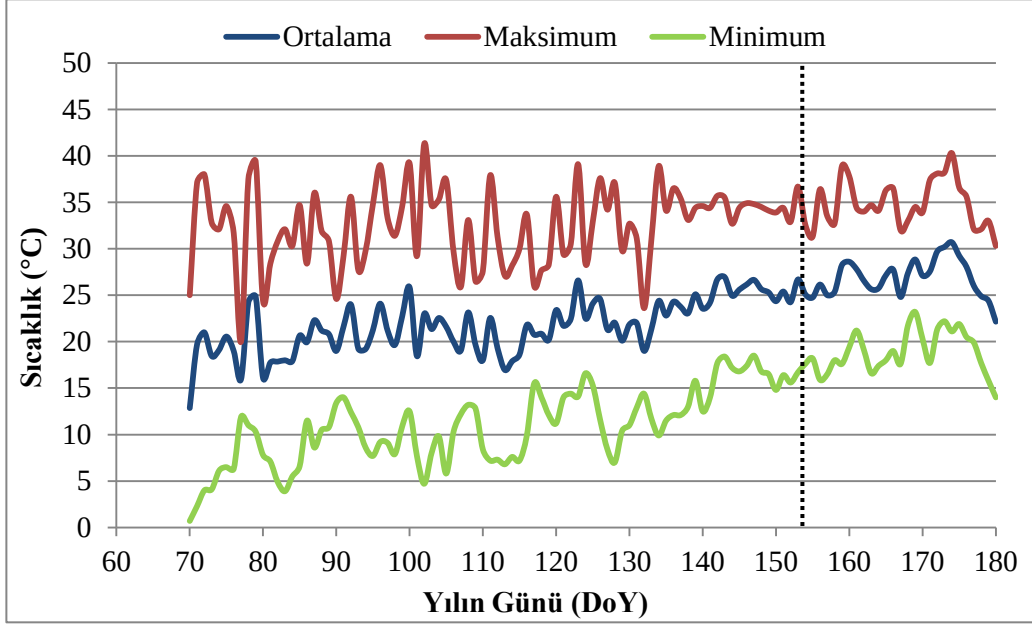
Şekil 4.4. Perlit yetiştirme ortamı SWT-3 Tansiyometre verileri



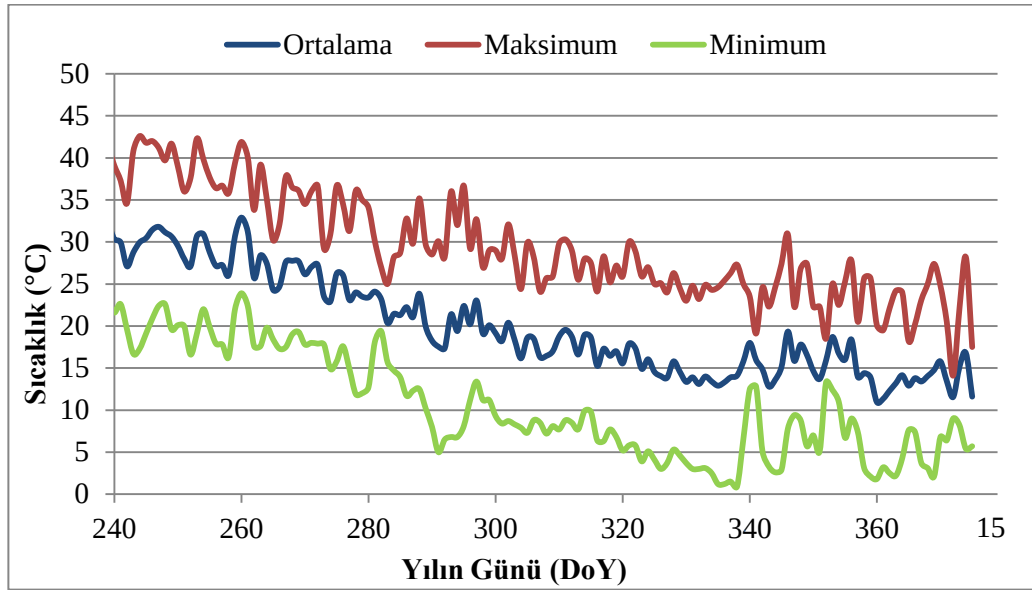
Şekil 4.5. Yetiştirme ortamlarının karakteristik eğrileri

4.2. İklim Verileri

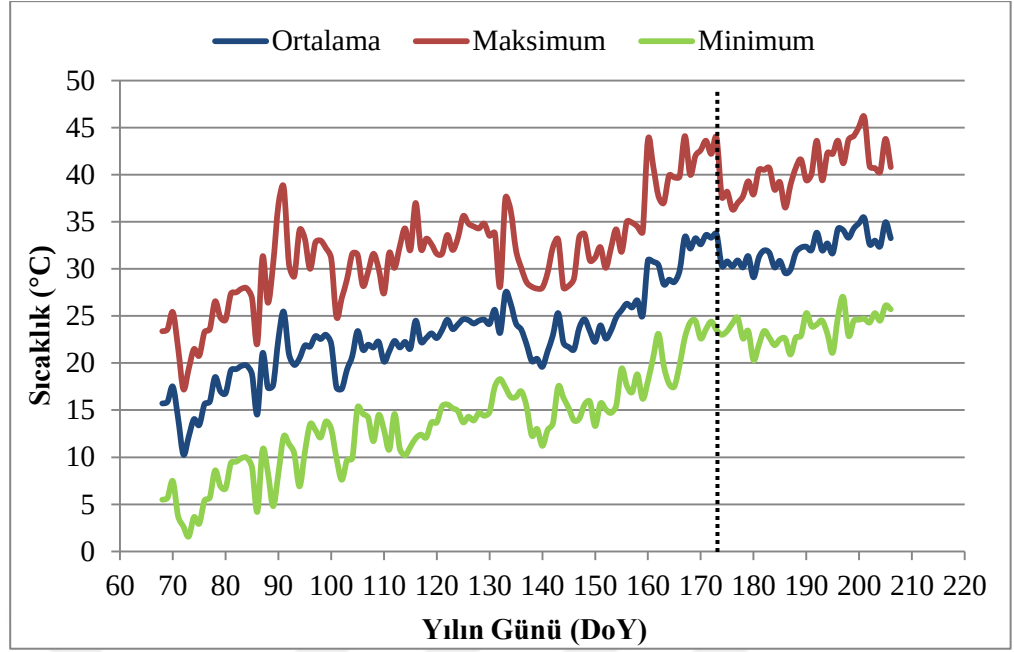
Yetiştirme dönemleri sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklarının değişimi Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9’da verilmiştir. İlkbahar dönemlerinde, gölgeleme örtüsünün serildiği gün (I.Dönem: 02.06.2011 – 153.gün, III.Dönem: 22.06.2012 – 174.gün), tüm iklim verilerinde kesikli çizgi ile belirtilmiştir.



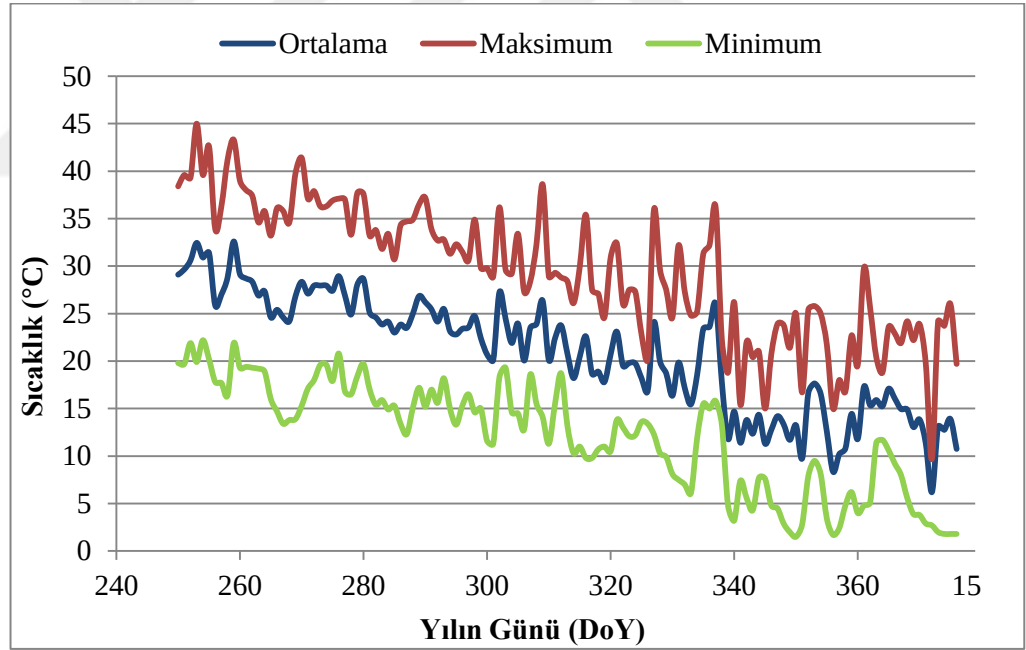
Şekil 4.6. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri (I.Dönem-İlkbahar)



Şekil 4.7. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri (II.Dönem-Sonbahar)



Şekil 4.8. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri (III.Dönem-İlkbahar)

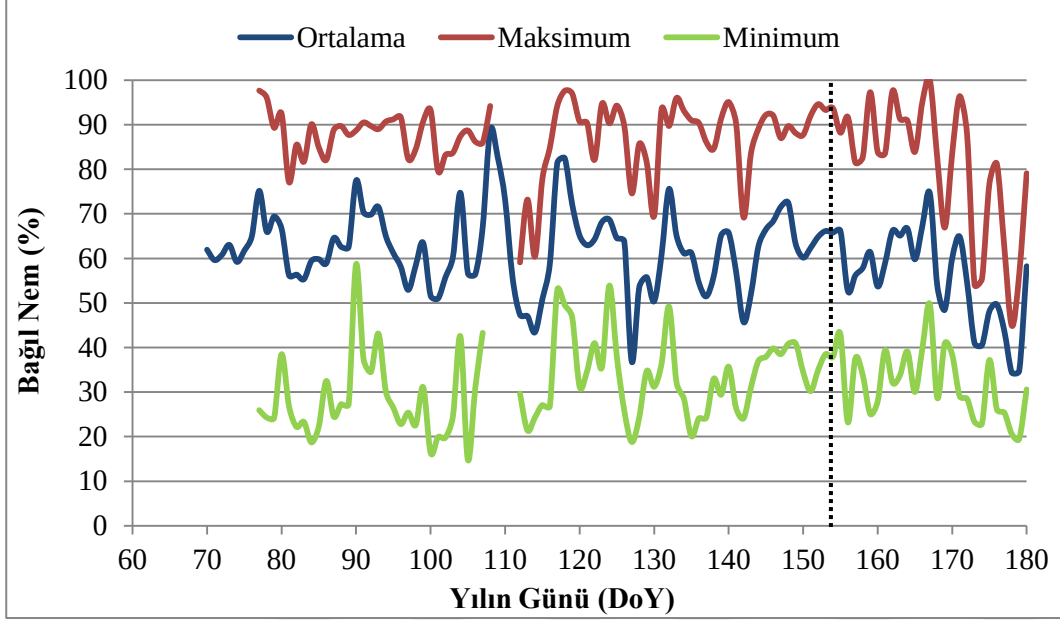


Şekil 4.9. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri (IV.Dönem-Sonbahar)

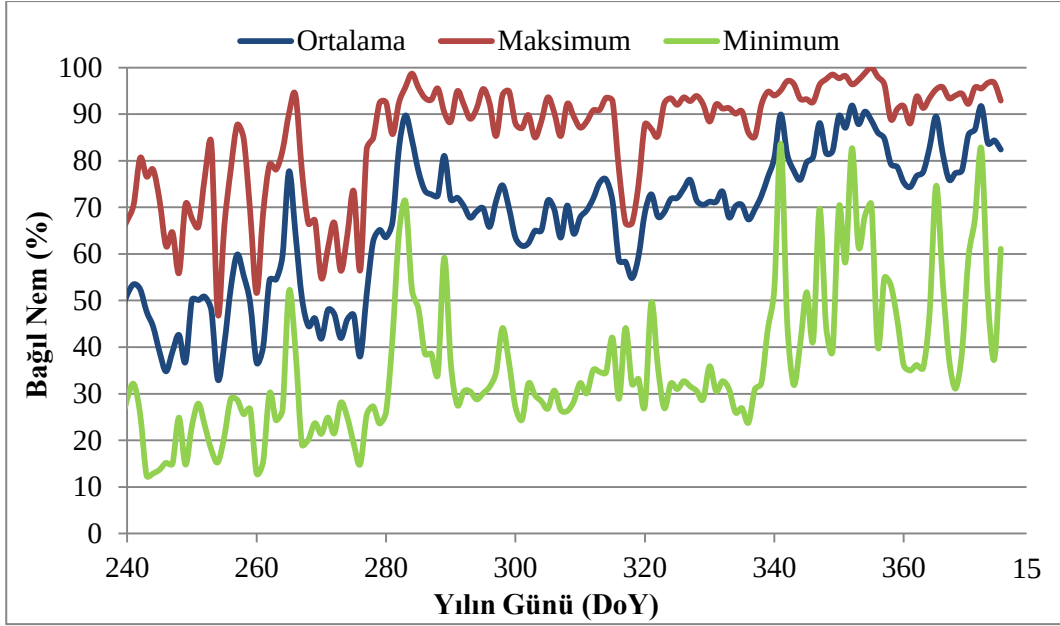
Sonbahar yetiştirme dönemleri incelendiğinde sera içi günlük ortalama sıcaklık değerleri, dönem başında 25-30 °C aralığındayken dönem sonuna doğru 10-15 °C aralığına inerek benzerlik göstermiştir. İlkbahar yetiştirme dönemlerinde ise, III.dönemin, I.döneme göre daha sıcak geçtiği görülmüştür. Dönem başında

15-20 °C aralığında olan ortalama sıcaklık değerleri, dönem sonunda I.dönem için 25-30 °C aralığında kalırken, III.dönemde 30-35 °C aralığına kadar yükselmiştir.

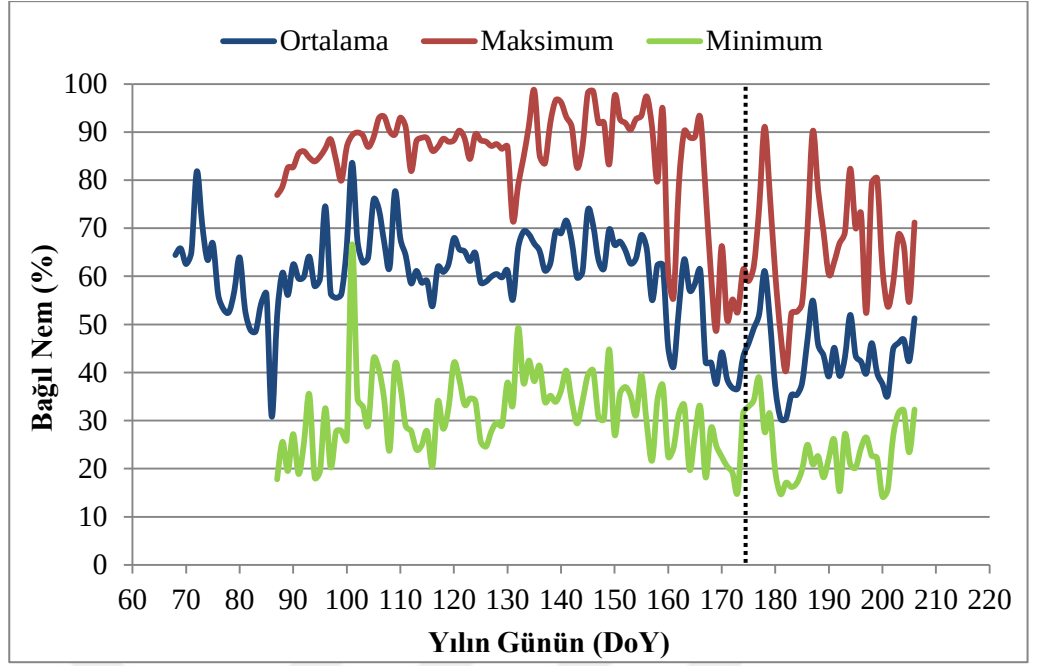
Yetiştirme dönemleri sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değişimi Şekil 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13’de verilmiştir.



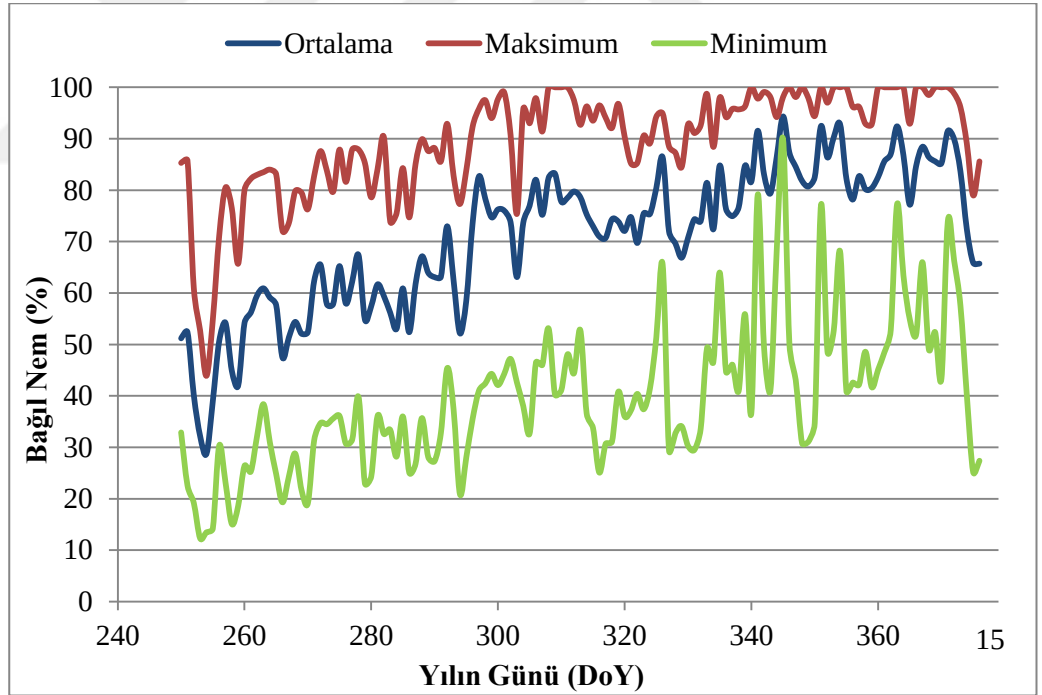
Şekil 4.10. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri (I.Dönem-İlkbahar)



Şekil 4.11. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri (II.Dönem-Sonbahar)



Şekil 4.12. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri (III.Dönem-İlkbahar)

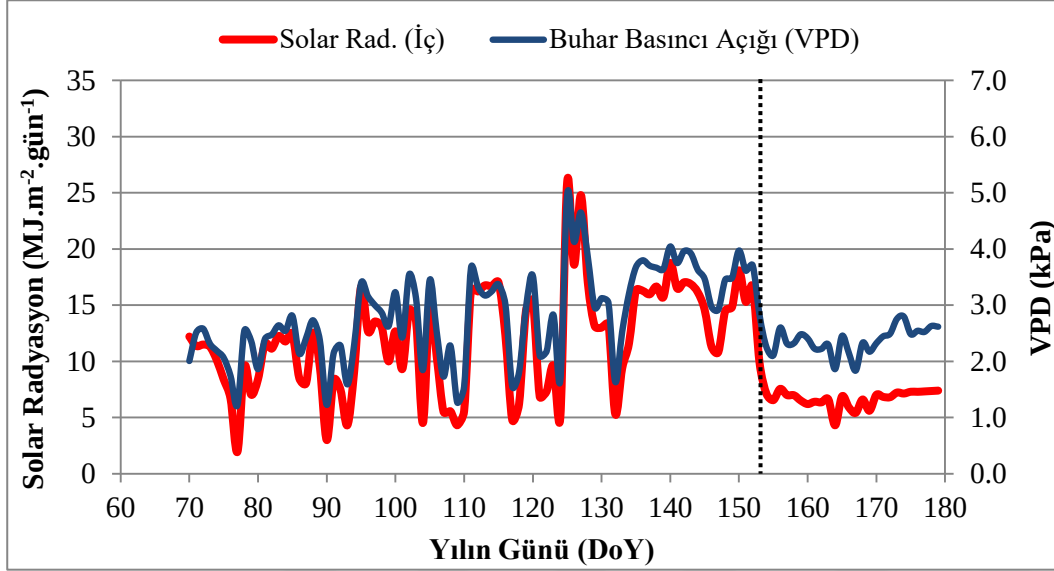


Şekil 4.13. Sera içi günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem değerleri (IV.Dönem-Sonbahar)

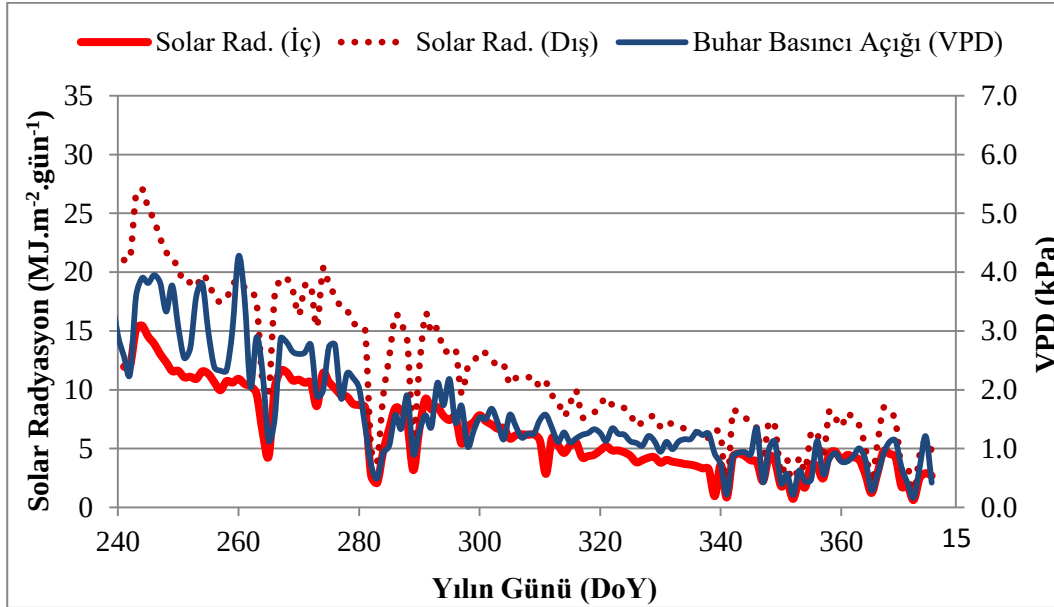
Sonbahar yetiştirme dönemleri incelendiğinde sera içi ortalama bağıl nem değerleri, dönem başında %40 - %50 aralığındayken dönem sonuna doğru %80 - %90 aralığına çıkarak benzerlik göstermiştir. İlkbahar yetiştirme dönemlerinde ise, dönem başında %60 - %70 aralığında olan ortalama bağıl nem

değerleri, dönem sonunda da %40 - %50 aralığında değişmiştir. I.dönemde, günlük ortalama bağıl nem, III.döneme kıyasla, daha geniş bir aralıkta değişkenlik göstermiştir.

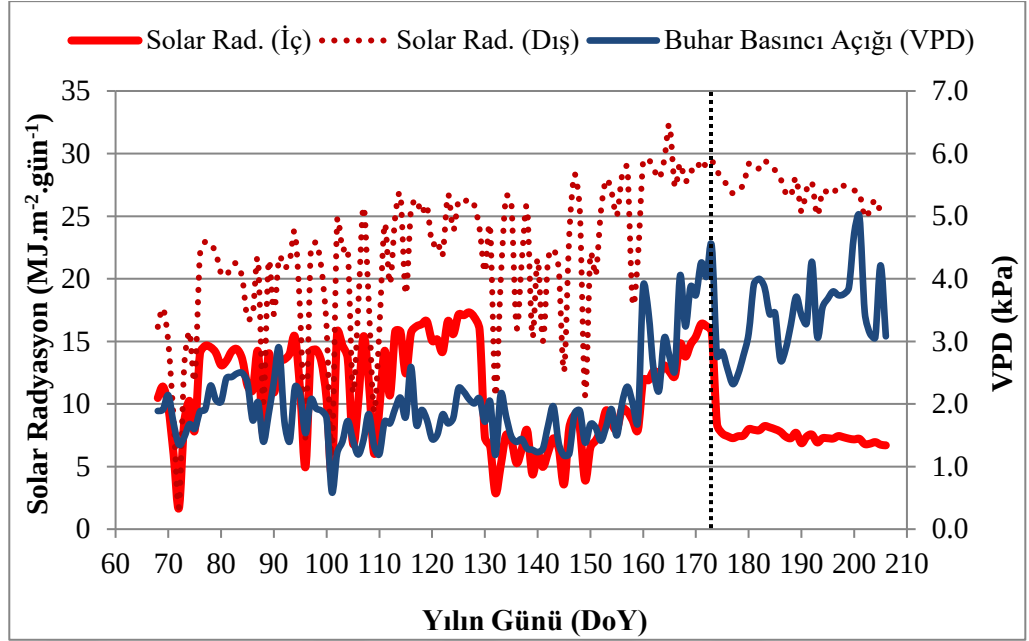
Yetiştirme dönemleri için solar radyasyon ve buhar basıncı açığı değişimi Şekil 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17’de verilmiştir.



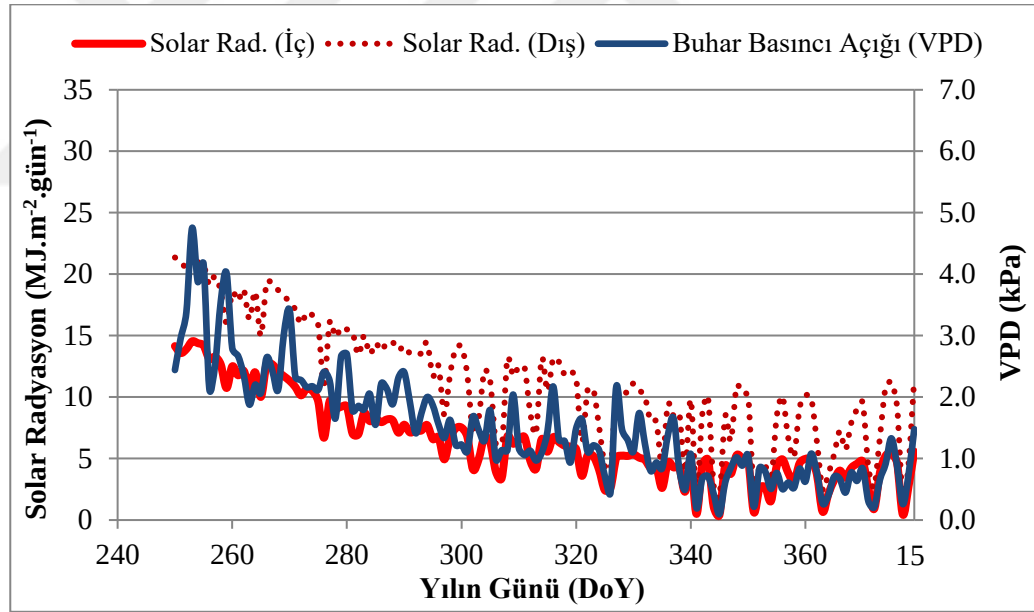
Şekil 4.14. Günlük sera içi solar radyasyon ve buhar basıncı açığı değerleri (I.Dönem-İlkbahar)



Şekil 4.15. Günlük sera içi ve dışı solar radyasyon ile buhar basıncı açığı değerleri (II.Dönem-Sonbahar)



Şekil 4.16. Günlük sera içi ve dışı solar radyasyon ile buhar basıncı açığı değerleri (III.Dönem-İlkbahar)



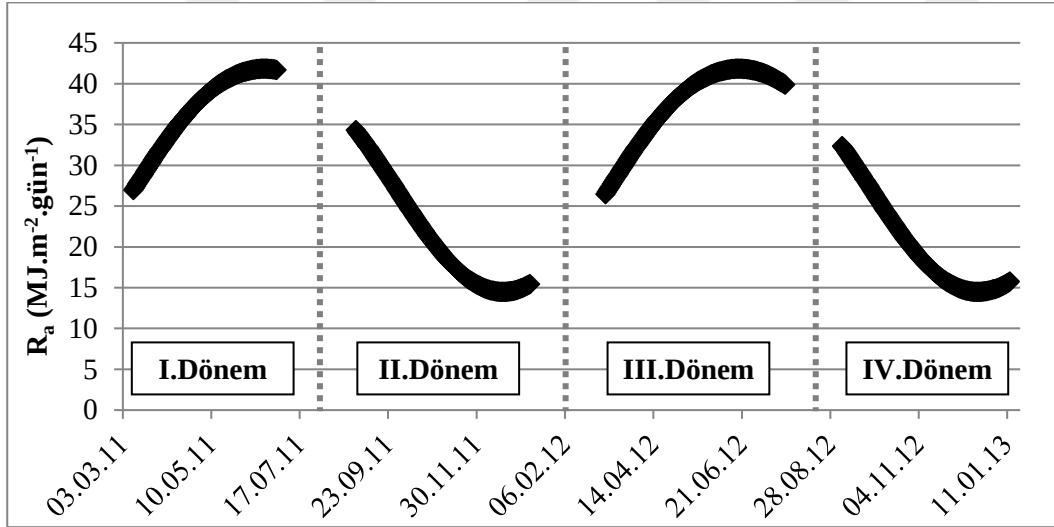
Şekil 4.17. Günlük sera içi ve dışı solar radyasyon ile buhar basıncı açığı değerleri (IV.Dönem-Sonbahar)

Sera içinde ve dışında ölçülen solar radyasyon değerleri beklendiği gibi sonbahar dönemlerinde azalan bir eğilim gösterirken, ilkbahar dönemlerinde yükselişte olmuştur. İlkbahar dönemlerinin sonlarına doğru, sera üzerine örtülen gölgeleme örtüsü nedeniyle, sera içi solar radyasyon değerleri düşüş göstermiştir. Yapılan gölgelemenin etkisi ile sera içi ve dışı solar radyasyon değerleri arasındaki fark artmıştır. Bu etki Şekil 4.16'da net bir şekilde görülmektedir.

I.yetiştirme döneminde sera dışı solar radyasyon değerleri sensör arızası nedeniyle ölçülememiştir.

Sera içi buhar basıncı açığı değerleri de her dönem gerek solar radyasyon gerekse de sıcaklık değerlerine benzer bir seyir izlemiştir. Sonbahar dönemleri için, dönem başında 2.0-3.0 kPa aralığında olan günlük ortalama buhar basıncı açığı, yetiştirme dönemlerinin son çeyreğinde 0.0-1.0 kPa aralığına düşmüştür. İlkbahar yetiştirme dönemlerinde buhar basıncı açığı 2.0-3.0 kPa aralığında başlamış fakat III.dönem, daha sıcak ve daha az nemli geçtiği için, bu dönemde daha yüksek değerler ortaya çıkmıştır.

Tüm yetiştirme dönemleri için hesaplanan atmosfer yüzeyine gelen radyasyon (Extraterrastrial radyasyon) değerleri Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Tüm yetiştirme dönemleri için hesaplanan atmosfer yüzeyine gelen radyasyon değerleri ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{gün}^{-1}$)

Tüm yetiştirme dönemlerinden elde edilen iklim verilerine ilişkin özet bilgi Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yetiştirme dönemlerine göre iklim verilerinin günlük minimum, maksimum ve ortalama değerleri

	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)			Bağıl Nem (%)			R_s ($\text{MJm}^{-2}.\text{gün}^{-1}$)		
	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.
I.Dönem	21.2	29.9	12.9	62.6	92.9	34.4	9.8	25.9	0.6
II.Dönem	17.3	31.7	7.6	67.1	91.9	33.1	6.4	15.5	0.6
III.Dönem	24.1	37.6	10.3	56.6	83.6	30.4	10.3	17.3	1.7
IV.Dönem	18.2	30.9	6.2	71.3	94.3	28.7	6.5	14.5	0.4

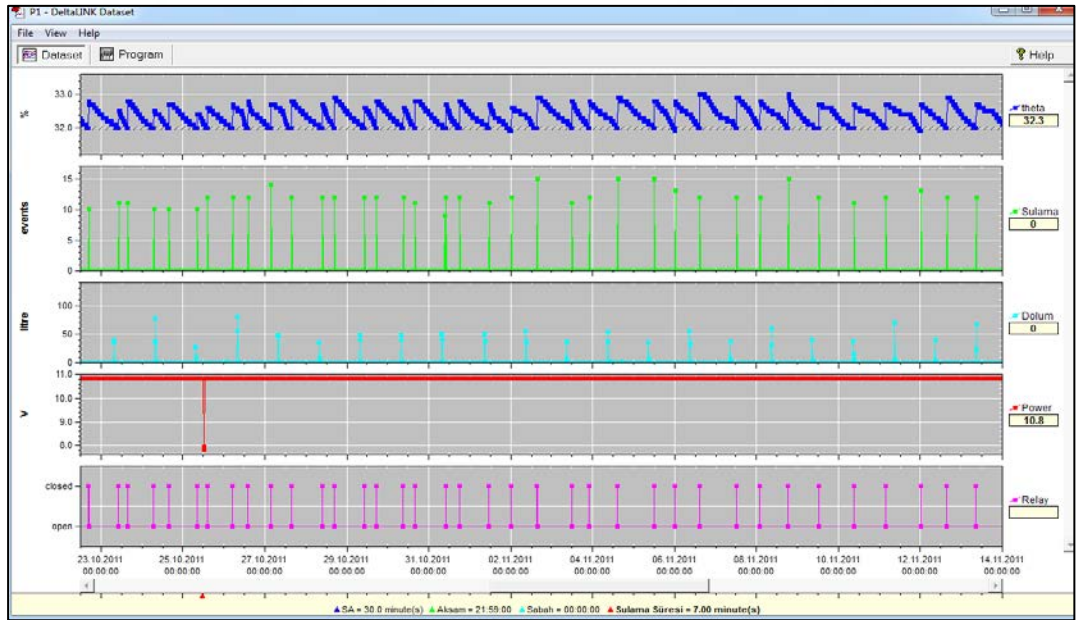
4.3. Sulama Suyu Miktarı ve Bitki Su Tüketimi Verileri

Sulamalar, ortamlara özel kalibrasyonu yapılan kök bölgesi nem algılayıcıları aracılığıyla, belirlenen sulama eşikleri doğrultusunda (Çizelge 4.3) otomatik olarak yönetilmiştir. Tam sulama konusunda, kullanılabilir nem kapasitesinin %20’lik kısmının tüketilmesine izin verilirken, kısıt konusunda %50’lik nem açığına izin verilmiştir.

Çizelge 4.3. Otomasyonda kullanılan sulama eşikleri

	Perlit (%P _v)	Cocopeat (%P _v)
%20 Nem açığı sulama başlama eşiği	32%	42%
%50 Nem açığı sulama başlama eşiği	25%	33%

Sulama yönetimine ait görsel Şekil 4.19’da verilmiştir. Kök bölgesi nem düzeyi koyu mavi ile gösterilmiştir. Kök bölgesi nem miktarı perlit-tam sulama konusunun sulama eşiği olan %32 değerine ulaştığında sulama otomatik olarak başlatılmıştır. Sulama süresince sayaçtan geçen su miktarı yeşil ile gösterilmiştir. Her günün sonunda konulara ait besin solüsyonu tankından azalan miktar kadar yapılan dolum ise açık mavi ile gösterilmiştir.



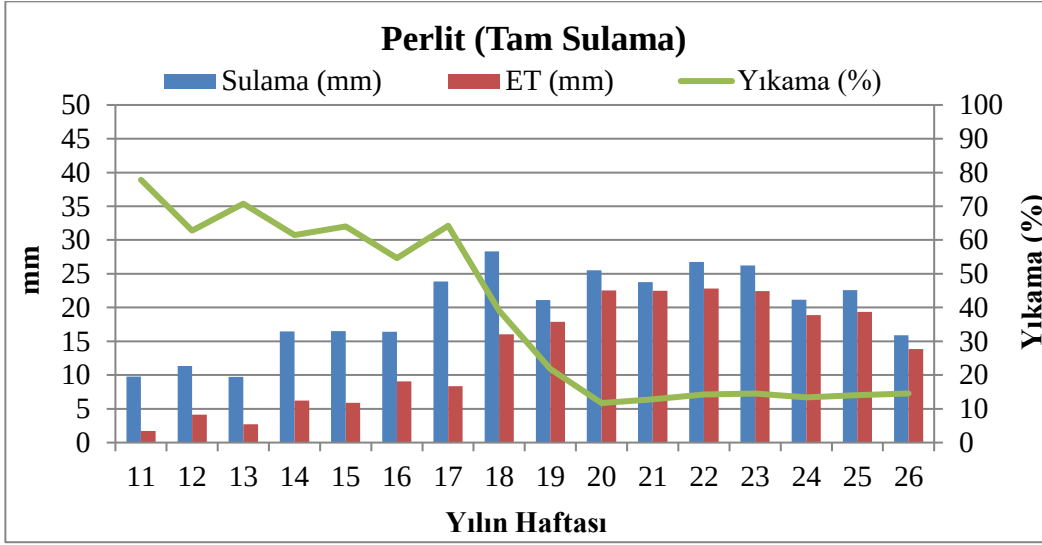
Şekil 4.19. Perlit-Tam Sulama konusunun otomasyonu

Araştırmada, kapalı sistemde sirküle edilen, her sulamada bitkilere uygulanan besin solüsyonu miktarı “sulama suyu miktarı” olarak ifade edilmiştir.

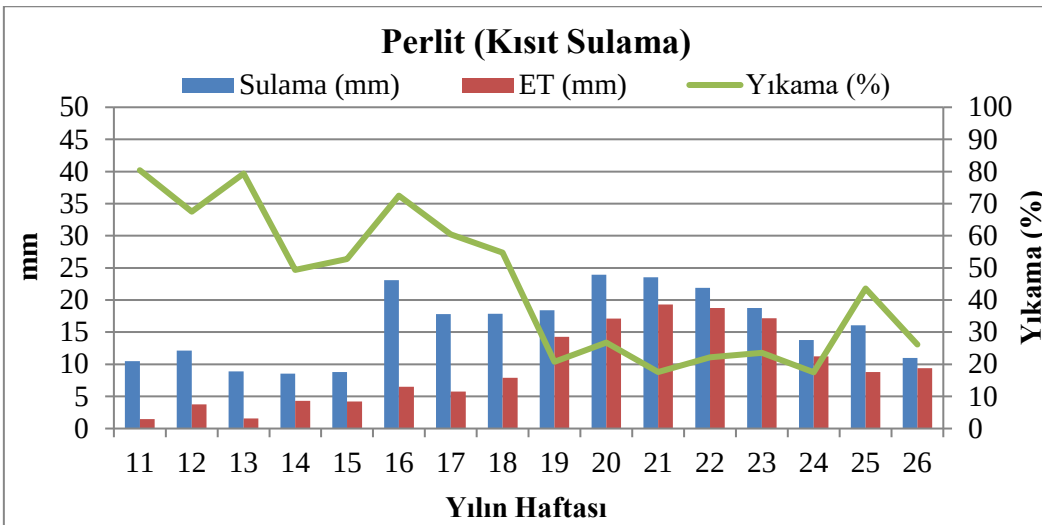
Yetiştirme dönemi boyunca kapalı sistemde kullanılan, besleme tanklarına doldurulan solüsyon miktarı ise “kullanılan besin solüsyonu miktarı (Dolum)” olarak ifade edilmiştir.

4.3.1. I.Dönem (İlkbahar 2011)

I.Dönemde, tam ve kısıt sulama konuları ile perlit yetiştirme ortamı içerisinde yetiştirilen domates bitkisine ait haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı değerleri Şekil 4.20 ve 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.20. “Perlit-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (I.Dönem)

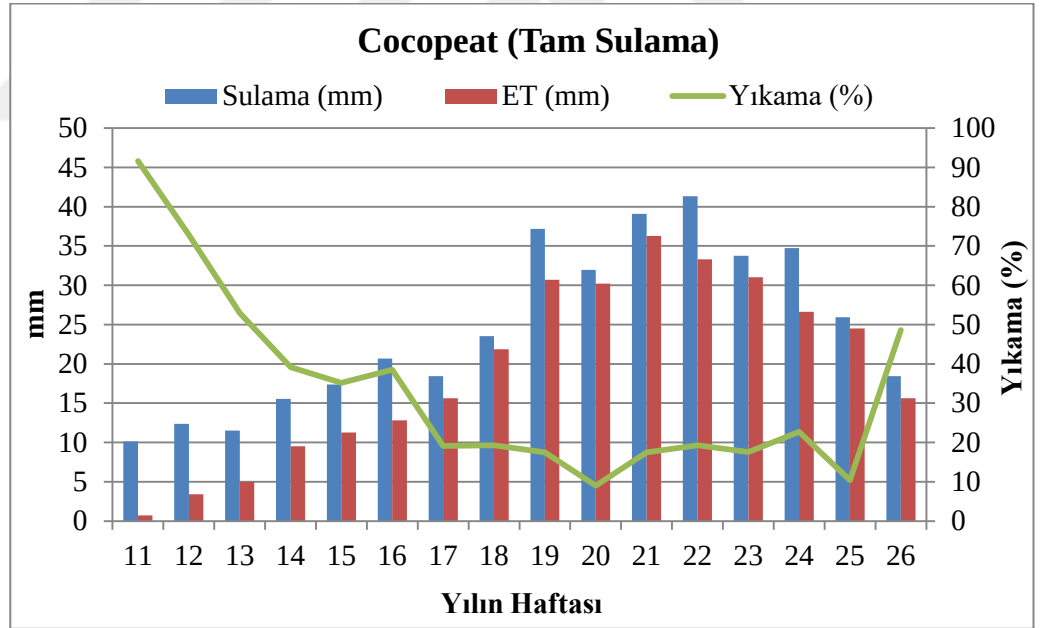


Şekil 4.21. “Perlit-Kısıt Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (I.Dönem)

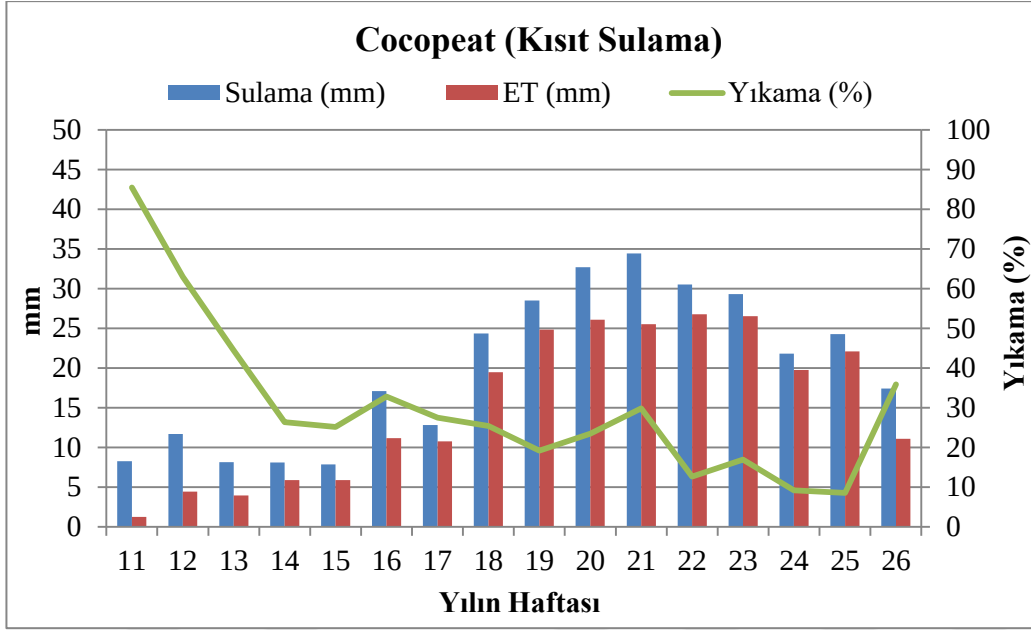
Her iki sulama konusunda dönem başında haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi miktarları benzerlik gösterirken kısıt uygulamasının başlaması ile tam sulama konusunda hem sulama suyu miktarı hem de bitki su tüketimi daha yüksek olmuştur. En yüksek haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi, sırasıyla, 28.3 mm ve 22.8 mm ile tam sulama konusunda görülürken, kısıt sulama konusunda en fazla 23.9 mm ve 19.3 mm olmuştur. Haftalık ortalama sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, sırasıyla, tam sulama konusunda 19.7 mm ve 13.4 mm olurken, kısıt sulama konusunda 15.9 mm ve 9.5 mm olarak ölçülmüştür.

Yetiştirme dönemi boyunca, perlit tam sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 6 arasında değişmiş ve dönemlik ortalaması 2.5 sulama.gün⁻¹ olmuştur. Kısıt sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 5 arasında değişirken dönemlik ortalama 2.0 sulama.gün⁻¹ olmuştur.

Tam ve Kısıt sulama konuları ile cocopeat yetiştirme ortamı içerisinde yetiştirilen domates bitkisine ait haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı değerleri Şekil 4.22 ve 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.22. “Cocopeat-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (I.Dönem)



Şekil 4.23. “Cocopeat-Kısıt sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (I.Dönem)

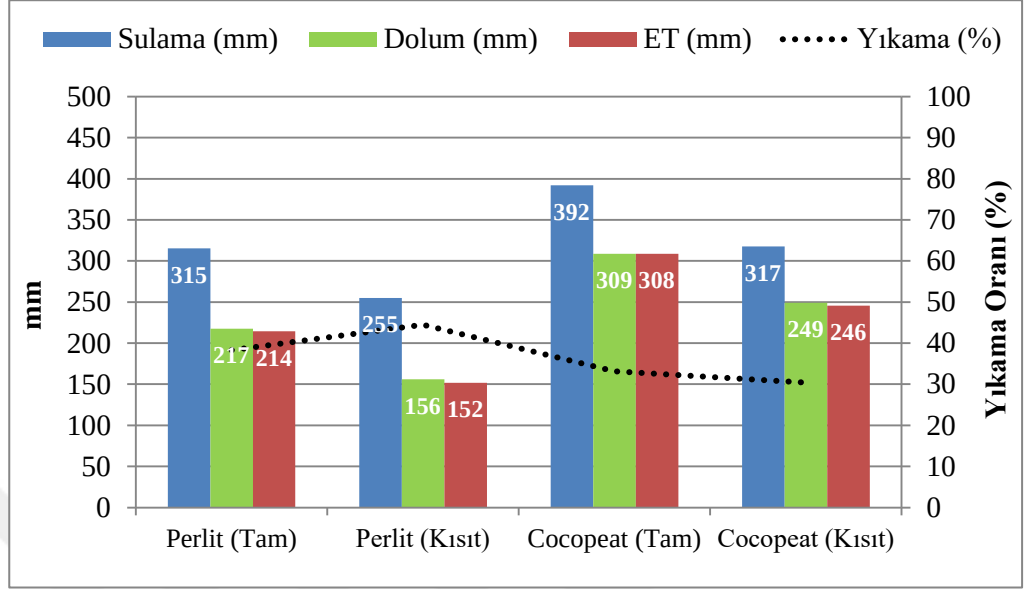
Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi miktarları kısıt uygulaması başlangıcına kadar yine benzerlik göstermiş fakat kısıt uygulamasına başlanması ile farklılık göstermiştir. En yüksek haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi, sırasıyla, 41.3 mm ve 36.3 mm ile tam sulama konusunda görülürken, kısıt sulama konusunda en fazla 34.4 mm ve 26.8 mm olmuştur. Haftalık ortalama sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, sırasıyla, tam sulama konusunda 24.5 mm ve 19.3 mm olurken, kısıt sulama konusunda 19.8 mm ve 15.4 mm olarak ölçülmüştür.

Yetiştirme dönemi boyunca, cocopeat tam sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 6 arasında değişmiş ve dönemlik ortalaması 3.3 sulama.gün⁻¹ olmuştur. Kısıt sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 7 arasında değişirken dönemlik ortalama 2.8 sulama.gün⁻¹ olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamında, perlit’e göre daha fazla sulama yapılmıştır. Tam sulama konusunda cocopeat’te %24.2 (3.3→2.5 sulama.gün⁻¹) fazla sulama yapılırken, kısıt konusunda %28.6 (2.8→2.0 sulama.gün⁻¹) daha fazla sulama yapılmıştır.

Kısıt uygulaması ile cocopeat yetiştirme ortamında günlük sulama sayısının dönemlik ortalaması %15 (3.3→2.8 sulama.gün⁻¹) azalırken, perlit yetiştirme ortamında %20 (2.5→2.0 sulama.gün⁻¹) azalmıştır.

I.döneme ilişkin tüm konuların, sulama suyu miktarı (sulama, mm), sistemde kullanılan besin solüsyonu miktarı (dolum, mm), bitki su tüketimi (ET, mm) ve dönemlik ortalama yıkama oranları (%) Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24. Tüm konulara ilişkin sulama suyu, dolum, bitki su tüketimi ve dönemlik ortalama yıkama oranı verileri (I.Dönem)

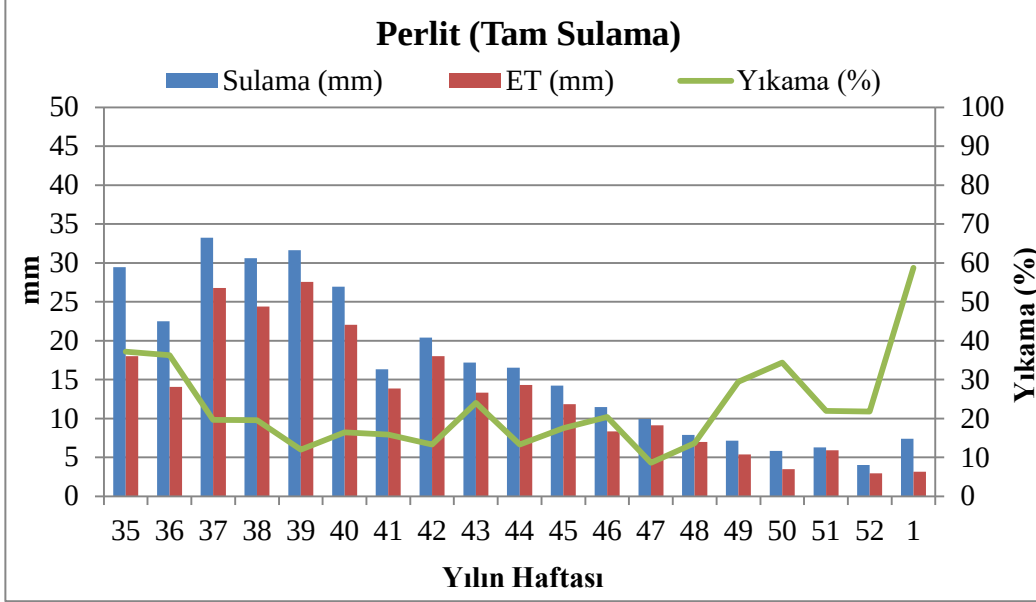
Dönem boyunca kapalı sistemde çevirilen sulama suyu miktarı perlit'te, tam ve kısıt sulama konuları için, sırasıyla, 315 mm ve 255 mm olurken, cocopeat'te ise 392 mm ve 317 mm olmuştur. Kısıt uygulaması ile uygulanan sulama suyu miktarı, perlit'te %19.2 (60 mm), cocopeat'te ise %19 (75 mm) daha düşük olmuştur. Mevsimlik bitki su tüketim değerleri perlit'te, tam ve kısıt sulama konuları için, sırasıyla, 214 mm ve 152 mm, cocopeat'te ise 308 mm ve 246 mm ölçülmüştür. Kısıt uygulaması ile bitki su tüketimi, perlit'te %29.3 (62 mm), cocopeat'te ise %20.4 (62 mm) azalmıştır.

Yetiştirme döneminde kullanılan besin solüsyonu (dolum) incelendiğinde, kısıt uygulaması ile perlit ve cocopeat'te, sırasıyla, %28.3 (61 mm) ve %19.3 (60 mm) besin solüsyonu tasarrufu sağlanmıştır.

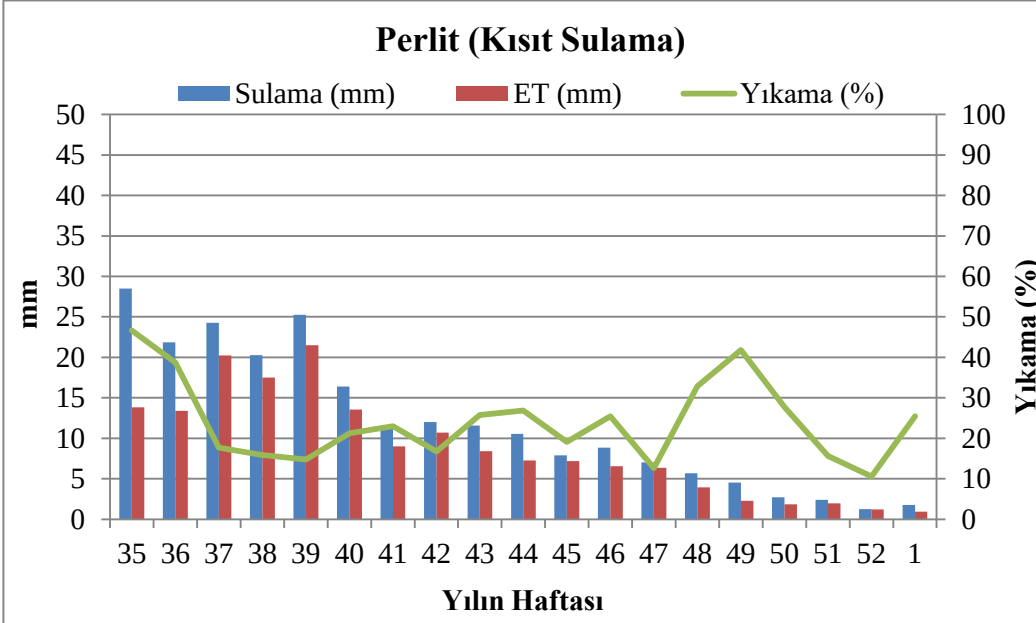
Yetiştirme ortamlarında, sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve sulama sayısı yönünden oluşan farklılıklar, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel (tane büyüklüğü, porozite, hidrolik geçirgenlik, su/hava oranı, boşluk çapı dağılımı, vb.) ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir.

4.3.2. II.Dönem (Sonbahar 2011)

II.Dönemde, tam ve kısıt sulama konuları ile perlit yetiştirme ortamı içerisinde yetiştirilen domates bitkisine ait haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı değerleri Şekil 4.25 ve 4.26'de verilmiştir.



Şekil 4.25. “Perlit-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (II.Dönem)

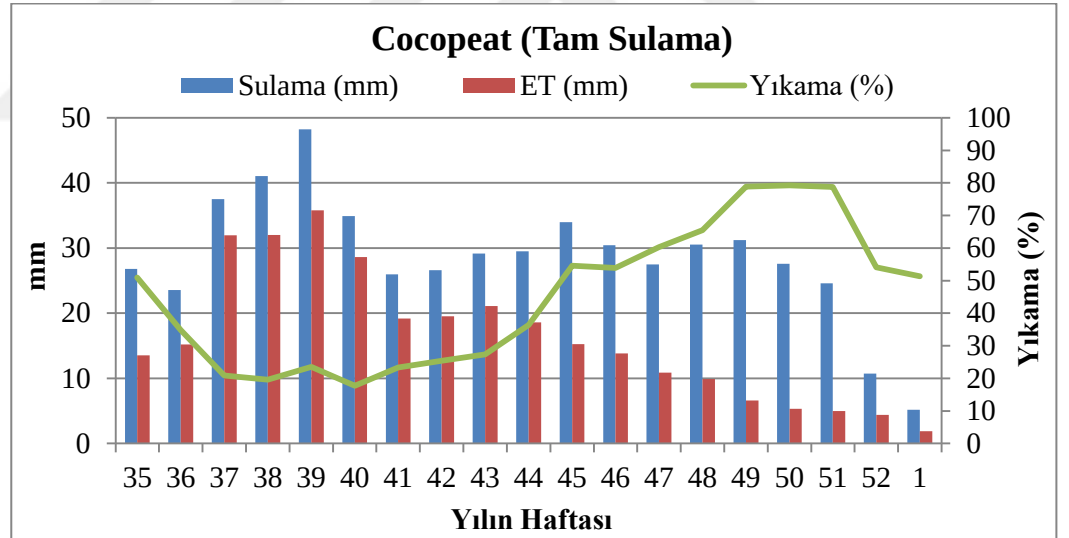


Şekil 4.26. “Perlit-Kısıt Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (II.Dönem)

Her iki sulama konusunda dönem başında haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi miktarları benzerlik gösterirken kısıt uygulamasının başlaması ile tam sulama konusunda hem sulama suyu miktarı hem de bitki su tüketimi daha yüksek olmuştur. En yüksek haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi, sırasıyla, 33.3 mm ve 27.6 mm ile tam sulama konusunda görülürken, kısıt sulama konusunda en fazla 28.5 mm ve 21.5 mm olmuştur. Haftalık ortalama sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, sırasıyla, tam sulama konusunda 16.8 mm ve 13.1 mm olurken, kısıt sulama konusunda 11.8 mm ve 8.8 mm olarak ölçülmüştür.

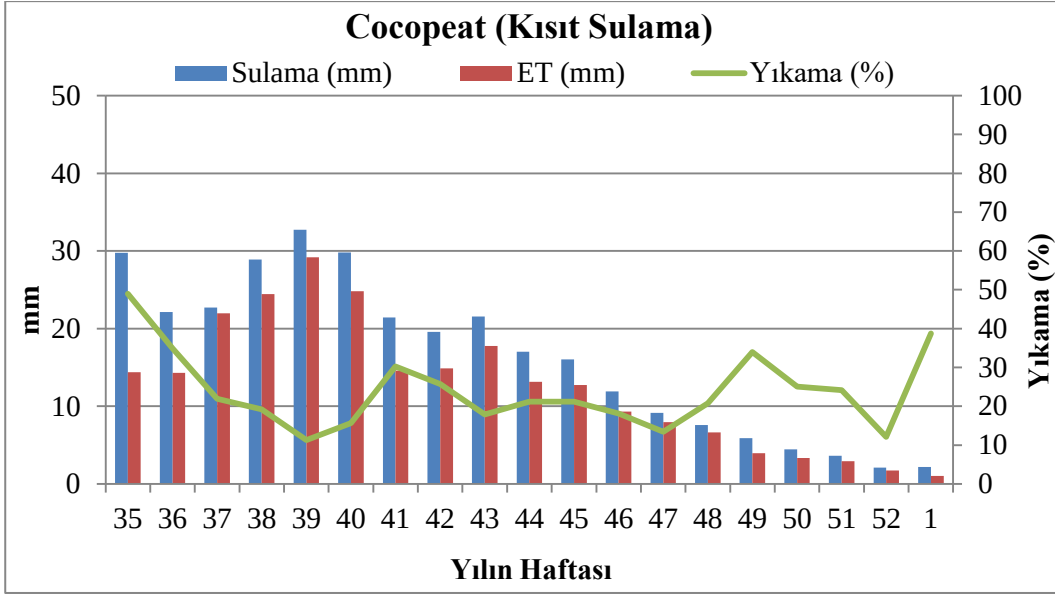
Yetiştirme dönemi boyunca, perlit tam sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 8 arasında değişmiş ve dönemlik ortalaması 2.7 sulama.gün⁻¹ olmuştur. Kısıt sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 8 arasında değişirken dönemlik ortalama 2.2 sulama.gün⁻¹ olmuştur.

Tam ve Kısıt sulama konuları ile cocopeat yetiştirme ortamı içerisinde yetiştirilen domates bitkisine ait haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı değerleri Şekil 4.27 ve 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.27. “Cocopeat-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (II.Dönem)

Bu dönemde, kök bölgesi nem algılayıcıları ile çökme problemi yaşanmıştır. Cocopeat tam sulama konusunun yüksek nemi, algılayıcılarda elektronik aksaklıklara neden olmuş ve sulama yapıldığı halde nem değeri okumaları düşüşe devam etmiştir. Ortam nemi okumalarının, sulama eşiğinin üzerine çıkmaması ekstra sulamalara sebep olmuştur (Şekil 4.27).



Şekil 4.28. “Cocopeat-Kısıt sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (II.Dönem)

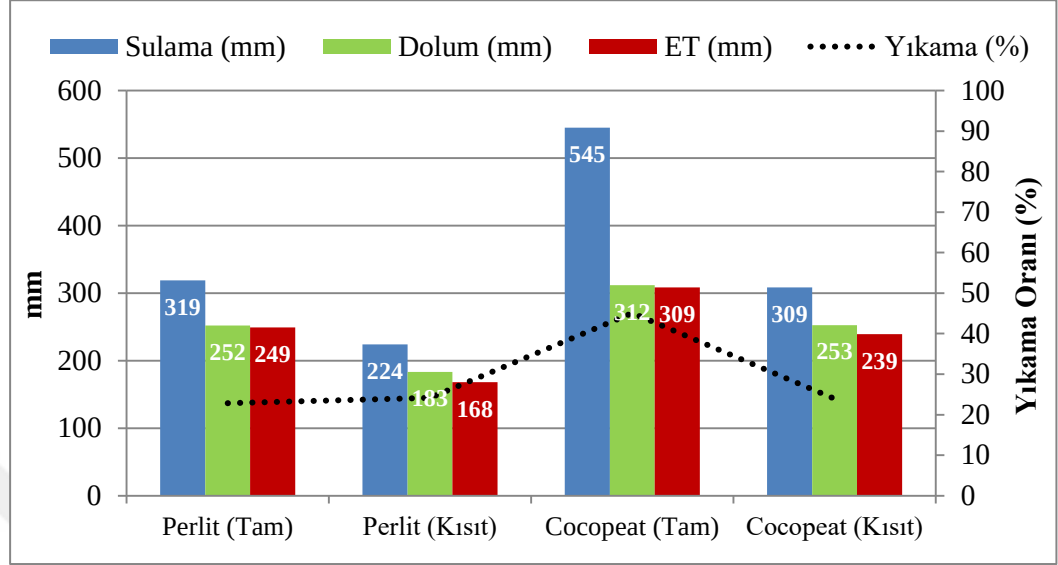
Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi miktarları kısıt uygulaması başlangıcına kadar yine benzerlik göstermiştir. Perlit’te konusunda olduğu gibi cocopeat’te de, sulama suyu ve bitki su tüketimi miktarları, tam sulama konusunda daha yüksek olmuştur. En yüksek haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi, sırasıyla, 48.3 mm ve 35.8 mm ile tam sulama konusunda görülürken, kısıt sulama konusunda en fazla 32.7 mm ve 29.2 mm olmuştur. Haftalık ortalama sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, sırasıyla, tam sulama konusunda 28.7 mm ve 16.2 mm olurken, kısıt sulama konusunda 16.2 mm ve 12.6 mm olarak ölçülmüştür.

Yetiştirme dönemi boyunca, cocopeat tam sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 9 arasında değişmiş ve dönemlik ortalaması 4.2 sulama.gün⁻¹ olmuştur. Kısıt sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 7 arasında değişirken dönemlik ortalama 3.1 sulama.gün⁻¹ olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamında, perlit’e göre daha fazla sulama yapılmıştır. Tam sulama konusunda cocopeat’te %35.7 (4.2→2.7 sulama.gün⁻¹) fazla sulama yapılırken, kısıt konusunda %29.0 (3.1→2.2 sulama.gün⁻¹) daha fazla sulama yapılmıştır.

Kısıt uygulaması ile cocopeat yetiştirme ortamında günlük sulama sayısının dönemlik ortalaması %26 (4.2→3.1 sulama.gün⁻¹) azalırken, perlit yetiştirme ortamında %19 (2.7→2.2 sulama.gün⁻¹) azalmıştır.

II.döneme ilişkin tüm konuların, sulama suyu miktarı (sulama, mm), sistemde kullanılan besin solüsyonu miktarı (dolum, mm), bitki su tüketimi (ET, mm) ve dönemlik ortalama yıkama oranları (%) Şekil 4.29’de verilmiştir.



Şekil 4.29. Tüm konulara ilişkin sulama suyu, dolum, bitki su tüketimi ve dönemlik ortalama yıkama oranı verileri (II.Dönem)

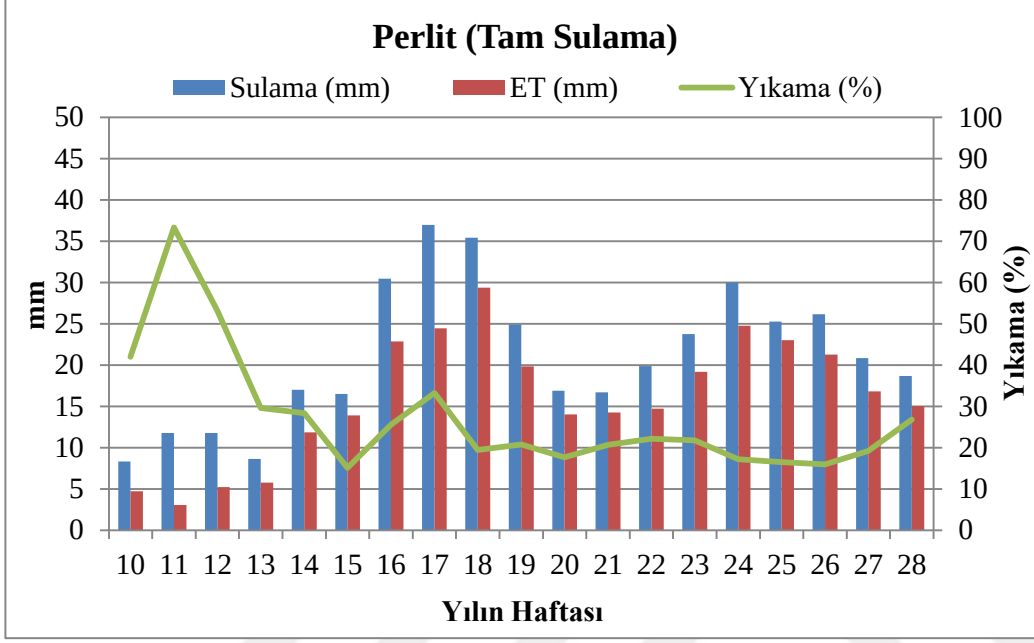
Dönem boyunca kapalı sistemde çevirilen sulama suyu miktarı perlit’te, tam ve kısıt sulama konuları için, sırasıyla, 319 mm ve 224 mm olurken, cocopeat’te ise 545 mm ve 309 mm olmuştur. Kısıt uygulaması ile uygulanan sulama suyu miktarı, perlit’te %29.7 (95 mm), cocopeat’te ise %43.4 (236 mm) daha düşük olmuştur. Mevsimlik bitki su tüketim değerleri perlit’te, tam ve kısıt sulama konuları için, sırasıyla, 249 mm ve 168 mm, cocopeat’te ise 309 mm ve 239 mm ölçülmüştür. Kısıt uygulaması ile bitki su tüketimi, perlit’te %32.7 (81 mm), cocopeat’te ise %22.5 (70 mm) azalmıştır.

Yetiştirme döneminde kullanılan besin solüsyonu (dolum) incelendiğinde, kısıt uygulaması ile perlit ve cocopeat’te, sırasıyla, %27.2 (69 mm) ve %18.9 (59 mm) besin solüsyonu tasarrufu sağlanmıştır.

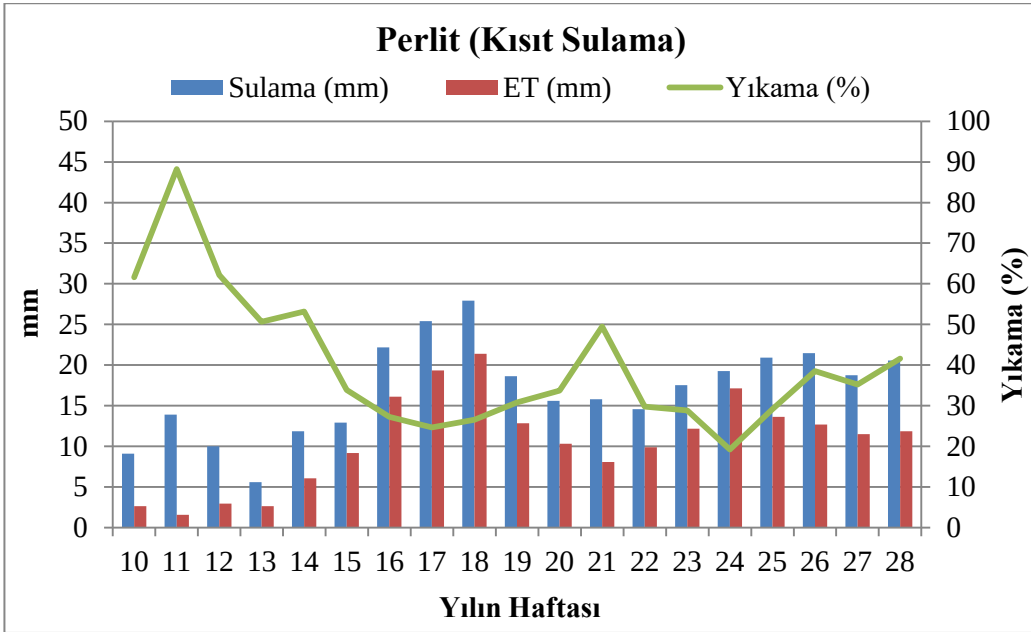
Yetiştirme ortamlarında, sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve sulama sayısı yönünden oluşan farklılıklar, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel (tane büyüklüğü, porozite, hidrolik geçirgenlik, su/hava oranı, boşluk çapı dağılımı, vb.) ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir.

4.3.3. III.Dönem (İlkbahar 2012)

III.Dönemde, tam ve kısıt sulama konuları ile perlit yetiştirme ortamı içerisinde yetiştirilen domates bitkisine ait haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı değerleri Şekil 4.30 ve 4.31’da verilmiştir.



Şekil 4.30. “Perlit-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (III.Dönem)

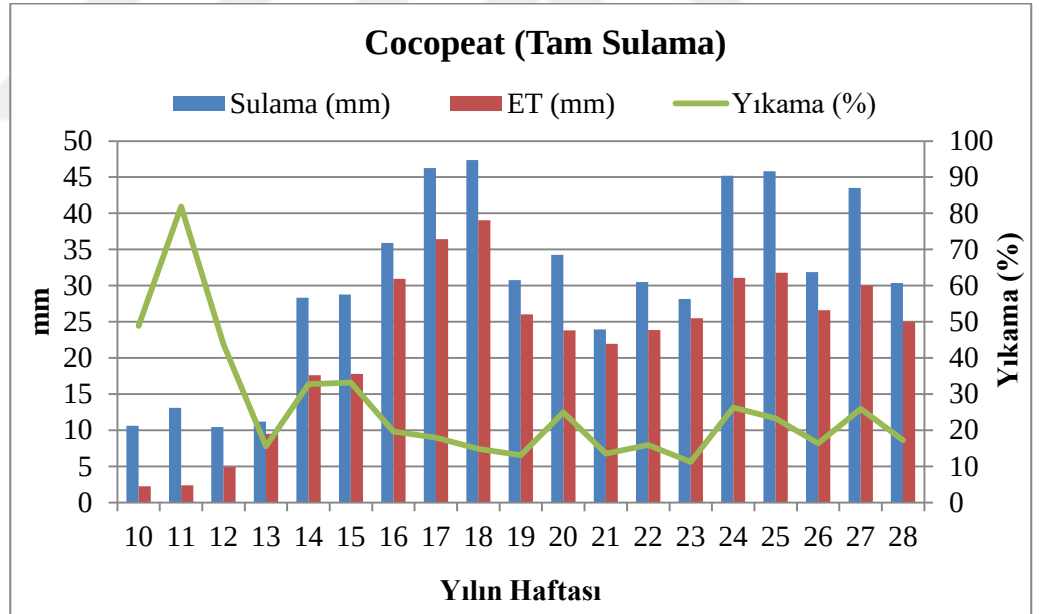


Şekil 4.31. “Perlit-Kısıt Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (III.Dönem)

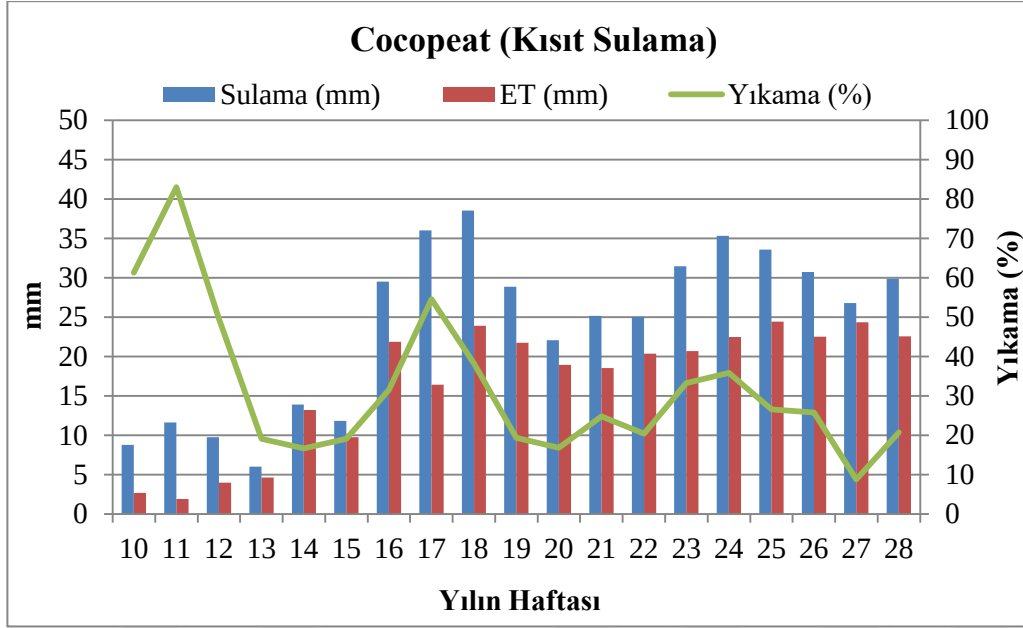
Her iki sulama konusunda dönem başında haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi miktarları benzerlik gösterirken kısıt uygulamasının başlaması ile tam sulama konusunda hem sulama suyu miktarı hem de bitki su tüketimi daha yüksek olmuştur. En yüksek haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi, sırasıyla, 37.0 mm ve 29.4 mm ile tam sulama konusunda görülürken, kısıt sulama konusunda en fazla 27.9 mm ve 21.4 mm olmuştur. Haftalık ortalama sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, sırasıyla, tam sulama konusunda 21.0 mm ve 16.0 mm olurken, kısıt sulama konusunda 16.9 mm ve 10.6 mm olarak ölçülmüştür.

Yetiştirme dönemi boyunca, perlit tam sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 8 arasında değişmiş ve dönemlik ortalaması 2.8 sulama.gün⁻¹ olmuştur. Kısıt sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 6 arasında değişirken dönemlik ortalama 2.1 sulama.gün⁻¹ olmuştur.

Tam ve Kısıt sulama konuları ile cocopeat yetiştirme ortamı içerisinde yetiştirilen domates bitkisine ait haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı değerleri Şekil 4.32 ve 4.33’de verilmiştir.



Şekil 4.32. “Cocopeat-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (III.Dönem)



Şekil 4.33. “Cocopeat-Kısıt sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (III.Dönem)

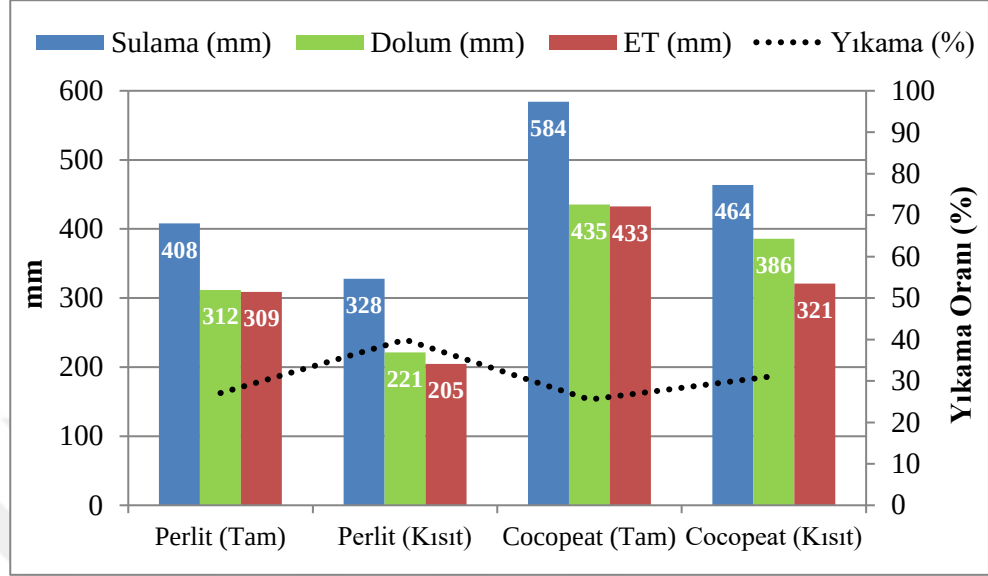
Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi miktarları kısıt uygulaması başlangıcına kadar yine benzerlik göstermiş fakat kısıt uygulamasına başlanması ile farklılık göstermiştir. En yüksek haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi, sırasıyla, 47.3 mm ve 39.0 mm ile tam sulama konusunda görülürken, kısıt sulama konusunda en fazla 38.5 mm ve 24.4 mm olmuştur. Haftalık ortalama sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, sırasıyla, tam sulama konusunda 30.3 mm ve 22.5 mm olurken, kısıt sulama konusunda 23.9 mm ve 16.6 mm olarak ölçülmüştür.

Yetiştirme dönemi boyunca, cocopeat tam sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 8 arasında değişmiş ve dönemlik ortalaması 3.9 sulama.gün⁻¹ olmuştur. Kısıt sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 7 arasında değişirken dönemlik ortalama 3.7 sulama.gün⁻¹ olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamında, perlit’e göre daha fazla sulama yapılmıştır. Tam sulama konusunda cocopeat’te %28.2 (3.9→2.8 sulama.gün⁻¹) fazla sulama yapılırken, kısıt konusunda %43.2 (3.7→2.1 sulama.gün⁻¹) daha fazla sulama yapılmıştır.

Kısıt uygulaması ile cocopeat yetiştirme ortamında günlük sulama sayısının dönemlik ortalaması %5 (3.9→3.7 sulama.gün⁻¹) azalırken, perlit yetiştirme ortamında %25 (2.8→2.1 sulama.gün⁻¹) azalmıştır.

III.döneme ilişkin tüm konuların, sulama suyu miktarı (sulama, mm), sistemde kullanılan besin solüsyonu miktarı (dolum, mm), bitki su tüketimi (ET, mm) ve dönemlik ortalama yıkama oranları (%) Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.34. Tüm konulara ilişkin sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve dönemlik ortalama yıkama oranı verileri (III.Dönem)

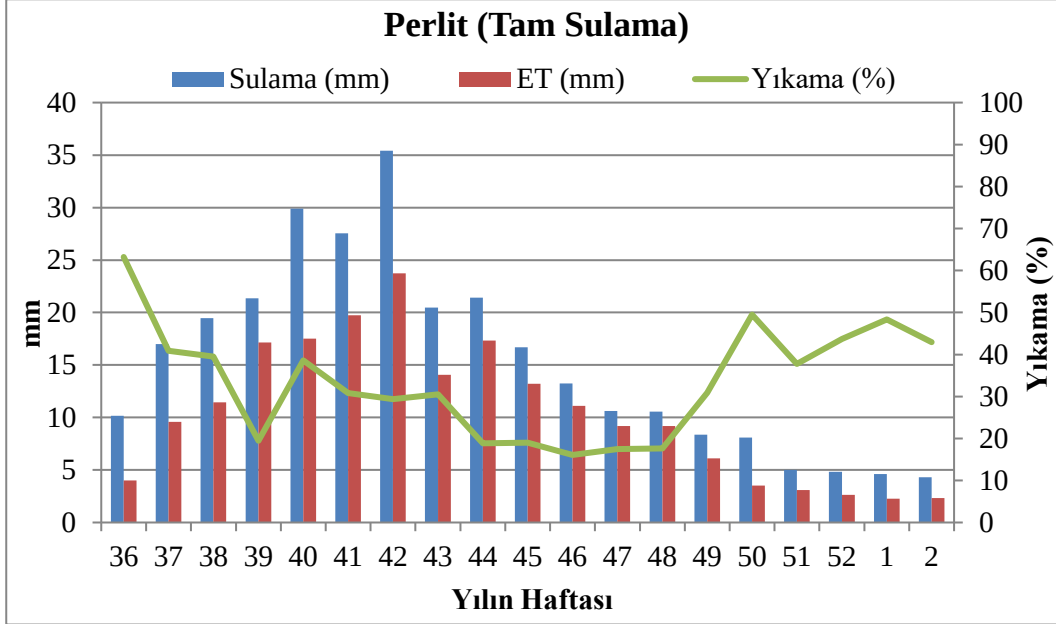
Dönem boyunca kapalı sistemde çevirilen sulama suyu miktarı perlit'te, tam ve kısıt sulama konuları için, sırasıyla, 408 mm ve 328 mm olurken, cocopeat'te ise 584 mm ve 464 mm olmuştur. Kısıt uygulaması ile uygulanan sulama suyu miktarı, perlit'te %19.7 (80 mm), cocopeat'te ise %20.6 (120 mm) daha düşük olmuştur. Mevsimlik bitki su tüketim değerleri perlit'te, tam ve kısıt sulama konuları için, sırasıyla, 309 mm ve 205 mm, cocopeat'te ise 433 mm ve 321 mm ölçülmüştür. Kısıt uygulaması ile bitki su tüketimi, perlit'te %33.7 (104 mm), cocopeat'te ise %25.9 (112 mm) azalmıştır.

Yetiştirme döneminde kullanılan besin solüsyonu (dolum) incelendiğinde, kısıt uygulaması ile perlit ve cocopeat'te, sırasıyla, %29.1 (91 mm) ve %11.3 (49 mm) besin solüsyonu tasarrufu sağlanmıştır.

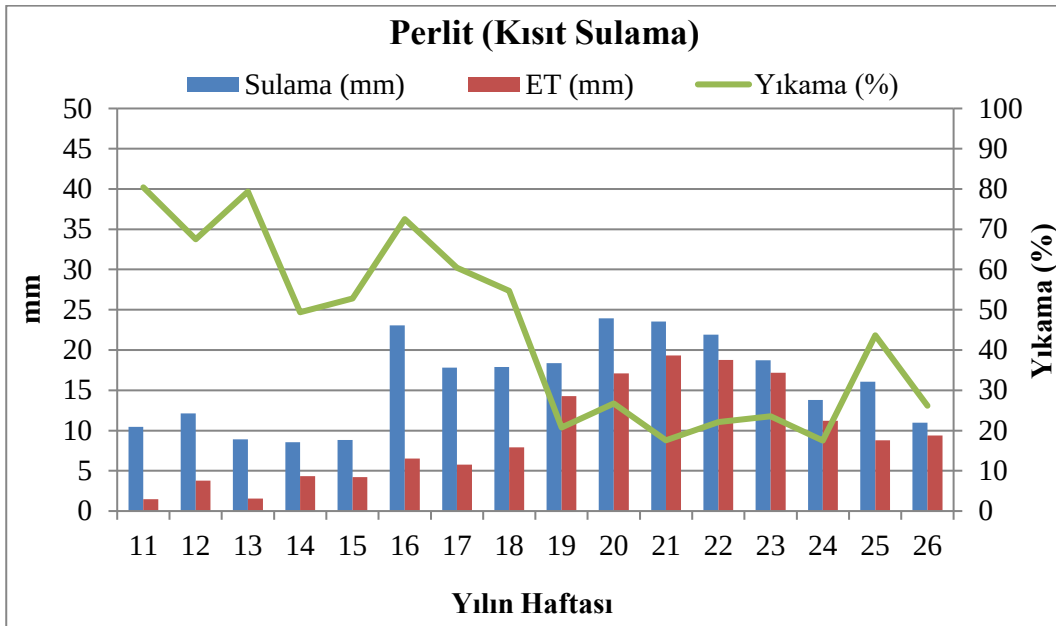
Yetiştirme ortamlarında, sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve sulama sayısı yönünden oluşan farklılıklar, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel (tane büyüklüğü, porozite, hidrolik geçirgenlik, su/hava oranı, boşluk çapı dağılımı, vb.) ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir.

4.3.4. IV.Dönem (Sonbahar 2012)

I.Dönemde, tam ve kısıt sulama konuları ile perlit yetiştirme ortamı içerisinde yetiştirilen domates bitkisine ait haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı değerleri Şekil 4.35 ve 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.35. “Perlit-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (IV.Dönem)

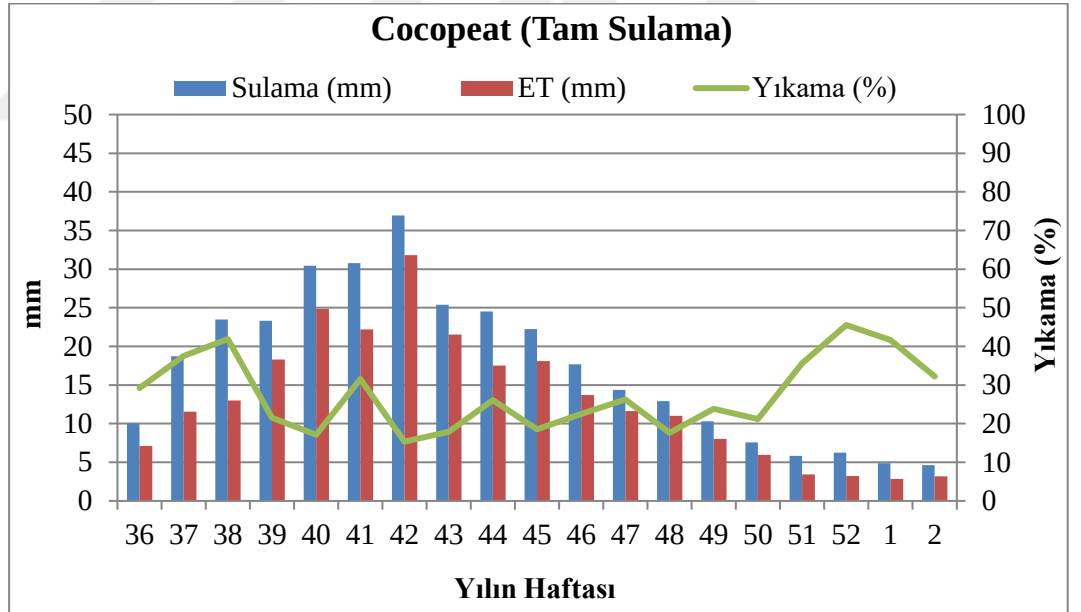


Şekil 4.36. “Perlit-Kısıt Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (IV.Dönem)

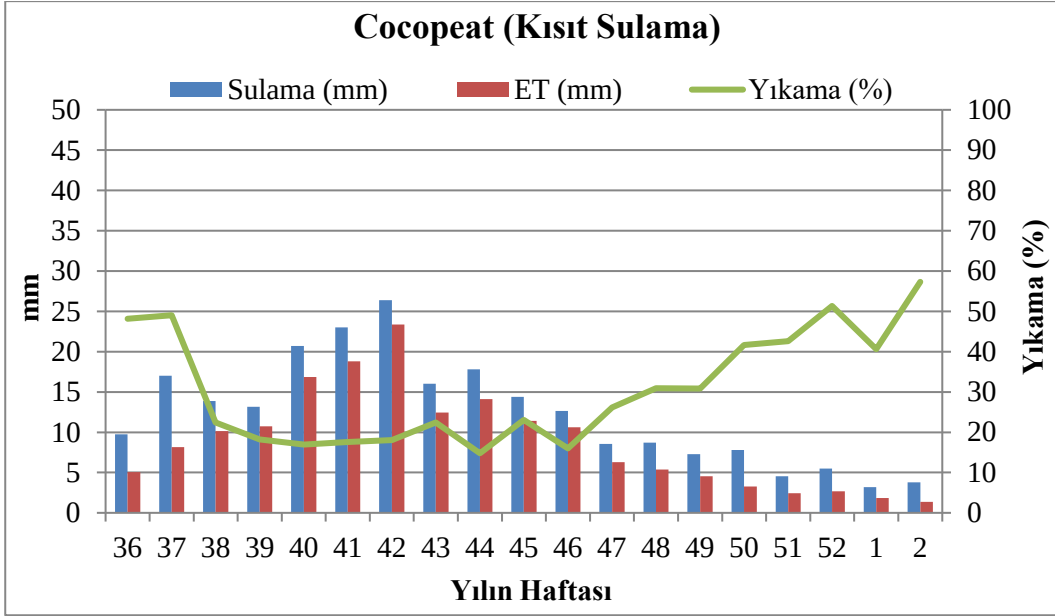
Her iki sulama konusunda dönem başında haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi miktarları benzerlik gösterirken kısıt uygulamasının başlaması ile tam sulama konusunda hem sulama suyu miktarı hem de bitki su tüketimi daha yüksek olmuştur. En yüksek haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi, sırasıyla, 35.4 mm ve 23.8 mm ile tam sulama konusunda görülürken, kısıt sulama konusunda en fazla 19.8 mm ve 13.8 mm olmuştur. Haftalık ortalama sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, sırasıyla, tam sulama konusunda 15.2 mm ve 10.4 mm olurken, kısıt sulama konusunda 10.1 mm ve 6.4 mm olarak ölçülmüştür.

Yetiştirme dönemi boyunca, perlit tam sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 6 arasında değişmiş ve dönemlik ortalaması 2.9 sulama.gün⁻¹ olmuştur. Kısıt sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 6 arasında değişirken dönemlik ortalama 2.0 sulama.gün⁻¹ olmuştur.

Tam ve Kısıt sulama konuları ile cocopeat yetiştirme ortamı içerisinde yetiştirilen domates bitkisine ait haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı değerleri Şekil 4.37 ve 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.37. “Cocopeat-Tam Sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (IV.Dönem)



Şekil 4.38. “Cocopeat-Kısıt sulama” konusuna ilişkin haftalık sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve yıkama oranı verileri (IV.Dönem)

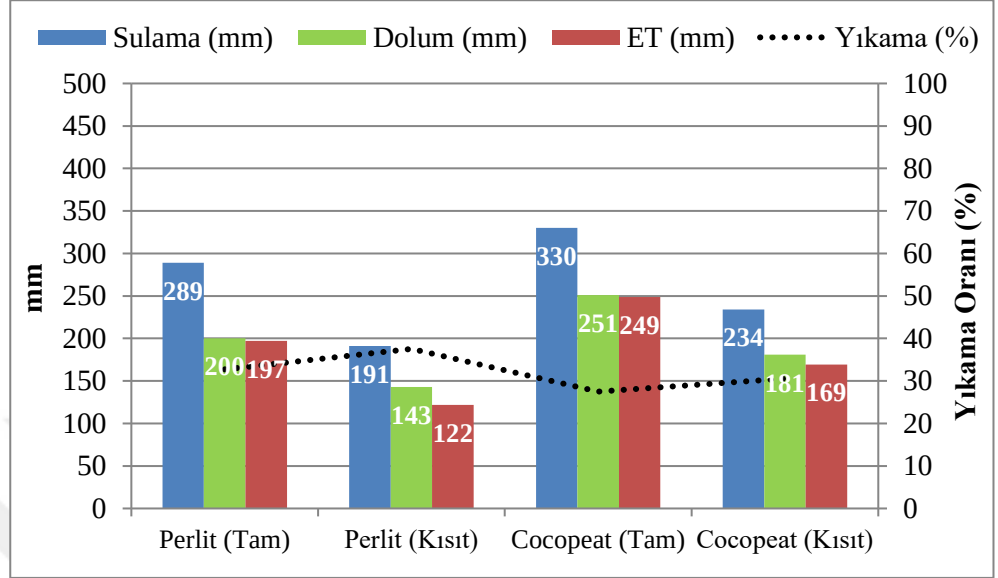
Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi miktarları kısıt uygulaması başlangıcına kadar yine benzerlik göstermiş fakat kısıt uygulamasına başlanması ile farklılık göstermiştir. En yüksek haftalık sulama suyu ve bitki su tüketimi, sırasıyla, 37.0 mm ve 31.8 mm ile tam sulama konusunda görülürken, kısıt sulama konusunda en fazla 26.4 mm ve 23.4 mm olmuştur. Haftalık ortalama sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, sırasıyla, tam sulama konusunda 17.4 mm ve 13.1 mm olurken, kısıt sulama konusunda 12.3 mm ve 8.9 mm olarak ölçülmüştür.

Yetiştirme dönemi boyunca, cocopeat tam sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 7 arasında değişmiş ve dönemlik ortalaması 3.2 sulama.gün⁻¹ olmuştur. Kısıt sulama konusunda günlük sulama sayısı 1 ile 6 arasında değişirken dönemlik ortalama 2.4 sulama.gün⁻¹ olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamında, perlit’e göre daha fazla sulama yapılmıştır. Tam sulama konusunda cocopeat’te %9.4 (3.2→2.9 sulama.gün⁻¹) fazla sulama yapılırken, kısıt konusunda %16.7 (2.4→2.0 sulama.gün⁻¹) daha fazla sulama yapılmıştır.

Kısıt uygulaması ile cocopeat yetiştirme ortamında günlük sulama sayısının dönemlik ortalaması %25 (3.2→2.4 sulama.gün⁻¹) azalırken, perlit yetiştirme ortamında %31 (2.9→2.0 sulama.gün⁻¹) azalmıştır.

IV.döneme ilişkin tüm konuların, sulama suyu miktarı (sulama, mm), sistemde kullanılan besin solüsyonu miktarı (dolum, mm), bitki su tüketimi (ET, mm) ve dönemlik ortalama yıkama oranları (%) Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.39. Tüm konulara ilişkin sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve dönemlik ortalama yıkama oranı verileri (IV.Dönem)

Dönem boyunca kapalı sistemde çevirilen sulama suyu miktarı perlit’te, tam ve kısıt sulama konuları için, sırasıyla, 289 mm ve 191 mm olurken, cocopeat’te ise 330 mm ve 234 mm olmuştur. Kısıt uygulaması ile uygulanan sulama suyu miktarı, perlit’te %33.9 (98 mm), cocopeat’te ise %29.1 (96 mm) daha düşük olmuştur. Mevsimlik bitki su tüketim değerleri perlit’te, tam ve kısıt sulama konuları için, sırasıyla, 197 mm ve 122 mm, cocopeat’te ise 249 mm ve 169 mm ölçülmüştür. Kısıt uygulaması ile bitki su tüketimi, perlit’te %38.2 (75 mm), cocopeat’te ise %31.9 (80 mm) azalmıştır.

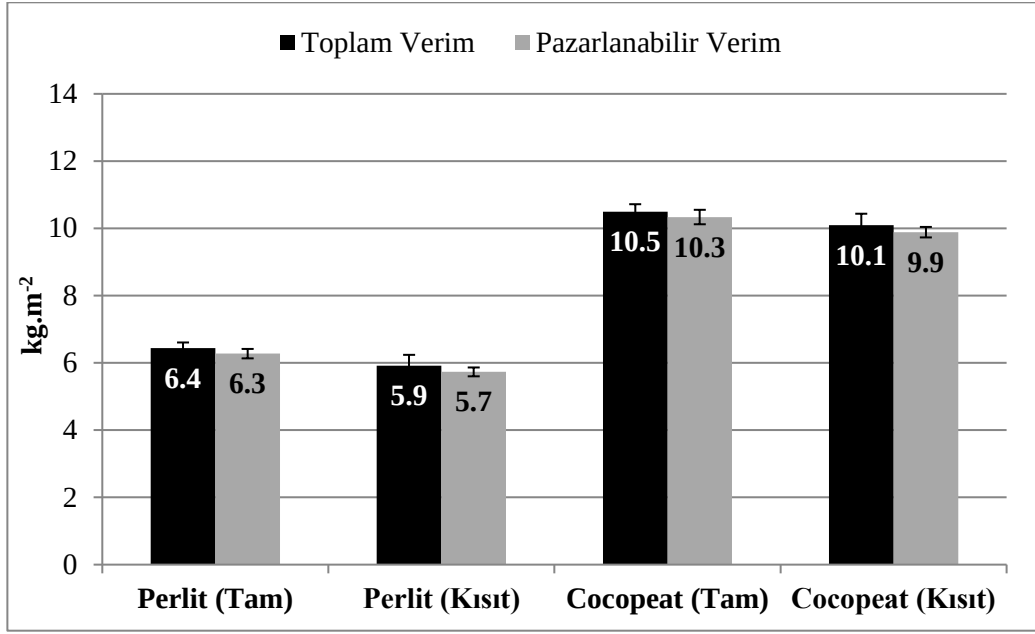
Yetiştirme döneminde kullanılan besin solüsyonu (dolum) incelendiğinde, kısıt uygulaması ile perlit ve cocopeat’te, sırasıyla, %28.6 (57 mm) ve %27.9 (70 mm) besin solüsyonu tasarrufu sağlanmıştır.

Yetiştirme ortamlarında, sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve sulama sayısı yönünden oluşan farklılıklar, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel (tane büyüklüğü, porozite, hidrolik geçirgenlik, su/hava oranı, boşluk çapı dağılımı, vb.) ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir.

4.4. Verim

4.4.1. I.Dönem (İlkbahar 2011)

Hasatlar 23.05.2011 tarihinde başlamış, 04.07.2011 tarihinde sona ermiştir. Dönem boyunca toplam 9 hasat yapılmıştır. Araştırmanın I.dömeminde sağlanan toplam ve pazarlanabilir verim değerleri konulara göre (standart hata çizgileri ile) Şekil 4.40'da gösterilmiştir.



Şekil 4.40. I. Üretim döneminde tüm konulardan elde edilen toplam ve pazarlanabilir verim (kg.m⁻²) değerleri

I.dönemde, en yüksek toplam ve pazarlanabilir verim, sırasıyla, 10.5 kg.m⁻² ve 10.3 kg.m⁻² ile cocopeat-tam sulama konusundan elde edilirken, en düşük toplam ve pazarlanabilir verim, 5.9 kg.m⁻² ve 5.7 kg.m⁻² ile perlit-kısıt sulama konusundan elde edilmiştir. Tam ve kısıt sulama konularının her ikisinde de, cocopeat yetiştirme ortamında, perlit'e göre, daha yüksek verim elde edilmiştir. Cocopeat'te elde edilen ortalama pazarlanabilir verim 10.11 kg.m⁻² olurken, perlit'ten 6.0 kg.m⁻² pazarlanabilir verim elde edilmiştir. Toplam verimin yüksek olduğu konularda, pazarlanabilir verim de yüksek olmuştur.

I.dönem deneme konularının, toplam verim, pazarlanabilir verim, ortalama meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkilerinin incelendiği istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Üretim döneminden elde edilen verim değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları (I.Dönem)

Konular		Toplam Verim (kg.m ⁻²)	Pazarlanabilir Verim (kg.m ⁻²)	Ortalama Meyve Ağırlığı (g)	Meyve Sayısı (adet.m ⁻²)
Ortam	Perlit	6.18 a	6.00 a	50.63 a	123.13 a
	Cocopeat	10.29 b	10.11 b	70.61 b	146.13 b
	LSD (0.05)	0.844	0.828	6.717	22.034
Sulama	Tam Sulama	8.47	8.31	60.27	139.38
	Kısıt Sulama	8.01	7.81	60.98	129.88
	LSD (0.05)	öd	öd	öd	öd
İnteraksiyonlar					
Perlit	Tam Sulama	6.45	6.28	49.06	131.50
	Kısıt Sulama	5.92	5.73	52.20	114.75
	LSD (0.05)	öd	öd	öd	öd
Cocopeat	Tam Sulama	10.49	10.34	71.47	147.25
	Kısıt Sulama	10.10	9.89	69.75	145.00
	LSD (0.05)	öd	öd	öd	öd

Yetiştirme ortamlarının, toplam ve pazarlanabilir verim, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı üzerine etkileri, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemli bulunmuştur. Cocopeat'ten elde edilen toplam verim 10.29 kg.m⁻² olurken, perlit'ten 6.18 kg.m⁻² verim elde edilmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamında, ortalama meyve ağırlığı 70.61 g, meyve sayısı da 146.13 adet.m⁻² ile perlit'ten yüksek sonuçlar vermiştir. Perlit'te, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı, sırasıyla, 50.63 g ve 123.13 adet.m⁻² olarak ölçülmüştür.

Toplam verim, pazarlanabilir verim, meyve ağırlığı ve meyve sayısındaki artış, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir.

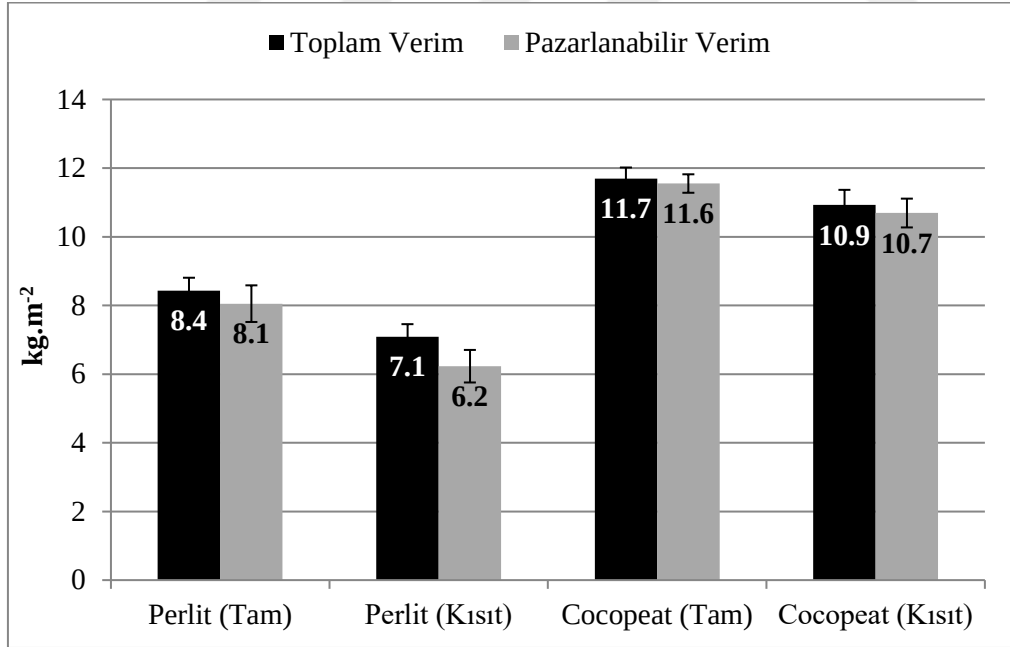
Tam ve kısıt sulama konularının, toplam ve pazarlanabilir verim, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı üzerine etkilerinin, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemsiz olduğu görülmüştür. Kısıt sulama konusunda, toplam verim, pazarlanabilir verim ve meyve sayısında bir azalma görülmesine rağmen, ortalama meyve ağırlığındaki artış ile bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Tam sulama konusundan, toplam ve pazarlanabilir, 8.47 kg.m⁻² ve 8.31 kg.m⁻² verim elde edilirken, kısıt sulama konusundan, 8.01 kg.m⁻² ve 7.81 kg.m⁻² verim alınmıştır.

Sulama ve ortam konularının birlikte etkisi incelendiğinde, kısıt uygulaması ile, perlit'te meyve sayısı $131.50 \text{ adet.m}^{-2}$ 'den $114.75 \text{ adet.m}^{-2}$ 'ye düşerken ortalama meyve ağırlığı 49.06 g 'dan 52.20 g 'a yükselmiştir. Bununla birlikte, toplam verim ($6.45 \rightarrow 5.92 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verim ($6.28 \rightarrow 5.73 \text{ kg.m}^{-2}$) azalmış, fakat verimdeki azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemsiz olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamında ise meyve sayısı $147.25 \text{ adet.m}^{-2}$ 'den $145.00 \text{ adet.m}^{-2}$ 'ye düşerken ortalama meyve ağırlığı da 71.47 g 'dan 69.75 g 'a düşmüştür. Toplam verim ($10.49 \rightarrow 10.10 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verim ($10.34 \rightarrow 9.89 \text{ kg.m}^{-2}$) azalmış, fakat verimdeki azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemsiz olmuştur.

4.4.2. II.Dönem (Sonbahar 2011)

Hasatlar 27.10.2011 tarihinde başlamış, 11.01.2012 tarihinde sona ermiştir. Dönem boyunca toplam 9 hasat yapılmıştır. Araştırmanın II.dömeminden sağlanan toplam ve pazarlanabilir verim değerleri konulara göre (standart hata çizgileri ile) Şekil 4.41'de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. II. Üretim döneminde tüm konulardan elde edilen toplam ve pazarlanabilir verim (kg.m^{-2}) değerleri

II.dönemde, en yüksek toplam ve pazarlanabilir verim, sırasıyla, 11.7 kg.m^{-2} ve 11.6 kg.m^{-2} ile cocopeat-tam sulama konusundan elde edilirken, en düşük

toplam ve pazarlanabilir verim, 7.1 kg.m^{-2} ve 6.2 kg.m^{-2} ile perlit-kısıt sulama konusundan elde edilmiştir. Tam ve kısıt sulama konularının her ikisinde de, cocopeat yetiştirme ortamında, perlit'e göre, daha yüksek verim elde edilmiştir. Cocopeat'te elde edilen ortalama pazarlanabilir verim 11.12 kg.m^{-2} olurken, perlit'ten 7.14 kg.m^{-2} pazarlanabilir verim elde edilmiştir. Toplam verimin yüksek olduğu konularda, pazarlanabilir verim de yüksek olmuştur.

II.dönem deneme konularının, toplam verim, pazarlanabilir verim, ortalama meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkilerinin incelendiği istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Üretim döneminden elde edilen verim değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları (II.Dönem)

Konular		Toplam Verim (kg.m^{-2})	Pazarlanabilir Verim (kg.m^{-2})	Ortalama Meyve Ağırlığı (g)	Meyve Sayısı (adet.m^{-2})
Ortam	Perlit	7.76 a	7.14	63.64	122.75
	Cocopeat	11.31 b	11.12	89.60	126.25
	LSD (0.05)	1.171	1.230	8.323	öd
Sulama	Tam Sulama	10.06 a	9.80	79.29	128.25
	Kısıt Sulama	9.01 b	8.46	73.95	120.75
	LSD (0.05)	1.171	1.230	öd	öd
İnteraksiyonlar					
Perlit	Tam Sulama	8.43 a	8.05 a	66.04	130.00
	Kısıt Sulama	7.09 b	6.23 b	61.24	115.50
	LSD (0.05)	1.171	1.230	öd	öd
Cocopeat	Tam Sulama	11.69	11.55	92.54	126.50
	Kısıt Sulama	10.93	10.69	86.67	126.00
	LSD (0.05)	öd	öd	öd	öd

Yetiştirme ortamlarının, toplam verim, pazarlanabilir verim ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkileri, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemli bulunurken, meyve sayısı üzerine etkisi önemsiz olmuştur. Cocopeat'ten elde edilen toplam verim 11.31 kg.m^{-2} olurken, perlit'ten 7.76 kg.m^{-2} verim elde edilmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamında, ortalama meyve ağırlığı 89.60 g, meyve sayısı da $126.25 \text{ adet.m}^{-2}$ ile perlit'ten yüksek sonuçlar vermiştir. Perlit'te, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı, sırasıyla, 63.64 g ve $122.75 \text{ adet.m}^{-2}$ olarak ölçülmüştür.

Toplam verim, pazarlanabilir verim, meyve ağırlığı ve meyve sayısındaki artış, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir.

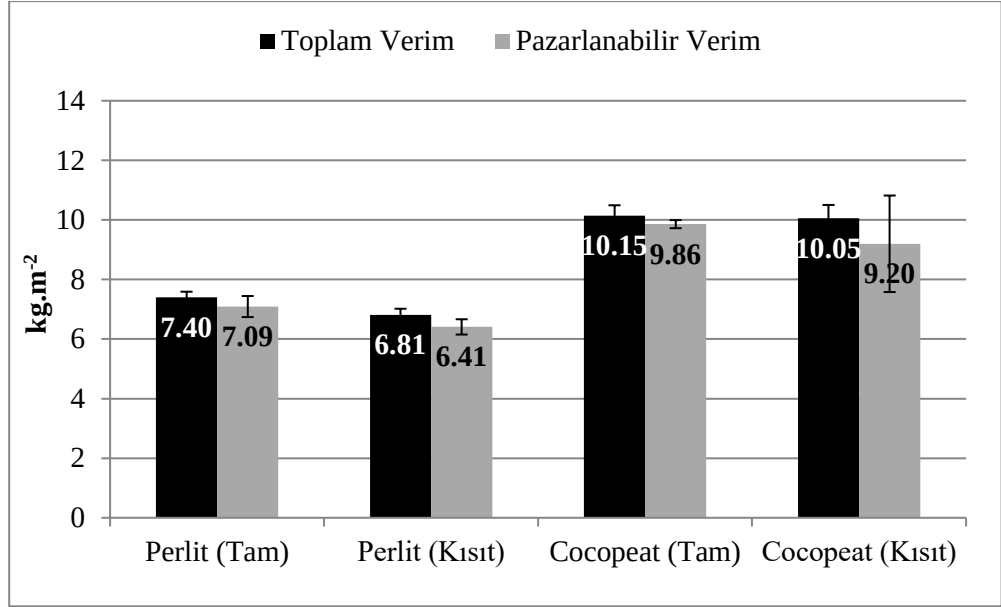
Tam ve kısıt sulama konularının, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı üzerine etkisinin, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemsiz olduğu görülürken toplam ve pazarlanabilir verim üzerine etkisi, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemli bulunmuştur. Kısıt sulama konusu ile toplam verim, pazarlanabilir verim, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısında azalma görülmüştür. Tam sulama konusundan, toplam ve pazarlanabilir, 10.06 kg.m^{-2} ve 9.80 kg.m^{-2} verim elde edilirken, kısıt sulama konusundan, 9.01 kg.m^{-2} ve 8.46 kg.m^{-2} verim alınmıştır.

Sulama ve ortam konularının birlikte etkisi incelendiğinde, kısıt uygulaması ile, perlit'te meyve sayısı $130.00 \text{ adet.m}^{-2}$ 'den $115.50 \text{ adet.m}^{-2}$ 'ye düşerken ortalama meyve ağırlığı da 66.04 g 'dan 61.24 g 'a düşmüştür. Bununla birlikte, toplam verim ($8.43 \rightarrow 7.09 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verimdeki ($8.05 \rightarrow 6.23 \text{ kg.m}^{-2}$) azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemli olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamında ise meyve sayısı $126.50 \text{ adet.m}^{-2}$ 'den $126.00 \text{ adet.m}^{-2}$ 'ye düşerken ortalama meyve ağırlığı da 92.54 g 'dan 86.67 g 'a düşmüştür. Toplam verim ($11.69 \rightarrow 10.93 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verim ($11.55 \rightarrow 10.69 \text{ kg.m}^{-2}$) azalmış, fakat verimdeki azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemsiz olmuştur.

4.4.3. III.Dönem (İlkbahar 2012)

Hasatlar 21.05.2012 tarihinde başlamış, 10.07.2012 tarihinde sona ermiştir. Dönem boyunca toplam 7 hasat yapılmıştır. Araştırmanın III.dömeminden sağlanan toplam ve pazarlanabilir verim değerleri konulara göre (standart hata çizgileri ile) Şekil 4.42'de gösterilmiştir.



Şekil 4.42. III. Üretim döneminde tüm konulardan elde edilen toplam ve pazarlanabilir verim (kg.m⁻²) değerleri

III.dönemde, en yüksek toplam ve pazarlanabilir verim, sırasıyla, 10.15 kg.m⁻² ve 9.86 kg.m⁻² ile cocopeat-tam sulama konusundan elde edilirken, en düşük toplam ve pazarlanabilir verim, 6.81 kg.m⁻² ve 6.41 kg.m⁻² ile perlit-kısıt sulama konusundan elde edilmiştir. Tam ve kısıt sulama konularının her ikisinde de, cocopeat yetiştirme ortamında, perlit'e göre, daha yüksek verim elde edilmiştir. Cocopeat'te elde edilen ortalama pazarlanabilir verim 9.53 kg.m⁻² olurken, perlit'ten 6.75 kg.m⁻² pazarlanabilir verim elde edilmiştir. Toplam verimin yüksek olduğu konularda, pazarlanabilir verim de yüksek olmuştur.

III.dönem deneme konularının, toplam verim, pazarlanabilir verim, ortalama meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkilerinin incelendiği istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Yetiştirme ortamlarının, toplam verim, pazarlanabilir verim ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkileri, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemli bulunurken, meyve sayısı üzerine etkisi önemsiz olmuştur. Cocopeat'ten elde edilen toplam verim 10.10 kg.m⁻² olurken, perlit'ten 7.11 kg.m⁻² verim elde edilmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamında, ortalama meyve ağırlığı 68.51 g, meyve sayısı da 149.00 adet.m⁻² ile perlit'ten yüksek sonuçlar vermiştir. Perlit'te, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı, sırasıyla, 50.01 g ve 142.38 adet.m⁻² olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.6. Üretim döneminden elde edilen verim değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları (III.Dönem)

Konular		Toplam Verim (kg.m ⁻²)	Pazarlanabilir Verim (kg.m ⁻²)	Ortalama Meyve Ağırlığı (g)	Meyve Sayısı (adet.m ⁻²)
Ortam	Perlit	7.11 a	6.75 a	50.01 a	142.38
	Cocopeat	10.10 b	9.53 b	68.51 b	149.00
	LSD (0.05)	0.971	1.13	8.077	öd
Sulama	Tam Sulama	8.77	8.47	61.51	142.88
	Kısıt Sulama	8.43	7.80	57.01	148.50
	LSD (0.05)	öd	öd	öd	öd
İnteraksiyonlar					
Perlit	Tam Sulama	7.40	7.09	51.81	143.25
	Kısıt Sulama	6.82	6.41	48.20	141.50
	LSD (0.05)	öd	öd	öd	öd
Cocopeat	Tam Sulama	10.15	9.86	71.21	142.50
	Kısıt Sulama	10.05	9.20	65.81	155.50
	LSD (0.05)	öd	öd	öd	öd

Toplam verim, pazarlanabilir verim, meyve ağırlığı ve meyve sayısındaki artış, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir.

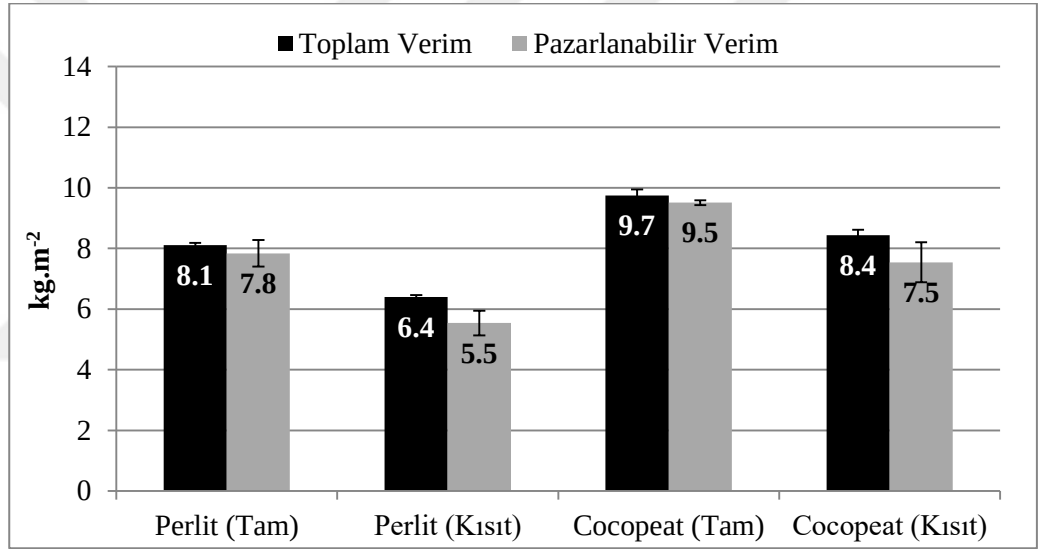
Tam ve kısıt sulama konularının, toplam ve pazarlanabilir verim, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı üzerine etkilerinin, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemsiz olduğu görülmüştür. Kısıt sulama konusunda, toplam verim, pazarlanabilir verim ve ortalama meyve ağırlığında bir azalma görülmesine rağmen, meyve sayısındaki artış ile bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Tam sulama konusundan, toplam ve pazarlanabilir, 8.77 kg.m⁻² ve 8.47 kg.m⁻² verim elde edilirken, kısıt sulama konusundan, 8.43 kg.m⁻² ve 7.80 kg.m⁻² verim alınmıştır.

Sulama ve ortam konularının birlikte etkisi incelendiğinde, kısıt uygulaması ile, perlit'te meyve sayısı 143.25 adet.m⁻²'den 141.50 adet.m⁻²'ye düşerken ortalama meyve ağırlığı da 51.81 g'dan 48.20 g'a düşmüştür. Bununla birlikte, toplam verim (7.40→6.82 kg.m⁻²) ve pazarlanabilir verim (7.09→6.41 kg.m⁻²) azalmış, fakat verimdeki azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemsiz olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamında ise ortalama meyve ağırlığı 71.21 g'dan 65.81 g'a düşerken meyve sayısı da 142.50 adet.m⁻²'den 155.50 adet.m⁻²'ye yükselmiştir. Toplam verim (10.15→10.05 kg.m⁻²) ve pazarlanabilir verim (9.86→9.20 kg.m⁻²) azalmış, fakat verimdeki azalma %5 yanılma düzeyinde (p>0.05) önemsiz olmuştur.

4.4.4. IV.Dönem (Sonbahar 2012)

Hasatlar 05.11.2012 tarihinde başlamış, 15.01.2013 tarihinde sona ermiştir. Dönem boyunca toplam 10 hasat yapılmıştır. Araştırmanın IV.dömeminden sağlanan toplam ve pazarlanabilir verim değerleri konulara göre (standart hata çizgileri ile) Şekil 4.43'de gösterilmiştir.



Şekil 4.43. IV. Üretim döneminde tüm konulardan elde edilen toplam ve pazarlanabilir verim (kg.m⁻²) değerleri

IV.dönemde, en yüksek toplam ve pazarlanabilir verim, sırasıyla, 9.7 kg.m⁻² ve 9.5 kg.m⁻² ile cocopeat-tam sulama konusundan elde edilirken, en düşük toplam ve pazarlanabilir verim, 6.4 kg.m⁻² ve 5.5 kg.m⁻² ile perlit-kısıt sulama konusundan elde edilmiştir. Tam ve kısıt sulama konularının her ikisinde de, cocopeat yetiştirme ortamında, perlit'e göre, daha yüksek verim elde edilmiştir. Cocopeat'te elde edilen ortalama pazarlanabilir verim 8.53 kg.m⁻² olurken, perlit'ten 6.69 kg.m⁻² pazarlanabilir verim elde edilmiştir.

IV.dönem deneme konularının, toplam verim, pazarlanabilir verim, ortalama meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkilerinin incelendiği istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Üretim döneminden elde edilen verim değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları (IV.Dönem)

Konular		Toplam Verim (kg.m ⁻²)	Pazarlanabilir Verim (kg.m ⁻²)	Ortalama Meyve Ağırlığı (g)	Meyve Sayısı (adet.m ⁻²)
Ortam	Perlit	7.25 a	6.69 a	61.23	118.38
	Cocopeat	9.09 b	8.53 b	70.06	130.38
	LSD (0.05)	0.447	0.449	5.085	öd
Sulama	Tam Sulama	8.93 a	8.68 a	72.14	123.63
	Kısıt Sulama	7.41 b	6.54 b	59.15	125.13
	LSD (0.05)	0.447	0.449	5.085	öd
İnteraksiyonlar					
Perlit	Tam Sulama	8.11 a	7.84 a	67.04	121.00
	Kısıt Sulama	6.40 b	5.54 b	55.42	115.75
	LSD (0.05)	0.447	0.449	5.085	öd
Cocopeat	Tam Sulama	9.75 a	9.51 a	77.24	126.25
	Kısıt Sulama	8.43 b	7.54 b	62.88	134.50
	LSD (0.05)	0.447	0.449	5.085	öd

Yetiştirme ortamlarının, toplam verim, pazarlanabilir verim ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkileri, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemli bulunurken, meyve sayısı üzerine etkisi önemsiz olmuştur. Cocopeat'ten elde edilen toplam verim 9.09 kg.m⁻² olurken, perlit'ten 7.25 kg.m⁻² verim elde edilmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamında, ortalama meyve ağırlığı 70.06 g, meyve sayısı da 130.38 adet.m⁻² ile perlit'ten yüksek sonuçlar vermiştir. Perlit'te, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı, sırasıyla, 61.23 g ve 118.38 adet.m⁻² olarak ölçülmüştür.

Toplam verim, pazarlanabilir verim, meyve ağırlığı ve meyve sayısındaki artış, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir.

Tam ve kısıt sulama konularının, meyve sayısı üzerine etkisi %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemsiz görülürken, toplam verim, pazarlanabilir verim ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkisi %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemli bulunmuştur. Kısıt sulama konusu ile toplam verim, pazarlanabilir verim, ortalama meyve ağırlığı azalırken meyve sayısında artış görülmüştür. Tam sulama konusundan, toplam ve pazarlanabilir, 8.93 kg.m⁻² ve 8.68 kg.m⁻² verim elde edilirken, kısıt sulama konusundan, 7.41 kg.m⁻² ve 6.54 kg.m⁻² verim alınmıştır.

Sulama ve ortam konularının birlikte etkisi incelendiğinde, kısıt uygulaması ile, perlit'te meyve sayısı $121.00 \text{ adet.m}^{-2}$ 'den $115.75 \text{ adet.m}^{-2}$ 'ye düşerken ortalama meyve ağırlığı da 67.04 g 'dan 55.42 g 'a düşmüştür. Kısıt uygulaması ile oluşan meyve sayısındaki azalma, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemsiz bulunurken, ortalama meyve ağırlığındaki artış önemli ($p>0.05$) bulunmuştur. Bununla birlikte, toplam verim ($8.11 \rightarrow 6.40 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verimdeki ($7.84 \rightarrow 5.54 \text{ kg.m}^{-2}$) azalma, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemli olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamında ise ortalama meyve ağırlığı 77.24 g 'dan 62.88 g 'a düşerken meyve sayısı da $126.25 \text{ adet.m}^{-2}$ 'den $134.50 \text{ adet.m}^{-2}$ 'ye yükselmiştir. Kısıt uygulaması ile oluşan meyve sayısındaki azalma, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemsiz bulunurken, ortalama meyve ağırlığındaki artış önemli ($p>0.05$) bulunmuştur. Toplam verim ($9.75 \rightarrow 8.43 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verimdeki ($9.51 \rightarrow 7.54 \text{ kg.m}^{-2}$) azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemli bulunmuştur.

Tüm dönemlerin verim değerleri birlikte incelendiğinde, “*Perlit-Tam Sulama*” konusundan, ilkbahar yetiştirme dönemlerinde ortalama 6.92 kg.m^{-2} verim alınırken sonbahar dönemlerinde ortalama 8.27 kg.m^{-2} verim alınmıştır. Konuya ilişkin dönemlik verimler 6.44 ile 8.43 kg.m^{-2} arasında değişmiş ve tüm dönemlerin ortalaması 7.59 kg.m^{-2} olmuştur. “*Perlit-Kısıt Sulama*” konusunda ise, ilkbahar yetiştirme dönemlerinde ortalama 6.36 kg.m^{-2} verim alınırken sonbahar dönemlerinde ortalama 6.74 kg.m^{-2} verim alınmıştır. Dönemlik verimler 5.91 ile 7.09 kg.m^{-2} arasında değişmiş ve tüm dönemlerin ortalaması 6.55 kg.m^{-2} olmuştur.

Tüm dönemlerin verim değerleri birlikte incelendiğinde, “*Cocopeat-Tam Sulama*” konusundan, ilkbahar yetiştirme dönemlerinde ortalama 10.32 kg.m^{-2} verim alınırken sonbahar dönemlerinde ortalama 10.72 kg.m^{-2} verim alınmıştır. Konuya ilişkin dönemlik verimler 9.75 ile 11.69 kg.m^{-2} arasında değişmiş ve tüm dönemlerin ortalaması 10.52 kg.m^{-2} olmuştur. “*Cocopeat-Kısıt Sulama*” konusunda ise, ilkbahar yetiştirme dönemlerinde ortalama 10.07 kg.m^{-2} verim alınırken sonbahar dönemlerinde ortalama 9.68 kg.m^{-2} verim alınmıştır. Dönemlik verimler 8.44 ile 10.93 kg.m^{-2} arasında değişmiş ve tüm dönemlerin ortalaması 9.88 kg.m^{-2} olmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamı, kısıt uygulamasından ve yetiştirme dönemi farklılığından, perlit'e göre daha az etkilenmiştir. Toplam verim, pazarlanabilir

verim, meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığı değerlerinin tümünde daha iyi sonuçlar vermiştir.

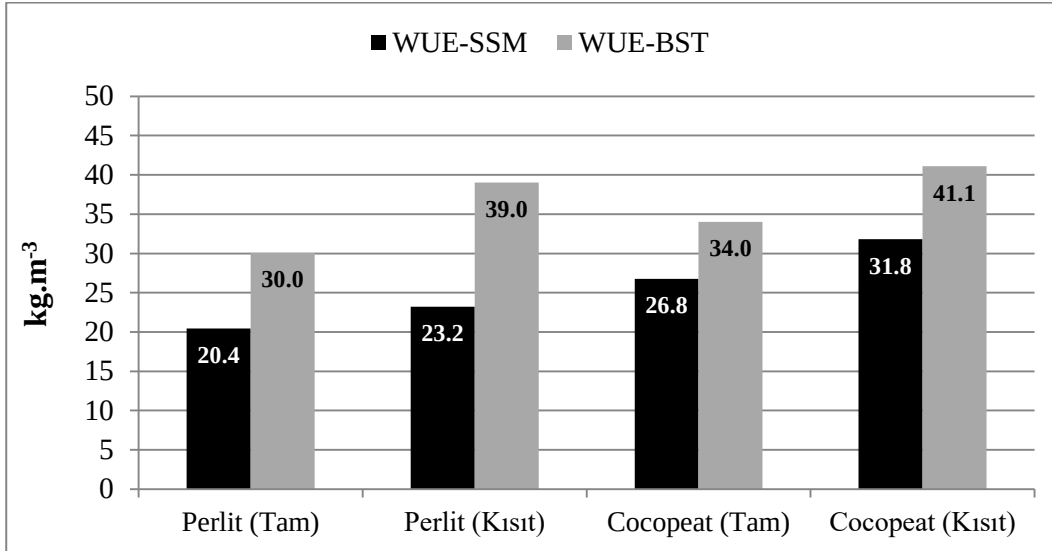
4.5. Su Kullanım Randımanı (WUE)

Kapalı sistem içerisinde çevirilen ve konulara ilişkin sulama sayaçlarından geçen besin solüsyonu, *sulama suyu miktarı (SSM)* olarak ifade edilmiştir. Bu parametreye *bitki su tüketimi (BST)* de dahil edilerek, tüm yetiştirme dönemleri için her deneme konusunda, 2 adet su kullanım randımanı değeri ilgili eşitlikler (Eşitlik 19 ve 20) ile hesaplanarak verilmiştir.

Sulama suyu miktarına bağlı randımandaki (WUE-SSM) artış, aynı zamanda sulama (işletme) maliyetlerindeki azalma olarak da yorumlanabilir. Bitki su tüketimi miktarına bağlı randımandaki (WUE-BST) artış ise, su ve besin maddesi maliyetlerinden tasarruf olarak yorumlanabilir.

4.5.1. I.Dönem (İlkbahar 2011)

I.dönemde deneme konulara ilişkin, sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri Şekil 4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.44. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri (I.Dönem)

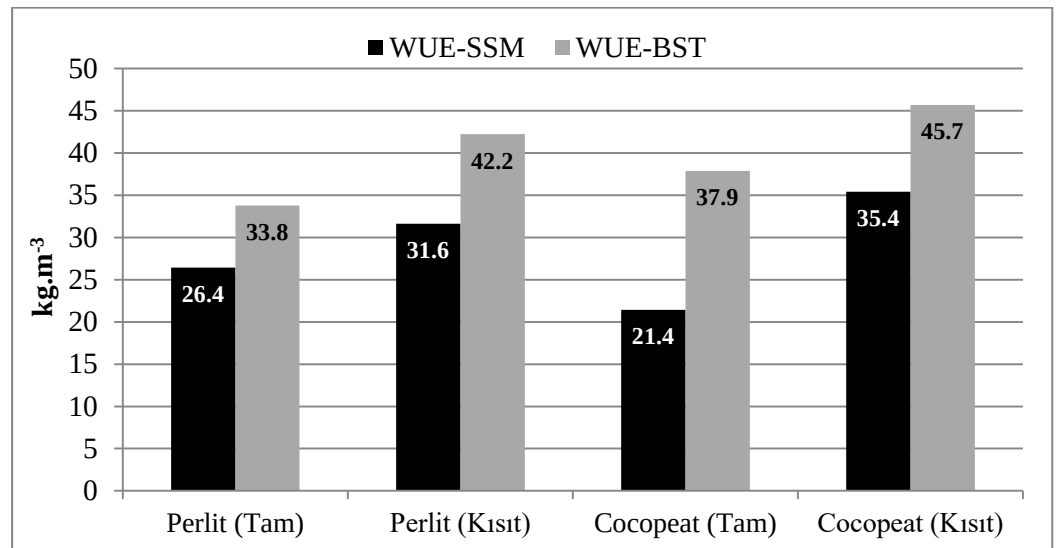
Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi ile hesaplanan su kullanım randımanlarının tümünde, en yüksek değer 41.1 kg.m^{-3} ile “Cocopeat-Kısıt Sulama” konusundan elde edilmiştir. En düşük randıman değeri ise 20.4 kg.m^{-3} ile “Perlit-Tam Sulama” konusundan alınmıştır.

Sulama suyu miktarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanı değerleri 20.4 kg.m^{-3} - 31.8 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Perlit’te kısıt uygulaması ile sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanında 2.8 kg.m^{-3} (%13.7)’lük bir artış gözlenirken, cocopeat’te ise 5.0 kg.m^{-3} (%18.7) randıman artışı ölçülmüştür. Tüm konuların su kullanım randımanı (WUE-SSM) ortalaması ise 25.6 kg.m^{-3} olmuştur.

Bitki su tüketimi sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanı değerleri ise 30.0 kg.m^{-3} – 41.1 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Perlit’te kısıt uygulaması ile sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanında 9.0 kg.m^{-3} (%30.0)’lük bir artış gözlenirken, cocopeat’te ise 7.1 kg.m^{-3} (%20.9) randıman artışı ölçülmüştür. Tüm konuların su kullanım randımanı (WUE-BST) ortalaması ise 36.1 kg.m^{-3} olmuştur.

4.5.2. II.Dönem (Sonbahar 2011)

II.dönemde deneme konulara ilişkin, sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri Şekil 4.45’de verilmiştir.



Şekil 4.45. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri (II.Dönem)

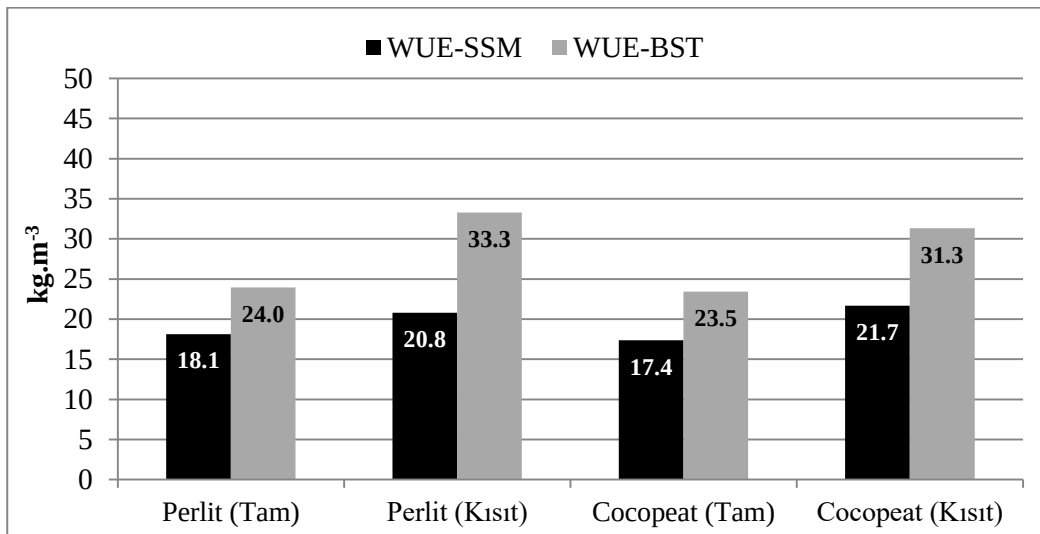
Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi ile hesaplanan su kullanım randımanlarının tümünde, en yüksek değer 45.7 kg.m^{-3} ile “Cocopeat-Kısıt Sulama” konusundan elde edilmiştir. En düşük randıman değeri ise 21.4 kg.m^{-3} ile “Cocopeat-Tam Sulama” konusundan alınmıştır.

Sulama suyu miktarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanı değerleri 21.4 kg.m^{-3} – 35.4 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Perlit’te kısıt uygulaması ile sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanında 5.2 kg.m^{-3} (%19.7)’lük bir artış gözlenirken, cocopeat’te ise 14.0 kg.m^{-3} (%65.4) randıman artışı ölçülmüştür. Tüm konuların su kullanım randımanı (WUE-SSM) ortalaması ise 28.7 kg.m^{-3} olmuştur.

Bitki su tüketimi sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanı değerleri ise 33.8 kg.m^{-3} – 45.7 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Perlit’te kısıt uygulaması ile sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanında 8.4 kg.m^{-3} (%24.9)’lük bir artış gözlenirken, cocopeat’te ise 7.8 kg.m^{-3} (%20.5) randıman artışı ölçülmüştür. Tüm konuların su kullanım randımanı (WUE-BST) ortalaması ise 39.9 kg.m^{-3} olmuştur.

4.5.3. III.Dönem (İlkbahar 2012)

III.dönemde deneme konulara ilişkin, sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan, su kullanım randımanı değerleri Şekil 4.46’da verilmiştir.



Şekil 4.46. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri (III.Dönem)

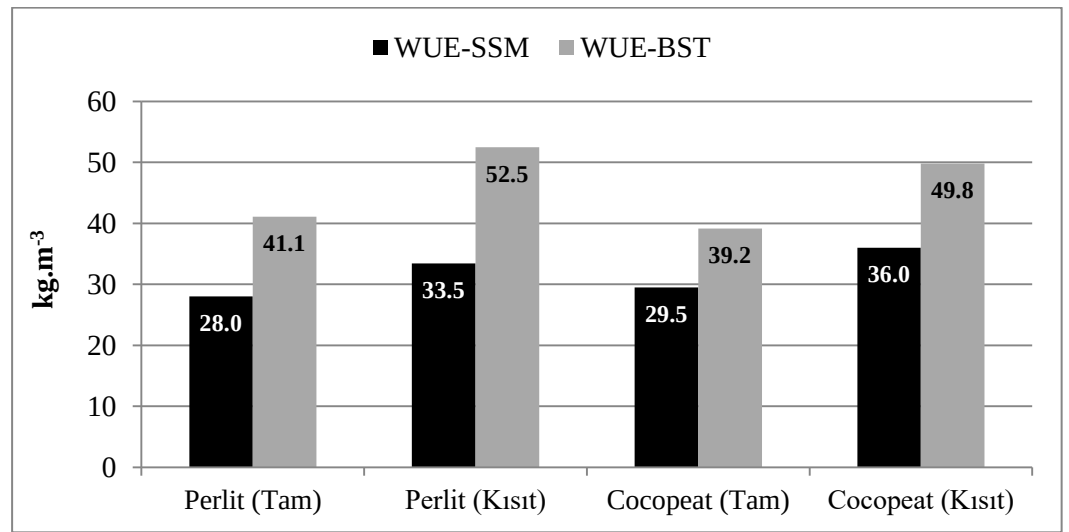
Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi ile hesaplanan su kullanım randımanlarının tümünde, en yüksek değer 33.3 kg.m^{-3} ile “*Perlit-Kısıt Sulama*” konusundan elde edilmiştir. En düşük randıman değeri ise 17.4 kg.m^{-3} ile “*Cocopeat-Tam Sulama*” konusundan alınmıştır.

Sulama suyu miktarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanı değerleri 17.4 kg.m^{-3} – 21.7 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Perlit’te kısıt uygulaması ile sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanında 2.7 kg.m^{-3} (%14.9)’lük bir artış gözlenirken, cocopeat’te ise 4.3 kg.m^{-3} (%24.7) randıman artışı ölçülmüştür. Tüm konuların su kullanım randımanı (WUE-SSM) ortalaması ise 19.5 kg.m^{-3} olmuştur.

Bitki su tüketimi sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanı değerleri ise 23.5 kg.m^{-3} – 33.3 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Perlit’te kısıt uygulaması ile sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanında 9.3 kg.m^{-3} (%38.8)’lük bir artış gözlenirken, cocopeat’te ise 7.8 kg.m^{-3} (%33.2) randıman artışı ölçülmüştür. Tüm konuların su kullanım randımanı (WUE-BST) ortalaması ise 28.0 kg.m^{-3} olmuştur.

4.5.4. IV.Dönem (İlkbahar 2012)

IV.dönemde deneme konulara ilişkin, sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan, su kullanım randımanı değerleri Şekil 4.47’de verilmiştir.



Şekil 4.47. Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimine göre hesaplanan su kullanım randımanı değerleri (IV.Dönem)

Sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi ile hesaplanan su kullanım randımanlarının tümünde, en yüksek değer, 52.5 kg.m^{-3} ile “*Perlit-Kısıt Sulama*” konusundan elde edilmiştir. En düşük randıman değeri ise 28.0 kg.m^{-3} ile “*Perlit-Tam Sulama*” konusundan alınmıştır.

Sulama suyu miktarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanı değerleri 28.0 kg.m^{-3} – 36.0 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Perlit’te kısıt uygulaması ile sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanında 5.5 kg.m^{-3} (%19.6)’lük bir artış gözlenirken, cocopeat’te ise 6.5 kg.m^{-3} (%22.0) randıman artışı ölçülmüştür. Tüm konuların su kullanım randımanı (WUE-SSM) ortalaması ise 31.8 kg.m^{-3} olmuştur.

Bitki su tüketimi sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanı değerleri ise 39.2 kg.m^{-3} – 52.5 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Perlit’te kısıt uygulaması ile sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanında 11.4 kg.m^{-3} (%27.7)’lük bir artış gözlenirken, cocopeat’te ise 10.6 kg.m^{-3} (%27.0) randıman artışı ölçülmüştür. Tüm konuların su kullanım randımanı (WUE-BST) ortalaması ise 45.7 kg.m^{-3} olmuştur.

Tüm dönemler birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek randıman değerleri kısıt sulama konularından, en düşük randıman değerleri ise tam sulama konularından alınmıştır. Sulama suyu miktarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanları 17.4 kg.m^{-3} – 36.0 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Kısıt uygulaması ile tüm dönemlerin (I, II, III ve IV) su kullanım randımanlarında, perlit için, 2.8, 5.2, 2.7 ve 5.5 kg.m^{-3} artış sağlanırken, cocopeat’te, 5.0, 14.0, 4.3 ve 6.3 kg.m^{-3} artış sağlanmıştır. Tüm dönemlerin ve konuların, sulama suyu miktarına bağlı ortalama su kullanım randımanı değeri 26.4 kg.m^{-3} bulunmuştur.

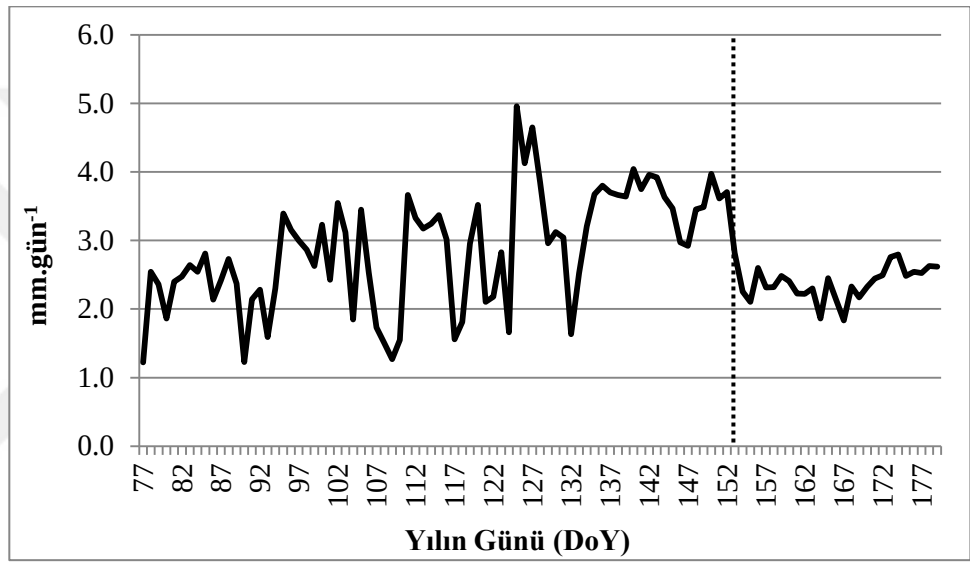
Bitki su tüketimi miktarına bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanları 23.5 kg.m^{-3} – 52.5 kg.m^{-3} arasında değişmiştir. Kısıt uygulaması ile tüm dönemlerin (I, II, III ve IV) su kullanım randımanlarında, perlit için, 9.0, 8.4, 9.3 ve 11.4 kg.m^{-3} artış sağlanırken, cocopeat’te, 7.1, 7.8, 7.8 ve 10.6 kg.m^{-3} artış sağlanmıştır. Tüm dönemlerin ve konuların, bitki su tüketimi miktarına bağlı ortalama su kullanım randımanı değeri 37.4 kg.m^{-3} bulunmuştur.

4.6. Referans Bitki Su Tüketimi

Referans bitki su tüketimlerinin hesaplanmasında FAO-PM yöntemi ile birlikte, iklim verilerinin sınırlı olduğu koşulda tavsiye edilen Hargreaves eşitliği kullanılmıştır.

4.6.1. FAO Penman-Monteith (ET_o)

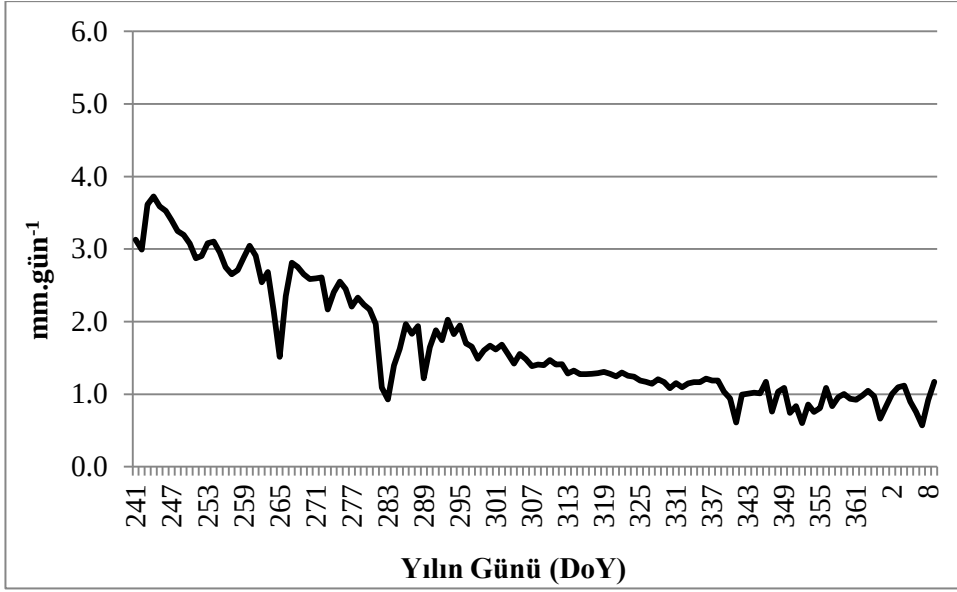
I.döneme ilişkin, hesaplanan referans bitki su tüketimi değerleri Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.48. I.Dönem referans bitki su tüketimi (FAO-PM) grafiği

İlkbahar (2011) yetiştirme döneminde hesaplanan en yüksek referans bitki su tüketimi değeri 4.96 mm.gün^{-1} ile 05.05.2011 (125.gün) tarihinde görülürken, en düşük ET_o , 1.22 mm.gün^{-1} ile 18.03.2011 (77.gün) tarihinde görülmüştür. Dönemlik referans bitki su tüketimi ortalaması 2.75 mm.gün^{-1} , toplamı ise 283.6 mm olarak hesaplanmıştır.

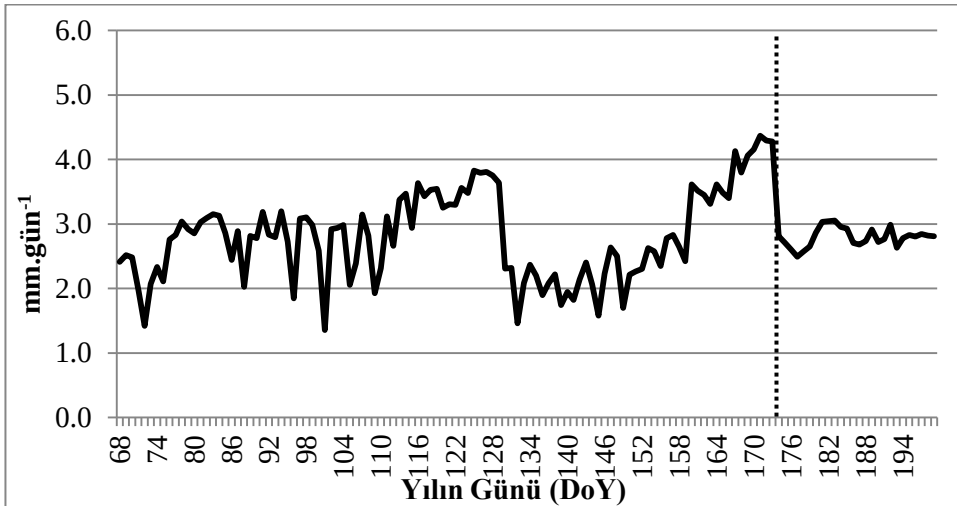
II.döneme ilişkin, hesaplanan referans bitki su tüketimi değerleri Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.49. II.Dönem referans bitki su tüketimi (FAO-PM) grafiği

Sonbahar (2011) yetiştirme döneminde hesaplanan en yüksek referans bitki su tüketimi değeri 3.72 mm.gün^{-1} ile 31.08.2011 (243.gün) tarihinde görülürken, en düşük ET_o , 0.57 mm.gün^{-1} ile 07.01.2012 (7.gün) tarihinde görülmüştür. Dönemlik referans bitki su tüketimi ortalaması 1.69 mm.gün^{-1} , toplamı ise 226.7 mm olarak hesaplanmıştır.

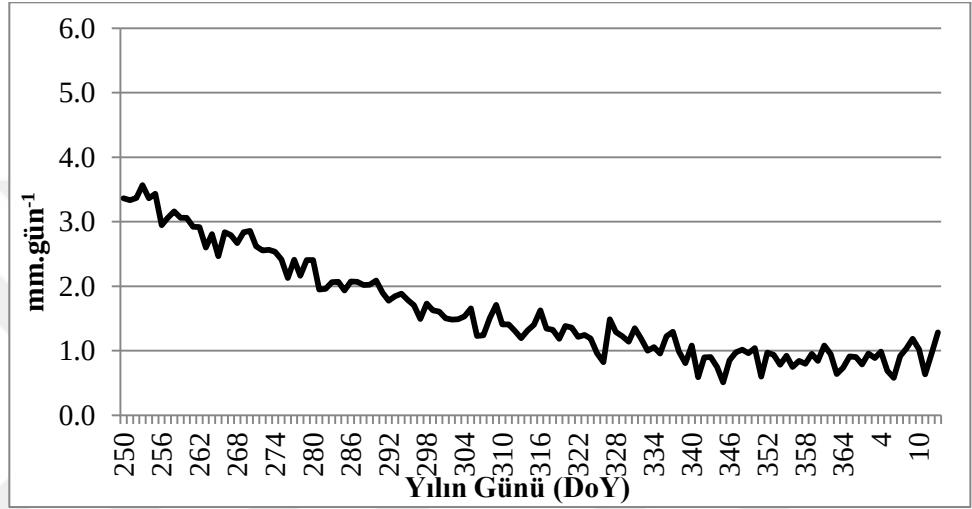
III.döneme ilişkin, hesaplanan referans bitki su tüketimi değerleri Şekil 4.50’de verilmiştir.



Şekil 4.50. III.Dönem referans bitki su tüketimi (FAO-PM) grafiği

İlkbahar (2012) yetiştirme döneminde hesaplanan en yüksek referans bitki su tüketimi değeri 4.37 mm.gün^{-1} ile 19.06.2012 (171.gün) tarihinde görülürken, en düşük ET_o , 1.36 mm.gün^{-1} ile 10.04.2012 (101.gün) tarihinde görülmüştür. Dönemlik referans bitki su tüketimi ortalaması 2.81 mm.gün^{-1} , toplamı ise 371.4 mm olarak hesaplanmıştır.

IV.döneme ilişkin, hesaplanan referans bitki su tüketimi değerleri Şekil 4.51’de verilmiştir.



Şekil 4.51. IV.Dönem referans bitki su tüketimi (FAO-PM) grafiği

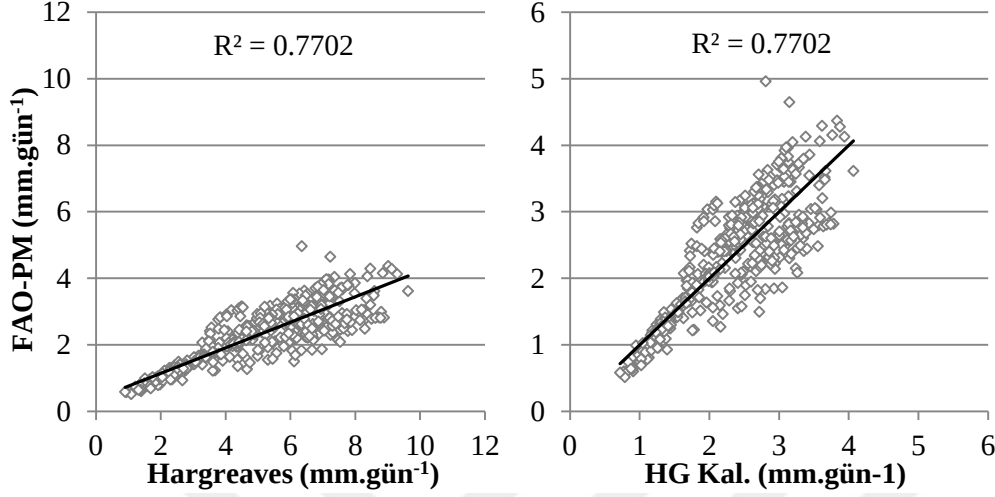
Sonbahar (2012) yetiştirme döneminde hesaplanan en yüksek referans bitki su tüketimi değeri 3.57 mm.gün^{-1} ile 09.09.2012 (253.gün) tarihinde görülürken, en düşük ET_o , 0.51 mm.gün^{-1} ile 10.12.2012 (345.gün) tarihinde görülmüştür. Dönemlik referans bitki su tüketimi ortalaması 1.62 mm.gün^{-1} , toplamı ise 210.5 mm olarak hesaplanmıştır.

4.6.2. Hargreaves (ET_o)

Hargreaves eşitliği ile elde edilen sonuçlar, FAO-PM eşitliğinin sonuçları ile karşılaştırılmış ve Hargreaves, yetiştiricilik yapılan sera için kalibre edilmiştir. Karşılaştırma sonucunda elde edilen kalibrasyon eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$ET_{o,HG \text{ Kal.}} = 0,3709 + 0,3838ET_{o,HG} \quad (56)$$

Kalibrasyon öncesi (HG) ve sonrası (HG Kal.) referans bitki su tüketimi sonuçlarının, FAO-PM referans bitki su tüketimi değerleri ile ilişkisi Şekil 4.52’de gösterilmiştir.



Şekil 4.52. Kalibrasyon öncesi ve sonrası Hargreaves değerleri ile FAO-PM değerlerinin saçılım grafiği

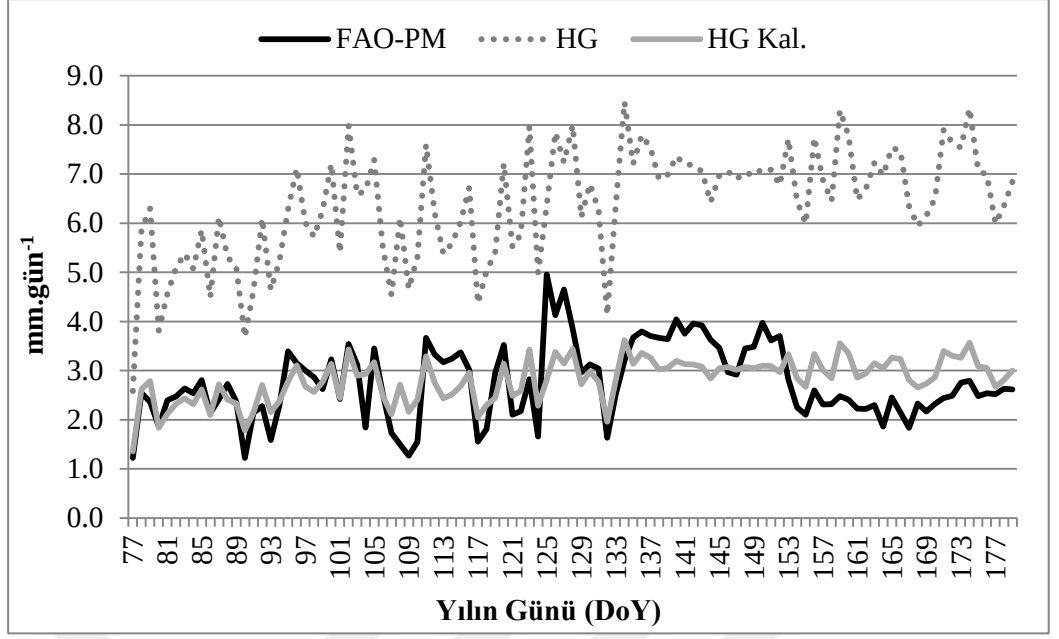
Hargreaves eşitliklerinin (tahmin), FAO-PM sonuçları (ölçüm) ile yakınlığına ilişkin değerlendirme sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kalibrasyon öncesi ve sonrası Hargreaves eşitliklerinin, FAO-PM sonuçlarına yakınlığı

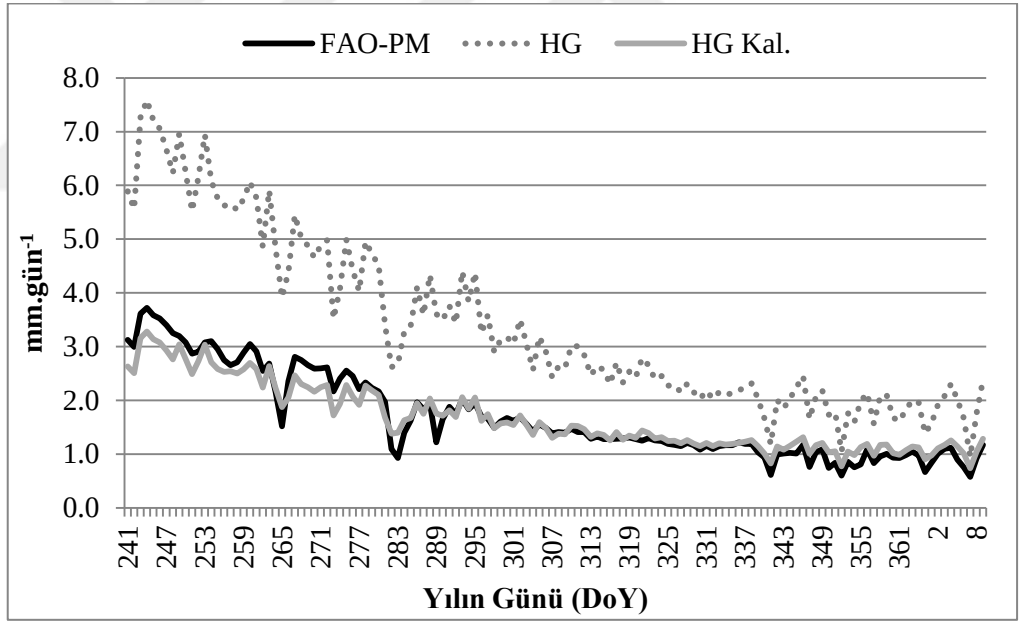
Model	Ortalama (mm.gün ⁻¹)	HKOK	R ²	E
HG Kalib.	2.19	0.448	0.77	0.77
Hargreaves	4.74	2.903	0.77	-8.63

Kalibrasyon öncesi, sera içi referans bitki su tüketimi için yüksek sonuçlar veren Hargreaves eşitliği, kalibrasyon ile 0.77’lik bir etkinlik ile FAO-PM sonuçlarına yaklaşmıştır.

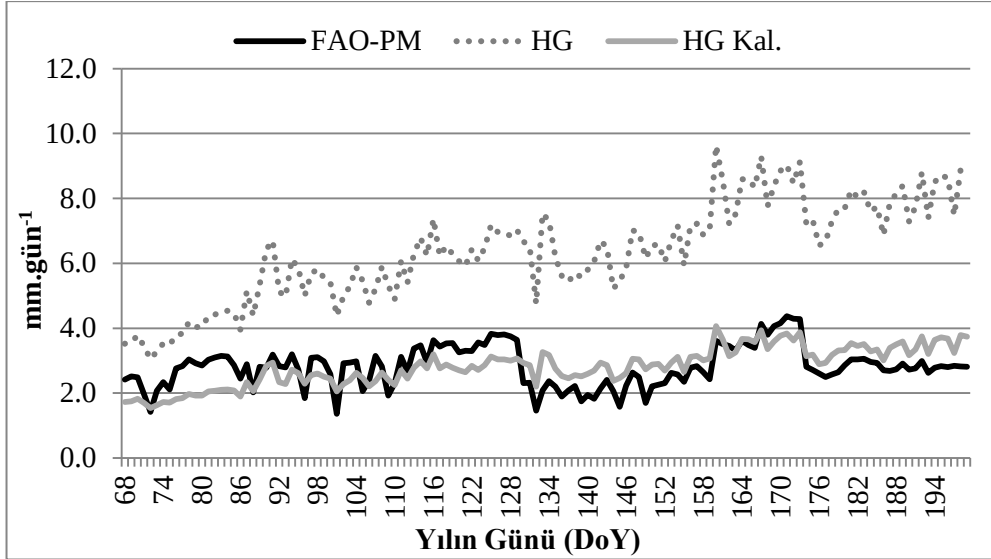
Tüm yetiştirme dönemlerine ilişkin, kalibrasyon öncesi (HG) ve sonrası (HG Kal.) referans bitki su tüketimi değerleri ile FAO-PM referans bitki su tüketimi değerleri Şekil 4.53, 4.54, 4.55 ve 4.56’da gösterilmiştir.



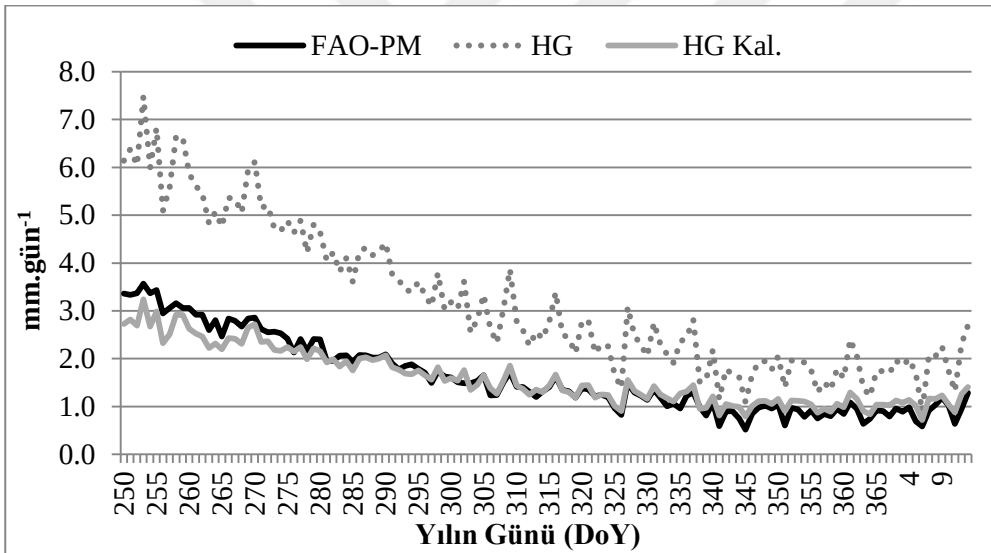
Şekil 4.53. I.Yetiştirme dönemine ilişkin Hargreaves ve FAO-PM referans bitki su tüketimi sonuçları



Şekil 4.54. II.Yetiştirme dönemine ilişkin Hargreaves ve FAO-PM referans bitki su tüketimi sonuçları



Şekil 4.55. III.Yetişirme dönemine ilişkin Hargreaves ve FAO-PM referans bitki su tüketimi sonuçları

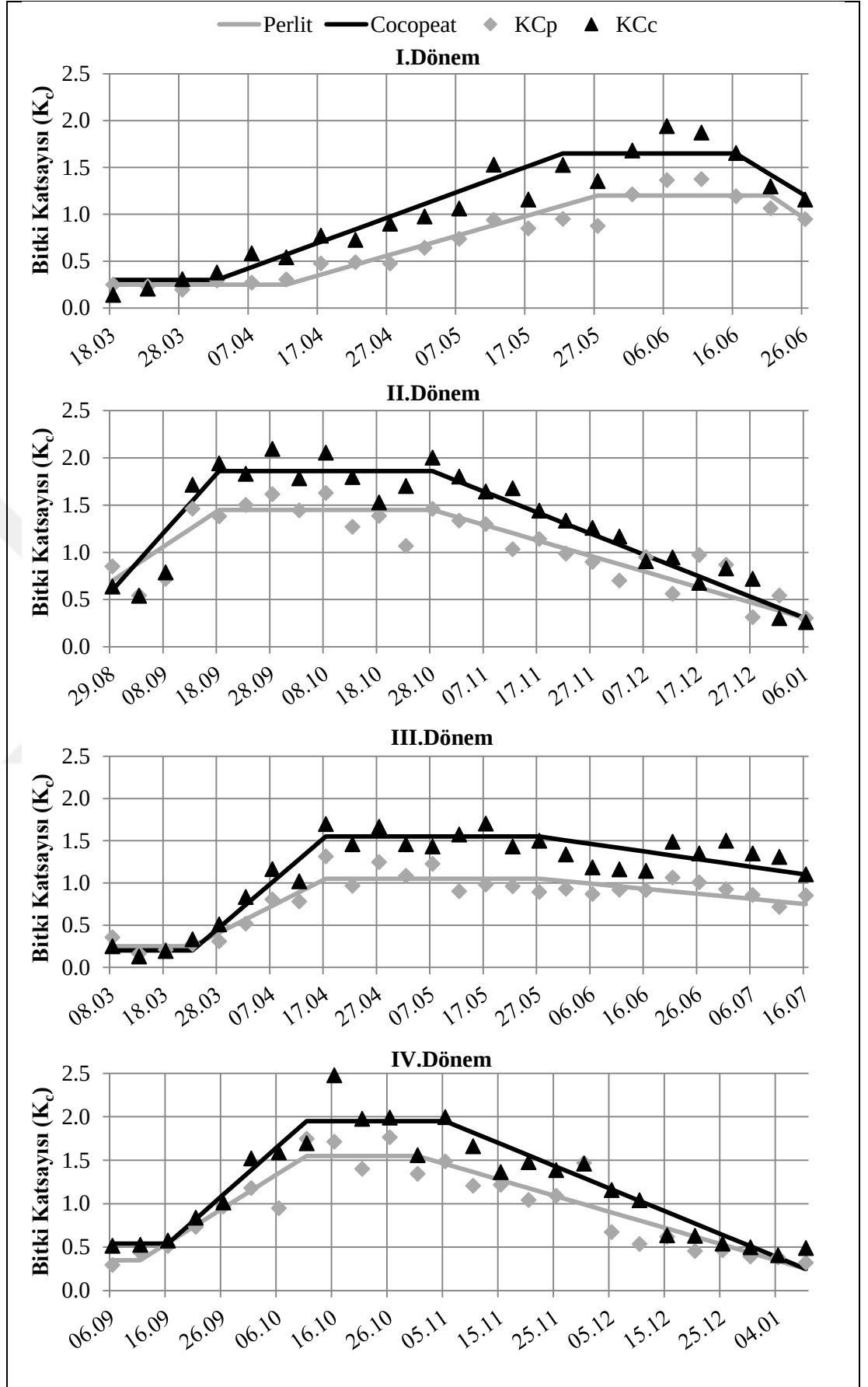


Şekil 4.56. IV.Yetişirme dönemine ilişkin Hargreaves ve FAO-PM referans bitki su tüketimi sonuçları

4.6.3. Bitki katsayıları (K_c)

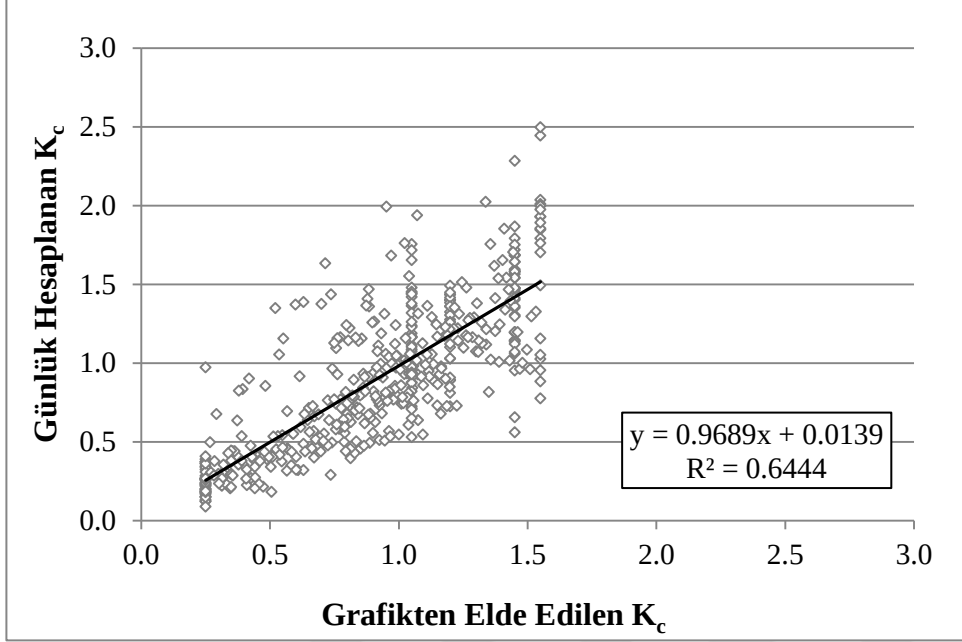
Grafiksel K_c belirleme yöntemine (Allen et al., 1998) göre, ET_c ve ET_o verilerinin 5 günlük ortalamaları oluşturulmuş, bitki büyüme dönemlerine göre bitki katsayısı eğrileri elde edilmiştir.

Tüm üretim dönemlerinde, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları için belirlenen bitki katsayısı (K_c) değerleri Şekil 4.57'de gösterilmiştir.

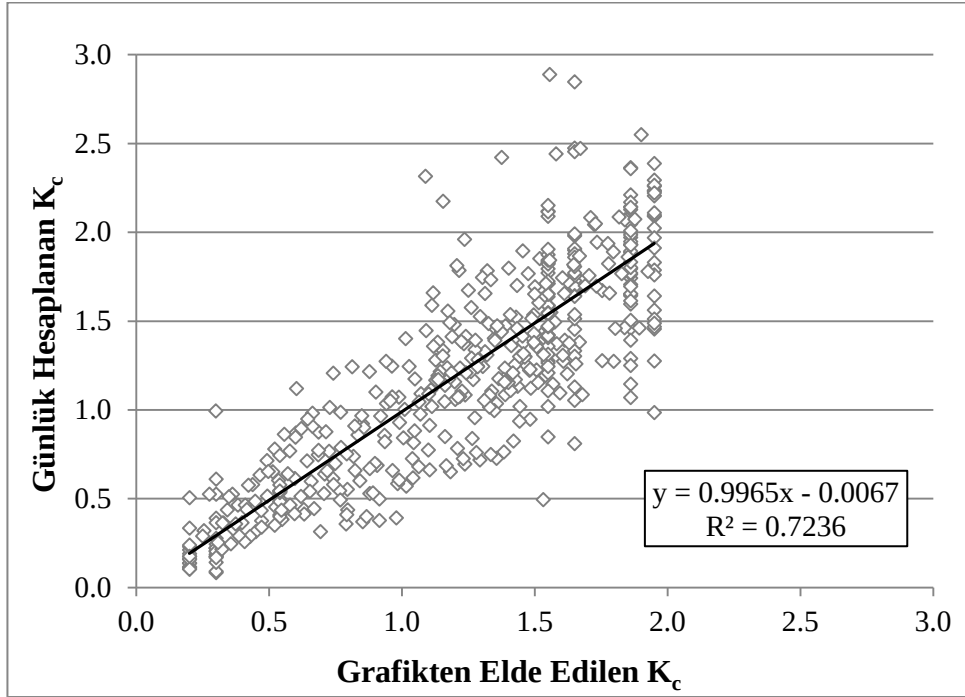


Şekil 4.57. Tüm dönemler ve ortamlar için belirlenen bitki katsayısı eğrileri

Perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, günlük olarak hesaplanan bitki katsayıları ile bitki katsayısı eğrileri aracılığıyla oluşturulan günlük bitki katsayılarının ilişkisi Şekil 4.58 ve Şekil 4.59’da gösterilmiştir.



Şekil 4.58. Perlit yetiştirme ortamında, tüm dönemlerde, günlük hesaplanan K_c değerleri ile oluşturulan grafikten elde edilen K_c değerlerinin saçılımı

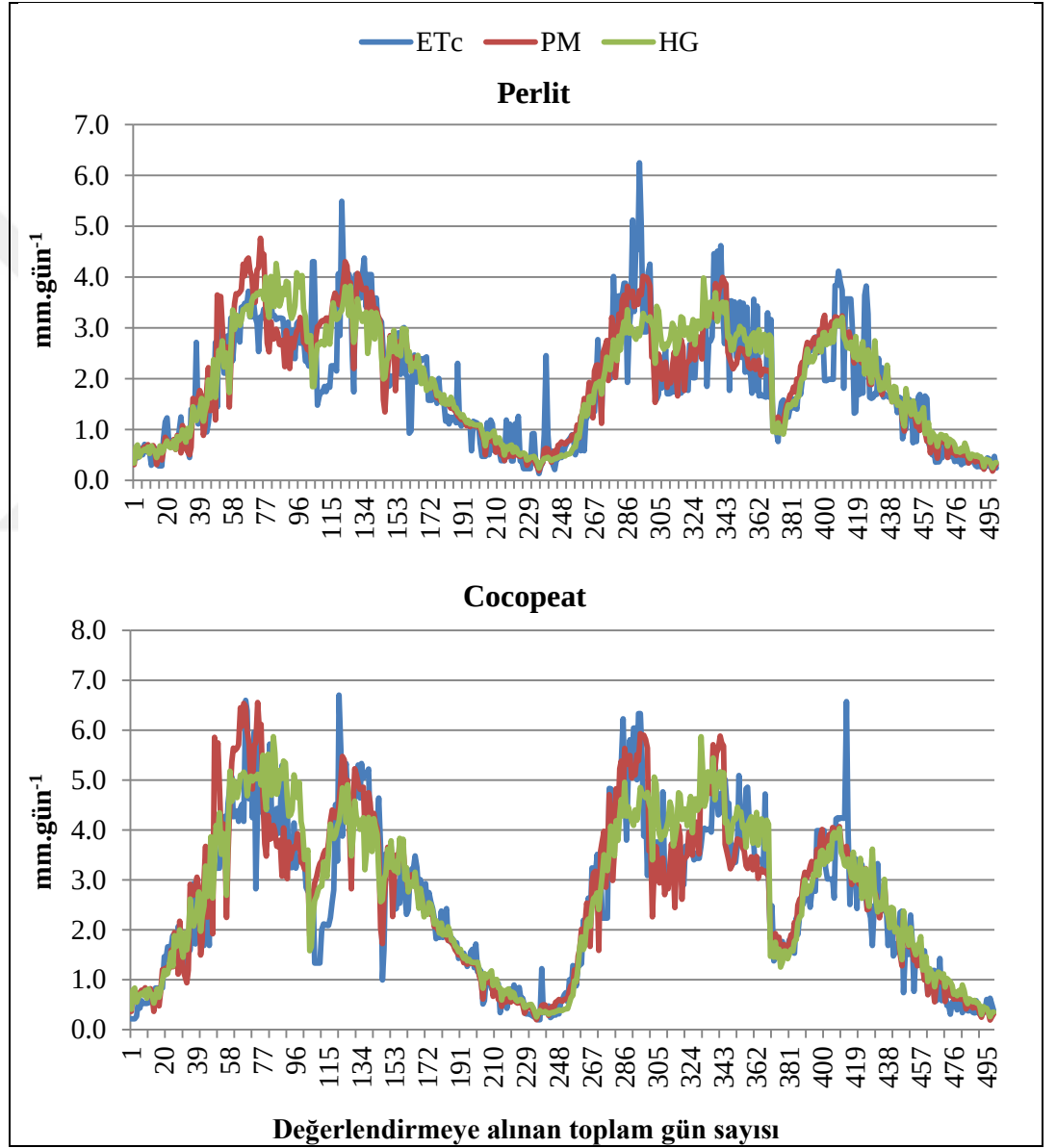


Şekil 4.59. Cocopeat yetiştirme ortamında, tüm dönemlerde, günlük hesaplanan K_c değerleri ile oluşturulan grafikten elde edilen K_c değerlerinin saçılımı

4.7. Bitki Su Tüketimi Tahminleri

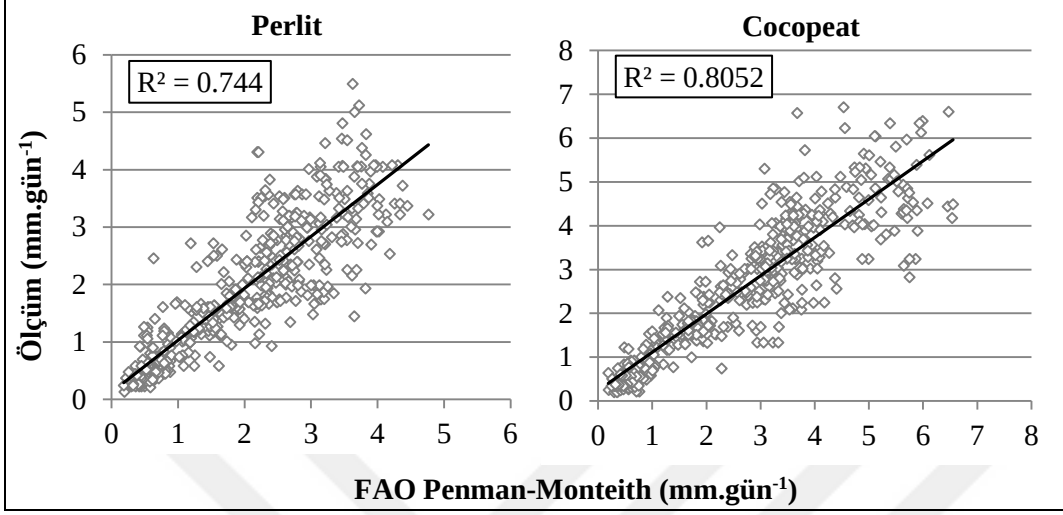
4.7.1. Ampirik yöntemler

4 ayrı bitki yetiştirme döneminde değerlendirmeye alınan toplam günlük verilerden elde edilen, gerçek bitki su tüketimi (ET_c) ile FAO-PM ve kalibre edilen Hargreaves ile hesaplanan bitki su tüketimi değerleri, her iki yetiştirme ortamı için, Şekil 4.59'da gösterilmiştir.

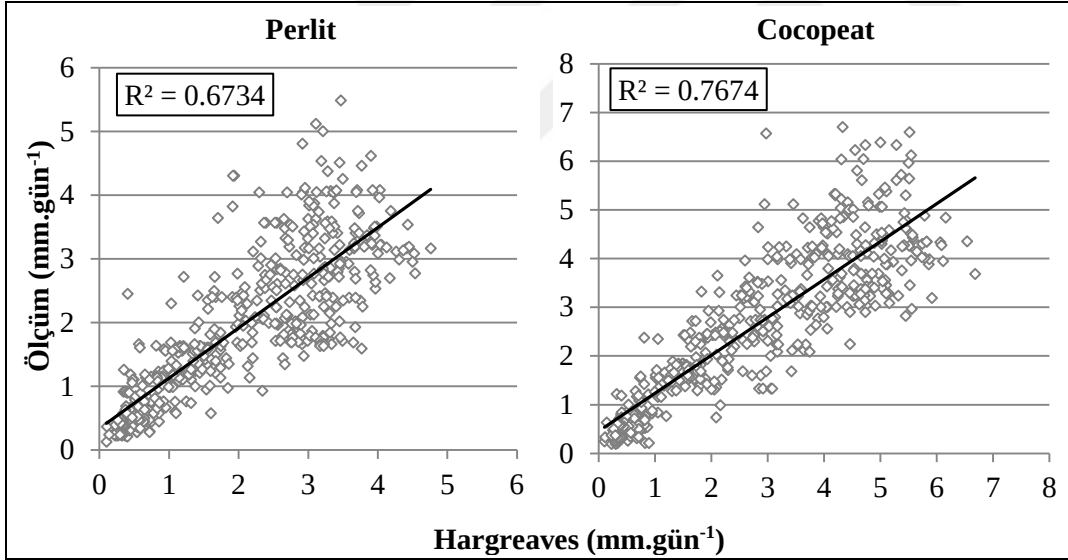


Şekil 4.60. Ölçülen ve ampirik eşitlikler ile hesaplanan bitki su tüketimi değerleri

Günlük olarak ölçülen bitki su tüketimi ile ampirik eşitlikler aracılığıyla tahmin edilen bitki su tüketimi değerlerinin ilişkisi Şekil 4.61 ve 4.62’de saçılım grafiği ile gösterilmiştir.



Şekil 4.61. Ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile FAO-PM eşitliği tahminleri saçılımı



Şekil 4.62. Ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile Hargreaves eşitliği tahminleri saçılımı

Ampirik eşitliklerin (tahmin), günlük bitki su tüketimi (ölçüm) tahminindeki başarısı analiz edilmiş ve Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Ampirik eşitliklerin istatistiksel değerlendirilmesi

Yöntem	Yetiştirme Ortamı	HKOK	R ² _{düz}	E
FAO Penman-Monteith	Cocopeat	0.725	0.804	0.784
FAO Penman-Monteith	Perlit	0.609	0.743	0.733
Hargreaves	Cocopeat	0.860	0.766	0.696
Hargreaves	Perlit	0.727	0.672	0.620

Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar, FAO Penman-Monteith eşitliği ile elde edilmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamında 0.784'lük bir etkinlik ile tahminleme yapan FAO-PM eşitliğinin etkinliği, perlit'te 0.733 olmuştur.

Solar radyasyon, rüzgar hızı ve bağıl nem verilerinin eksik olduğu koşulda tavsiye edilen yöntem olan, Hargreaves eşitliği, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarında, 0.696 ve 0.620 etkinlik ile tahminleme yapmıştır.

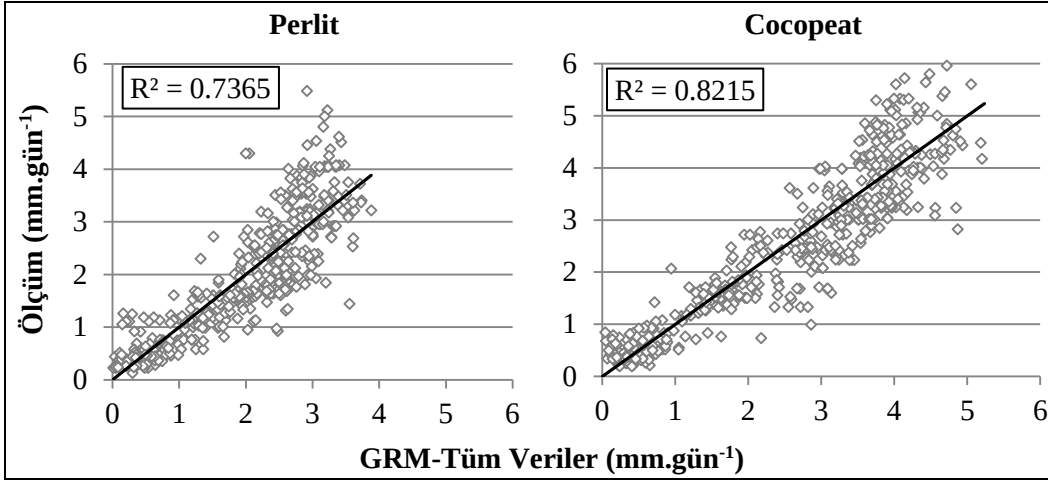
Ampirik eşitliklerin ikisinde de, cocopeat yetiştirme ortamında model etkinliği (E) açısından daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

4.7.2. Genelleştirilmiş Regresyon Modelleri (GRM)

Genelleştirilmiş regresyon modellerinin (GRM) girdileri belirlenirken, **(1)** tüm verilerin bulunduğu koşul ile **(2, 3 ve 4)** eksik veri koşullarına göre kurgu yapılmıştır. Her dört koşul için, **(a)** mümkün olan tüm verilerin (*tüm veriler*) kullanıldığı ve **(b)** mümkün olan tüm verilerden en az değişken ile en iyi sonucu veren (*en iyi veriler*) modeller aranmıştır. En az değişken ile en iyi sonucu veren modellerin arandığı 4 koşul için, en iyi sonucu (R²_{düz}) veren 500 regresyon modeli (toplam 2000 model) taranmış ve her konu için farklı girdi kombinasyonlarını temsil eden en iyi 10 model çizelgeler ile bu bölümde sunulmuştur. Her konu için en iyi genelleştirilmiş regresyon modeli seçilerek genel değerlendirmeye alınmıştır.

4.7.2.1. Tüm verilerin bulunduğu koşul için oluşturulan modeller

Her iki yetiştirme ortamı için, tüm veriler kullanılarak oluşturulan GRM modelleri aracılığıyla tahmin edilen bitki su tüketimi değerlerinin, ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile ilişkileri Şekil 4.63'de gösterilmiştir.



Şekil 4.63. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler)

Perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları için, tüm veriler kullanılarak oluşturulan 500 regresyon modeli içerisinde seçilen, en az değişken (En iyi veriler) ile en iyi sonucu veren 10 model, düzeltilmiş belirleme katsayıları ile Çizelge 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Perlit için en iyi veriler ile oluşturulan regresyon modelleri

Perlit Modelleri	$R^2_{düz}$	DoY	DAP	T _{ort}	T _{max}	T _{min}	RH _{ort}	RH _{max}	RH _{min}	R _s	R _n	R _a	K _c
GRM-P1	0.7319	x	x			x	x				x		x
GRM-P2	0.7317	x	x		x	x	x				x		x
GRM-P3	0.7315	x	x	x	x		x				x		x
GRM-P4	0.7313	x	x			x		x			x		x
GRM-P5	0.7306	x	x	x	x			x		x		x	x
GRM-P6	0.7303	x	x			x		x		x		x	x
GRM-P7	0.7270		x			x		x			x	x	x
GRM-P8	0.7261		x		x	x		x		x		x	x
GRM-P9	0.7259	x	x		x		x			x	x	x	x
GRM-P10	0.7259		x	x		x		x	x	x	x	x	x

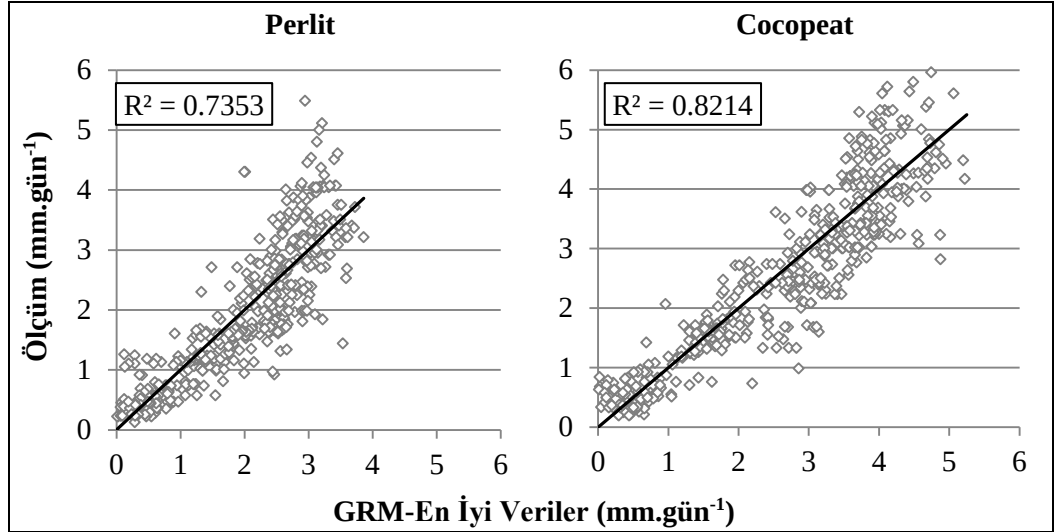
Perlit yetiştirme ortamı için en iyi model olarak önerilen GRM-P1 modelinde, yılın günü (DoY), dikim sonrası gün (DAP), minimum sıcaklık, ortalama bağıl nem, net radyasyon ve bitki katsayısı olmak üzere 6 veri kullanılmıştır. En iyi 500 regresyon modelinin ($R^2_{düz}$ ’e göre) tümünde, dikim sonrası gün ve bitki katsayısı verileri yer almıştır.

Çizelge 4.11. Cocopeat için en iyi veriler ile oluşturulan regresyon modelleri

Cocopeat Modelleri	$R^2_{düz}$	DoY	DAP	T ort	T max	T min	RH ort	RH max	RH min	R _a	R _s	R _n	K _c
GRM-C1	0.8179	x	x	x	x		x		x		x	x	x
GRM-C2	0.8176	x	x	x	x		x			x		x	x
GRM-C3	0.8173	x	x			x	x	x			x	x	x
GRM-C4	0.8171	x	x	x	x			x	x		x	x	x
GRM-C5	0.8144	x	x	x	x		x			x	x		x
GRM-C6	0.8137		x	x	x		x			x		x	x
GRM-C7	0.8099	x		x	x		x		x		x	x	x
GRM-C8	0.8096		x	x						x	x	x	x
GRM-C9	0.8094		x	x	x					x	x		x
GRM-C10	0.8094		x			x	x			x	x		x

Cocopeat yetiştirme ortamı için en iyi model olarak önerilen GRM-C1 modelinde, yılın günü (DoY), dikim sonrası gün (DAP), ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, ortalama bağıl nem, minimum bağıl nem, solar radyasyon, net radyasyon ve bitki katsayısı olmak üzere 9 veri kullanılmıştır. En iyi 500 regresyon modelinin ($R^2_{düz}$ 'e göre) tümünde bitki katsayısı verileri yer almıştır.

Her iki yetiştirme ortamı için, en iyi veriler kullanılarak oluşturulan regresyon modelleri aracılığıyla tahmin edilen bitki su tüketimi değerlerinin, ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile ilişkileri Şekil 4.64'de gösterilmiştir.



Şekil 4.64. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (En iyi veriler)

Tüm verilerin kullanılabilir olduğu koşul için oluşturulan en başarılı modellerin (tahmin), günlük bitki su tüketimi (ölçüm) tahminindeki başarısı analiz edilmiş ve Çizelge 4.12'de verilmiştir.

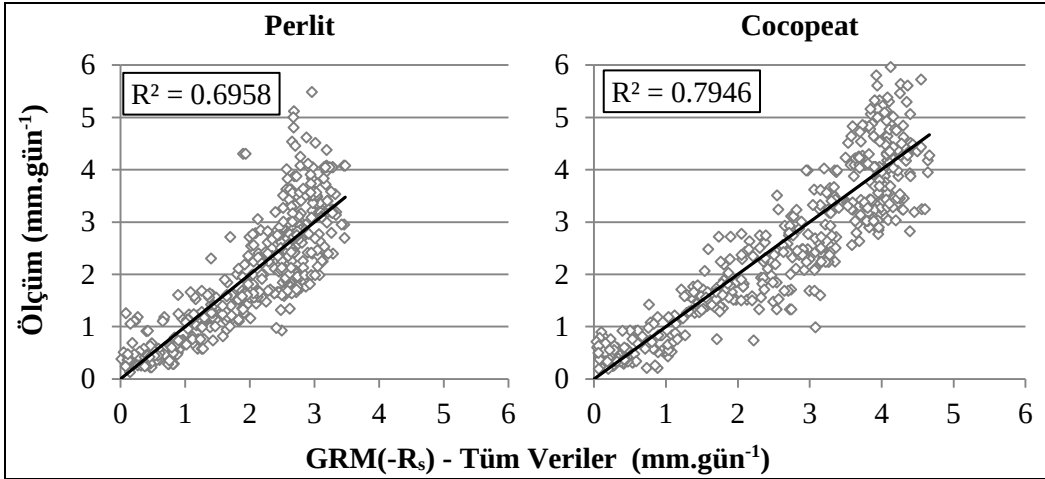
Çizelge 4.12. Tüm veriler ile oluşturulan regresyon modellerinin analizi

Model	HKOK	R ²	R ² _{düz}	E
Tüm Veriler (Cocopeat)	0.650	0.821	0.817	0.821
En İyi Veriler (Cocopeat)	0.650	0.821	0.818	0.821
Tüm Veriler (Perlit)	0.602	0.737	0.730	0.737
En İyi Veriler (Perlit)	0.604	0.735	0.732	0.735

Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar, az bir farkla, tüm verilerin kullanıldığı modellerden elde edilmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamında 0.821’lik bir etkinlik ile tahminleme yapan regresyon modelleri, perlit’te, tüm veriler ile 0.737, en iyi veriler (6 veri) ile 0.735 etkinliğe ulaşmıştır. Model yapılarının ikisinde de, cocopeat yetiştirme ortamında model etkinliği (E) açısından daha başarılı sonuçlar vermiştir.

4.7.2.2. Eksik veri koşulu için oluşturulan modeller

Her iki yetiştirme ortamı için, solar radyasyon (dolayısıyla net radyasyon) verisinin bulunmadığı koşulda oluşturulan GRM modelleri aracılığıyla tahmin edilen bitki su tüketimi değerlerinin, ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile ilişkileri Şekil 4.65’de gösterilmiştir.



Şekil 4.65. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [Tüm veriler (-R_s)]

Perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları için, solar radyasyon dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan 500 regresyon modeli içerisinde seçilen, en az değişken (En iyi veriler) ile en iyi sonucu veren 10 model, düzeltilmiş belirleme katsayıları ile Çizelge 4.13 ve 4.14’de verilmiştir. Net radyasyon, ölçülen solar radyasyon verilerinden hesaplandığı için modellerde kullanılmamıştır.

Çizelge 4.13. Perlit için en iyi veriler (-R_s) ile oluşturulan regresyon modelleri

Perlit Modelleri	R ² _{düz}	DoY	DAP	T _{ort}	T _{max}	T _{min}	RH _{ort}	RH _{max}	RH _{min}	R _a	K _c
GRM(-R_s)-P1	0.6912	x		x			x		x	x	x
GRM(-R _s)-P2	0.6911	x		x			x			x	x
GRM(-R _s)-P3	0.6910	x			x		x		x	x	x
GRM(-R _s)-P4	0.6909	x	x	x			x			x	x
GRM(-R _s)-P5	0.6908	x		x		x	x		x	x	x
GRM(-R _s)-P6	0.6907	x	x	x			x		x	x	x
GRM(-R _s)-P7	0.6872	x		x		x		x		x	x
GRM(-R _s)-P8	0.6853						x			x	x
GRM(-R _s)-P9	0.6847		x				x			x	x
GRM(-R _s)-P10	0.6736	x	x		x	x	x	x	x		x

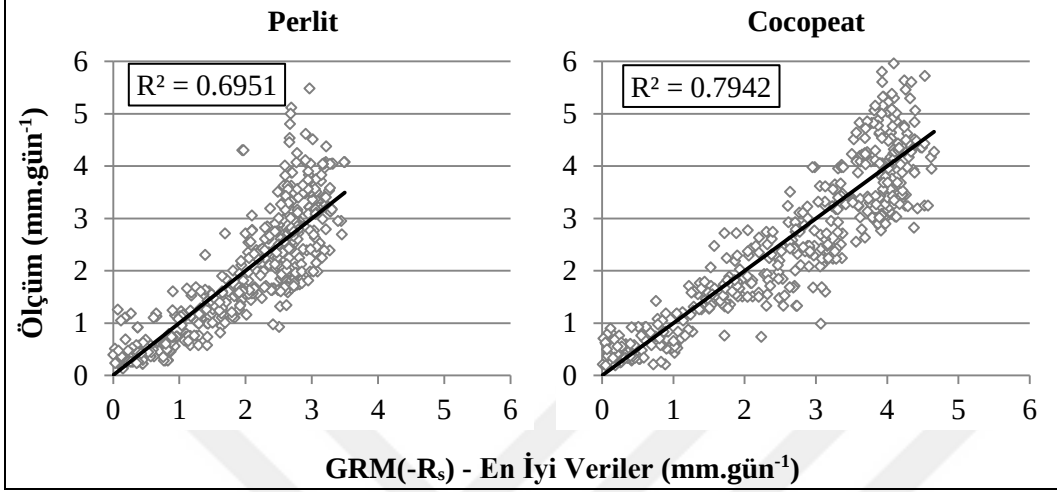
Perlit yetiştirme ortamı için, solar ve net radyasyon bulunmadığı koşulda, en iyi model olarak önerilen GRM(-R_s)-P1 modelinde, yılın günü (DoY), ortalama sıcaklık, ortalama bağıl nem, minimum bağıl nem, atmosfer yüzeyine gelen radyasyon ve bitki katsayısı olmak üzere 6 veri kullanılmıştır. En iyi 500 regresyon modelinin (R²_{düz}'e göre) tümünde bitki katsayısı verileri yer almıştır.

Çizelge 4.14. Cocopeat için en iyi veriler (-R_s) ile oluşturulan regresyon modelleri

Cocopeat Modelleri	R ² _{düz}	DoY	DAP	T _{ort}	T _{max}	T _{min}	RH _{ort}	RH _{max}	RH _{min}	R _a	K _c
GRM(-R_s)-C1	0.7907	x	x	x			x	x	x	x	x
GRM(-R _s)-C2	0.7904	x	x			x	x	x	x	x	x
GRM(-R _s)-C3	0.7902	x	x			x	x	x		x	x
GRM(-R _s)-C4	0.7902	x	x				x	x	x	x	x
GRM(-R _s)-C5	0.7901	x	x	x			x			x	x
GRM(-R _s)-C6	0.7897	x	x			x	x			x	x
GRM(-R _s)-C7	0.7889	x		x			x	x	x	x	x
GRM(-R _s)-C8	0.7855		x				x	x	x	x	x
GRM(-R _s)-C9	0.7842						x	x	x	x	x
GRM(-R _s)-C10	0.7718	x	x			x	x	x	x		x

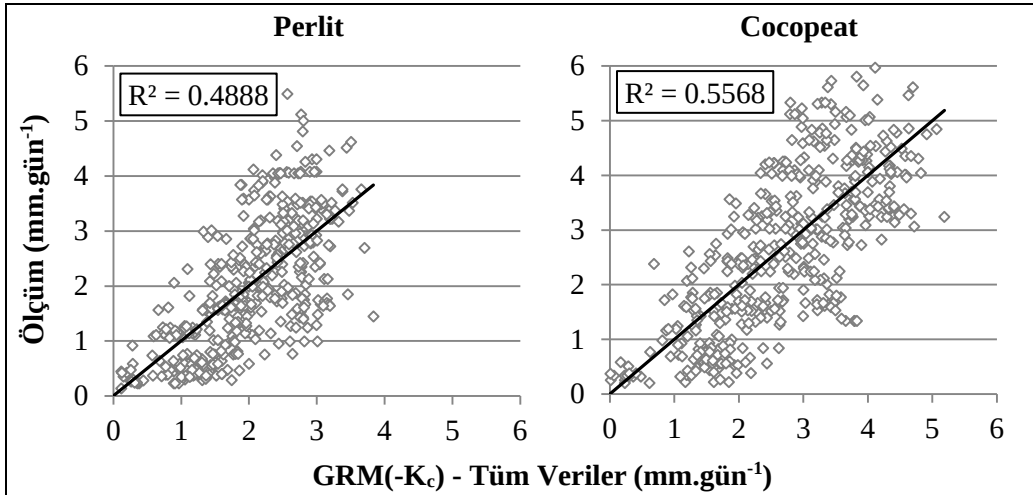
Cocopeat yetiştirme ortamı için, solar ve net radyasyon bulunmadığı koşulda, en iyi model olarak önerilen GRM(-R_s)-C1 modelinde, yılın günü (DoY), dikim sonrası gün (DAP), ortalama sıcaklık, ortalama bağıl nem, minimum bağıl nem, maksimum bağıl nem, atmosfer yüzeyine gelen radyasyon ve bitki katsayısı olmak üzere 8 veri kullanılmıştır. En iyi 500 regresyon modelinin (R²_{düz}'e göre) tümünde bitki katsayısı verileri yer almıştır.

Her iki yetiştirme ortamı için, solar ve net radyasyon dışında, en iyi veriler kullanılarak oluşturulan regresyon modelleri aracılığıyla tahmin edilen bitki su tüketimi değerlerinin, ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile ilişkileri Şekil 4.66'da gösterilmiştir.



Şekil 4.66. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [En iyi veriler (-R_s)]

Her iki yetiştirme ortamı için, bitki katsayısı verisinin bulunmadığı koşulda oluşturulan GRM modelleri aracılığıyla tahmin edilen bitki su tüketimi değerlerinin, ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile ilişkileri Şekil 4.67'de gösterilmiştir.



Şekil 4.67. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [Tüm veriler (-K_c)]

Perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları için, bitki katsayısı dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan 500 regresyon modeli içerisinde seçilen, en az değişken (En iyi veriler) ile en iyi sonucu veren 10 model, düzeltilmiş belirleme katsayıları ile Çizelge 4.15 ve 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Perlit için en iyi veriler (-K_c) ile oluşturulan regresyon modelleri

Perlit Modelleri	R ² _{düz}	DoY	DAP	T _{ort}	T _{max}	T _{min}	R _H _{ort}	RH _{max}	RH _{min}	R _a	R _s	R _n
GRM(-K_c)-P1	0.4792	x	x		x	x		x	x	x	x	
GRM(-K _c)-P2	0.4784	x	x		x	x		x	x	x	x	x
GRM(-K _c)-P3	0.4778	x	x	x		x		x	x	x	x	
GRM(-K _c)-P4	0.4760	x	x		x	x	x	x		x	x	x
GRM(-K _c)-P5	0.4754	x	x		x	x	x	x	x			x
GRM(-K _c)-P6	0.4734	x			x	x		x	x	x	x	
GRM(-K _c)-P7	0.4706	x	x	x	x			x	x	x	x	
GRM(-K _c)-P8	0.4564		x		x	x	x	x	x		x	
GRM(-K _c)-P9	0.4564	x	x			x			x		x	
GRM(-K _c)-P10	0.4562	x	x	x		x		x			x	

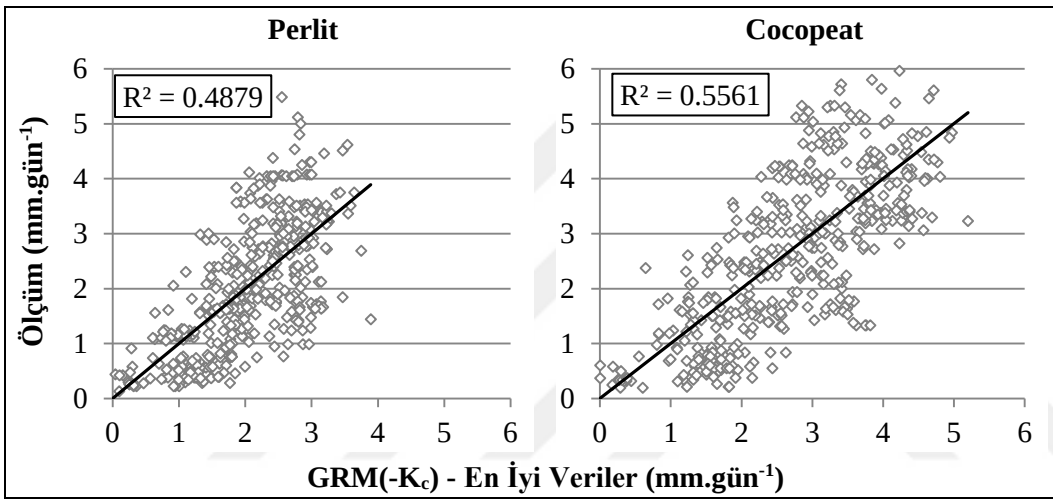
Perlit yetiştirme ortamı için, bitki katsayısının bulunmadığı koşulda, en iyi model olarak önerilen GRM(-K_c)-P1 modelinde, yılın günü (DoY), dikim sonrası gün (DAP), maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum bağıl nem, minimum bağıl nem, solar radyasyon ve atmosfer yüzeyine gelen radyasyon olmak üzere 8 veri kullanılmıştır.

Çizelge 4.16. Cocopeat için en iyi veriler (-K_c) ile oluşturulan regresyon modelleri

Cocopeat Modelleri	R ² _{düz}	DoY	DAP	T _{ort}	T _{max}	T _{min}	R _H _{ort}	RH _{max}	RH _{min}	R _a	R _s	R _n
GRM(-K_c)-C1	0.5485	x	x		x	x		x	x	x	x	
GRM(-K _c)-C2	0.5476	x	x		x	x		x	x	x	x	x
GRM(-K _c)-C3	0.5472	x	x	x		x		x	x	x	x	
GRM(-K _c)-C4	0.5471	x	x		x	x		x	x	x		x
GRM(-K _c)-C5	0.5458	x	x	x		x		x	x	x		x
GRM(-K _c)-C6	0.5403	x	x			x		x	x	x	x	
GRM(-K _c)-C7	0.5373	x	x			x		x		x	x	
GRM(-K _c)-C8	0.5357	x			x	x	x	x	x	x		x
GRM(-K _c)-C9	0.5200		x		x	x	x	x	x	x	x	
GRM(-K _c)-C10	0.5187	x		x	x					x	x	

Cocopeat yetiştirme ortamı için, bitki katsayısının bulunmadığı koşulda, en iyi model olarak önerilen GRM(-K_c)-C1 modelinde, yılın günü (DoY), dikim sonrası gün (DAP), maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, maksimum bağıl nem, minimum bağıl nem, solar radyasyon ve atmosfer yüzeyine gelen radyasyon olmak üzere 8 veri kullanılmıştır.

Her iki yetiştirme ortamı için, bitki katsayısı dışında, en iyi veriler kullanılarak oluşturulan regresyon modelleri aracılığıyla tahmin edilen bitki su tüketimi değerlerinin, ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile ilişkileri Şekil 4.68’de gösterilmiştir.



Şekil 4.68. GRM tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [En iyi veriler (-K_c)]

Eksik veri koşulu için oluşturulan en başarılı modellerin (tahmin), günlük bitki su tüketimi (ölçüm) tahminindeki başarısı analiz edilmiş ve Çizelge 4.17 ve 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Eksik veri koşulunda oluşturulan modellerinin analizi (Perlit)

GRM (Perlit)	HKOK	R ²	R ² _{düz}	E
Tüm veriler (-R _s)	0,647	0,696	0,689	0,696
En iyi veriler (-R _s)	0,648	0,695	0,691	0,695
Tüm veriler (-K _c)	0,839	0,489	0,477	0,489
En iyi veriler (-K _c)	0,840	0,488	0,479	0,488
Tüm veriler (-K _c -R _s)	0,872	0,448	0,437	0,448
En iyi veriler (-K _c -R _s)	0,872	0,448	0,440	0,448

Çizelge 4.18. Eksik veri koşulunda oluşturulan modelleri (Cocopeat)

GRM (Cocopeat)	HKOK	R²	R²_{düz}	E
Tüm veriler (-R _s)	0,697	0,795	0,790	0,795
En iyi veriler (-R _s)	0,698	0,794	0,791	0,794
Tüm veriler (-K _c)	1,024	0,557	0,546	0,557
En iyi veriler (-K _c)	1,025	0,556	0,549	0,556
Tüm veriler (-K _c -R _s)	1,060	0,525	0,516	0,525
En iyi veriler (-K _c -R _s)	1,060	0,525	0,517	0,525

Solar radyasyon verisi bulunmadığında, her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar, en iyi verilerin kullanıldığı modellerden az bir farkla, tüm verilerin kullanıldığı modellerden elde edilmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamında 0.795'lik bir etkinlik ile tahminleme yapan regresyon modelleri, perlit'te, tüm veriler ile 0.696, en iyi veriler (6 veri) ile 0.695 etkinliğe ulaşmıştır.

Bitki katsayısı verisi bulunmadığında, her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar, az bir farkla, tüm verilerin kullanıldığı modellerden elde edilmiştir. Bitki katsayısının eksikliği ile genelleştirilmiş regresyon modellerinin başarısında belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamında 0.557'lik bir etkinlik ile tahminleme yapan regresyon modelleri, perlit'te, tüm veriler ve en iyi veriler ile 0.525 etkinliğe ulaşmıştır.

Model yapılarının tümünde, cocopeat yetiştirme ortamında model etkinliği (E) açısından daha iyi sonuçlar alınmıştır.

4.7.3. Yapay Sinir Ağı Modelleri (YSA)

En iyi yapay sinir ağı mimarileri aranırken, 1-2 gizli katman ve her katmanda 1-30 hücre içeren mimariler (610 mimari), 2 yetiştirme ortamı ve 4 girdi seti için, 2 farklı çıktı aktivasyon fonksiyonu ile yaklaşık 9800 yapay sinir ağı mimarisi taranmıştır. Her konu (2 ortam, 4 girdi koşulu, 2 aktivasyon fonk., toplam 16 konu) için, test hata değerleri minimum, belirleme katsayısı değerleri maksimum olan 5 mimari seçilmiştir.

Tarama sonucunda her konu için (16 konu) seçilen 5 farklı mimariye sahip modeller (80 model), 4 farklı eğitim algoritması ile eğitilmiş ve test veri seti ile en iyi sonucu veren 5 model, ilgili konularda (2 ortam, 4 girdi koşulu, toplam 8 konu) çizelgeler ile bu bölümünde sunulmuştur. Her konu için (8 konu), test veri seti ile en iyi tahminleme yapan YSA modeli genel değerlendirmeye alınmıştır.

Oluşturulan yapay sinir ağı modellerinde kullanılan girdiler Çizelge 19’da verilmiştir. Girdiler belirlenirken, (1) mümkün olan tüm verilerin kullanıldığı, (2) solar radyasyon verisinin ($-R_s$) bulunmadığı, (3) bitki katsayısının bulunmadığı ($-K_c$) ve (4) her iki verinin de bulunmadığı ($-R_s - K_c$) koşullar öngörülmüştür.

Çizelge 4.19. YSA model tipleri ve kullanılan girdiler

YSA Modelleri	DoY	DAP	T ort	T max	T min	RH ort	RH max	RH min	R_s	R_n	R_a	K_c
1. YSA (Tüm veri)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. YSA ($-R_s$)	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x
3. YSA ($-K_c$)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
4. YSA ($-R_s - K_c$)	x	x	x	x	x	x	x	x			x	

4.7.3.1. Tüm verilerin bulunduğu koşul için oluşturulan modeller

Tüm verilerin (12 veri) bulunduğu koşul için oluşturulan en başarılı modellerin (tahmin), günlük bitki su tüketimi (ölçüm) tahminindeki başarısı analiz edilmiş ve Çizelge 4.20 ve 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Tüm veriler ile perlit ortamı için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	$R^2_{düz}$	E
YSA-P1	12-24-10-1	E..+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.555	0.768	0.774
		Test				0.517	0.732	0.772
YSA-P2	12-22-14-1	E..+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.384	0.887	0.890
		Test				0.552	0.733	0.765
YSA-P3	12-22-14-1	E..+D.	QN	Logistic	Logistic	0.433	0.856	0.860
		Test				0.574	0.720	0.746
YSA-P4	12-24-16-1	E..+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.395	0.880	0.884
		Test				0.604	0.691	0.715
YSA-P5	12-21-19-1	E..+D.	LVM	Logistic	Linear	0.413	0.877	0.875
		Test				0.683	0.573	0.602

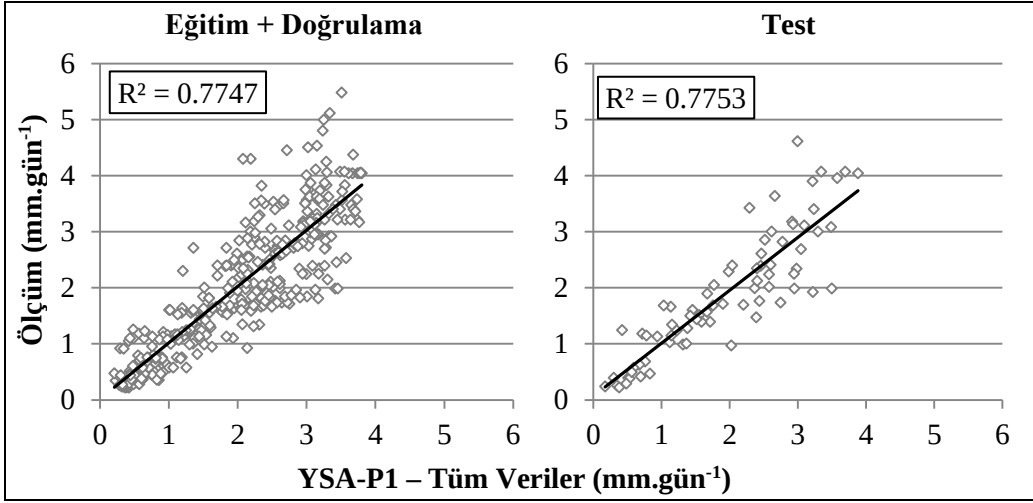
Çizelge 4.21. Tüm veriler ile cocopeat ortamı için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA-C1	12-29-4-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Logistic	0.548	0.870	0.874
		Test				0.502	0.864	0.882
YSA-C2	12-24-11-1	E..+D.	LMQN	Logistic	Logistic	0.561	0.864	0.868
		Test				0.508	0.861	0.879
YSA-C3	12-15-19-1	E..+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.566	0.861	0.866
		Test				0.525	0.853	0.871
YSA-C4	12-24-11-1	E..+D.	QN	Logistic	Logistic	0.540	0.874	0.877
		Test				0.533	0.846	0.867
YSA-C5	12-29-4-1	E..+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.464	0.907	0.910
		Test				0.557	0.834	0.855

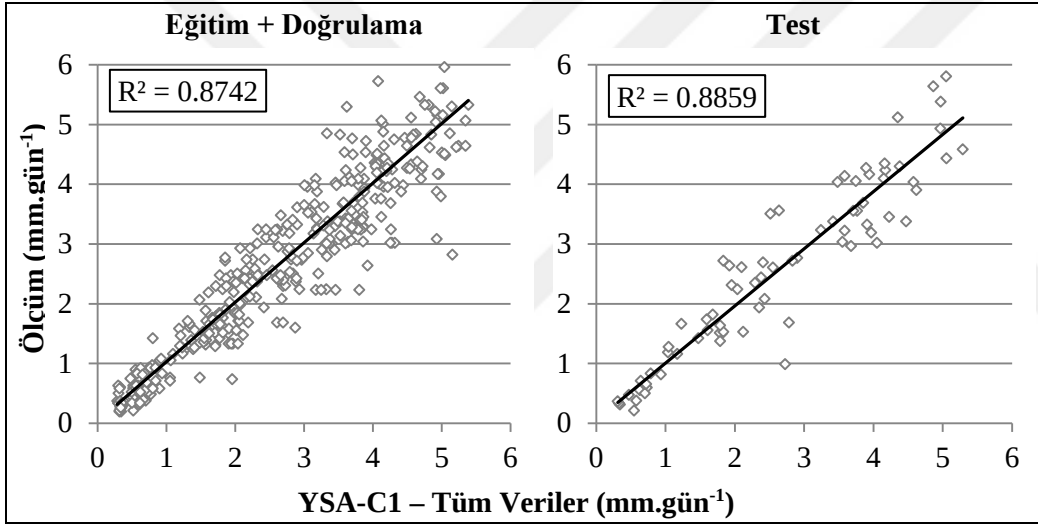
Perlit yetiştirme ortamı için, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA-P1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.774, test veri setinde 0.772'lik bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA-P2 modeli, eğitim ve doğrulama veri seti ile 0.890 etkinlik ile tahminleme yapmasına rağmen, test veri seti tahminlerinde 0.765 etkinlik ile YSA-P1 modelinden geri kalmıştır.

Cocopeat yetiştirme ortamı için, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA-C1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.874, test veri setinde 0.882'lik bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA-C5 modeli, eğitim ve doğrulama veri seti ile 0.910 etkinlik ile tahminleme yapmasına rağmen, test veri seti tahminlerinde 0.855 etkinlik ile YSA-C1 modelinden geri kalmıştır.

Her iki yetiştirme ortamı için, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin saçılım diyagramı, eğitim+doğrulama ve test veri setleri için, Şekil 4.69 ve Şekil 4.70'de gösterilmiştir.

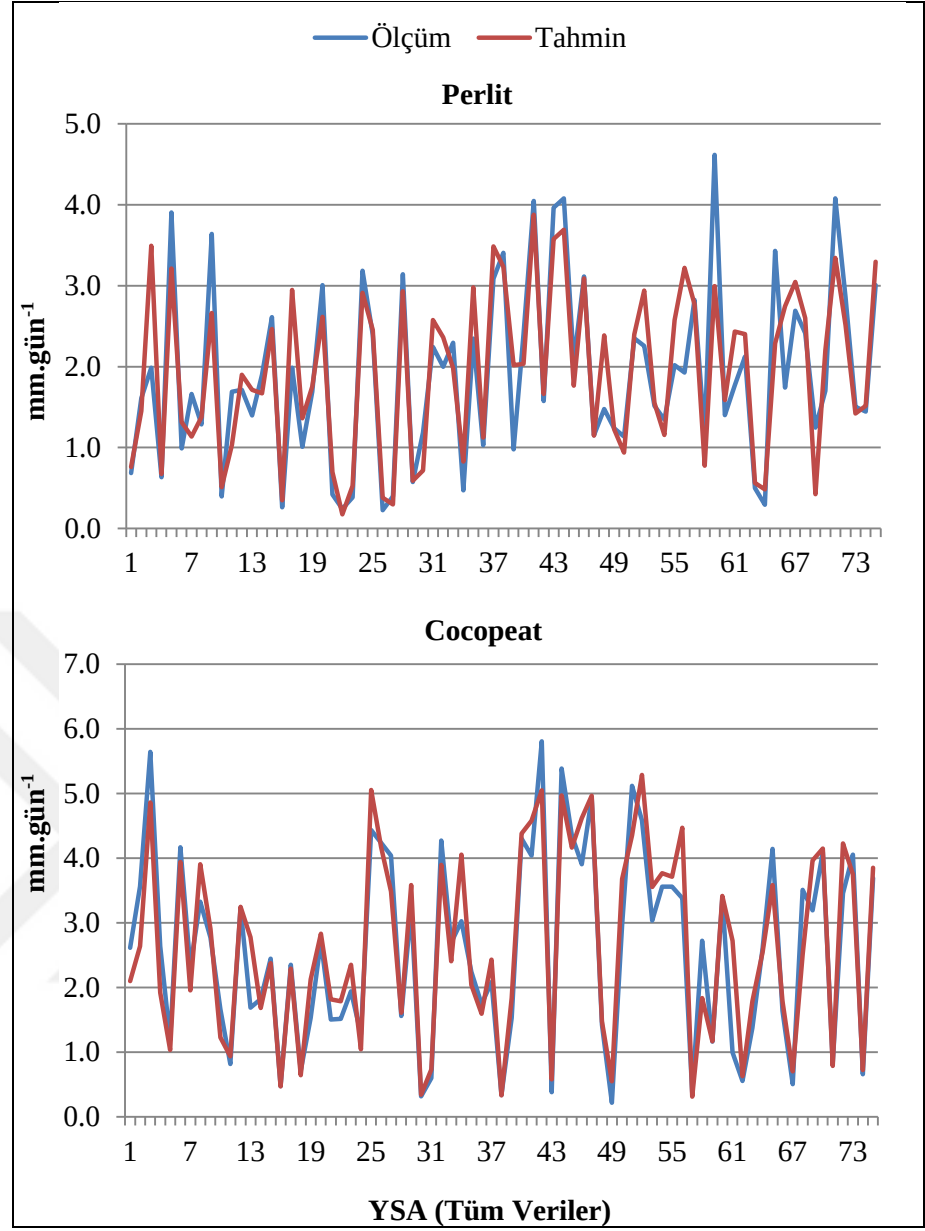


Şekil 4.69. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler-Perlit)



Şekil 4.70. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler-Cocopeat)

Her iki yetiştirme ortamında, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelinin, test veri seti tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin grafiği Şekil 4.71’de gösterilmiştir.



Şekil 4.71. Seçilen YSA-P1 ve YSA-C1 modellerinin ölçüm - tahmin grafiği

4.7.3.2. Eksik veri koşulu için oluşturulan modeller

Her iki yetiştirme ortamında, solar radyasyon (dolayısıyla net radyasyon) verisinin bulunmadığı koşul için oluşturulan en başarılı modellerin (tahmin), günlük bitki su tüketimi (ölçüm) tahminindeki başarısı analiz edilmiş ve Çizelge 4.22 ve 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Perlit yetiştirme ortamında, solar radyasyon (R_s) verisinin eksik olduğu koşul için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	$R^2_{düz}$	E
YSA(- R_s)-P1	10-8-24-1	E.+D.	QN	Logistic	Logistic	0.443	0.851	0.855
		Test				0.512	0.754	0.775
YSA(- R_s)-P2	10-15-21-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.540	0.779	0.785
		Test				0.523	0.739	0.765
YSA(- R_s)-P3	10-13-6-1	E.+D.	QN	Logistic	Linear	0.461	0.834	0.839
		Test				0.608	0.702	0.741
YSA(- R_s)-P4	10-21-12-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.514	0.794	0.799
		Test				0.591	0.709	0.741
YSA(- R_s)-P5	10-18-1	E.+D.	QN	Logistic	Logistic	0.461	0.839	0.842
		Test				0.553	0.714	0.733

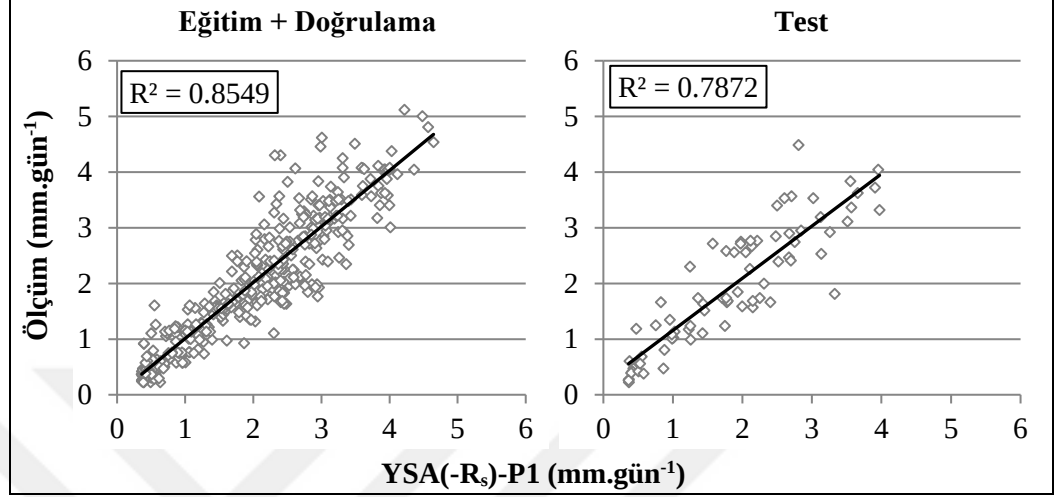
Çizelge 4.23. Cocopeat yetiştirme ortamında, solar radyasyon (R_s) verisinin eksik olduğu koşul için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	$R^2_{düz}$	E
YSA(- R_s)-C1	10-25-12-1	E.+D.	CGD	Logistic	Linear	0.547	0.869	0.872
		Test				0.472	0.893	0.905
YSA(- R_s)-C2	10-25-17-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.551	0.867	0.871
		Test				0.483	0.887	0.901
YSA(- R_s)-C3	10-25-17-1	E.+D.	CGD	Logistic	Linear	0.534	0.875	0.878
		Test				0.490	0.886	0.898
YSA(- R_s)-C4	10-20-6-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Logistic	0.572	0.856	0.859
		Test				0.562	0.853	0.870
YSA(- R_s)-C5	10-24-17-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.569	0.857	0.861
		Test				0.612	0.824	0.847

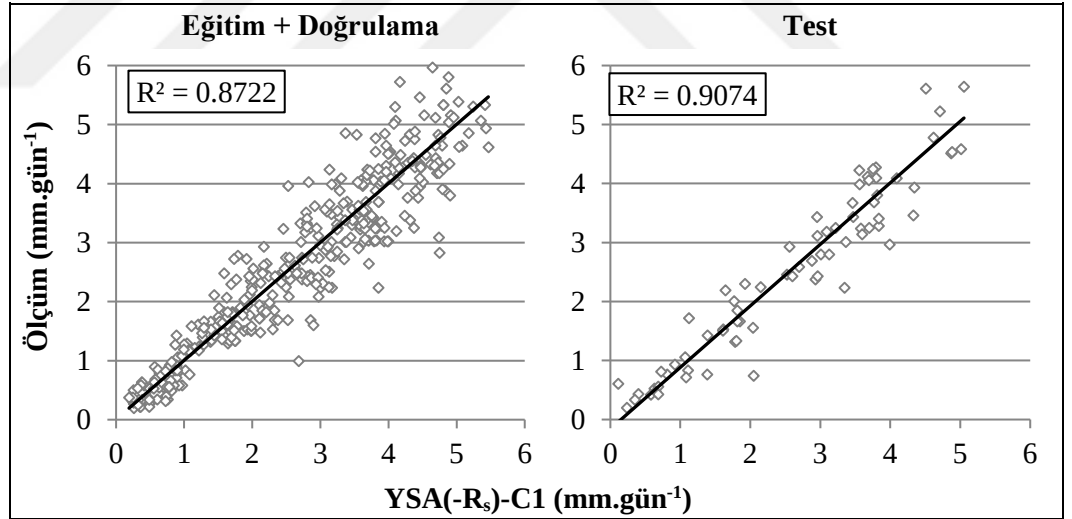
Perlit yetiştirme ortamı için, solar ve net radyasyon hariç, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA(- R_s)-P1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.855, test veri setinde 0.775'lik bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır.

Cocopeat yetiştirme ortamı için, solar ve net radyasyon hariç, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA(- R_s)-C1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.872, test veri setinde 0.905'lik bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA(- R_s)-C3 modeli, eğitim ve doğrulama veri seti ile 0.898 etkinlik ile tahminleme yapmasına rağmen, test veri seti tahminlerinde 0.898 etkinlik ile YSA(- R_s)-C1 modelinden geri kalmıştır.

Her iki yetiştirme ortamı için, solar ve net radyasyon hariç, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin saçılım diyagramı, eğitim+doğrulama ve test veri setleri için, Şekil 4.72 ve Şekil 4.73’de gösterilmiştir.

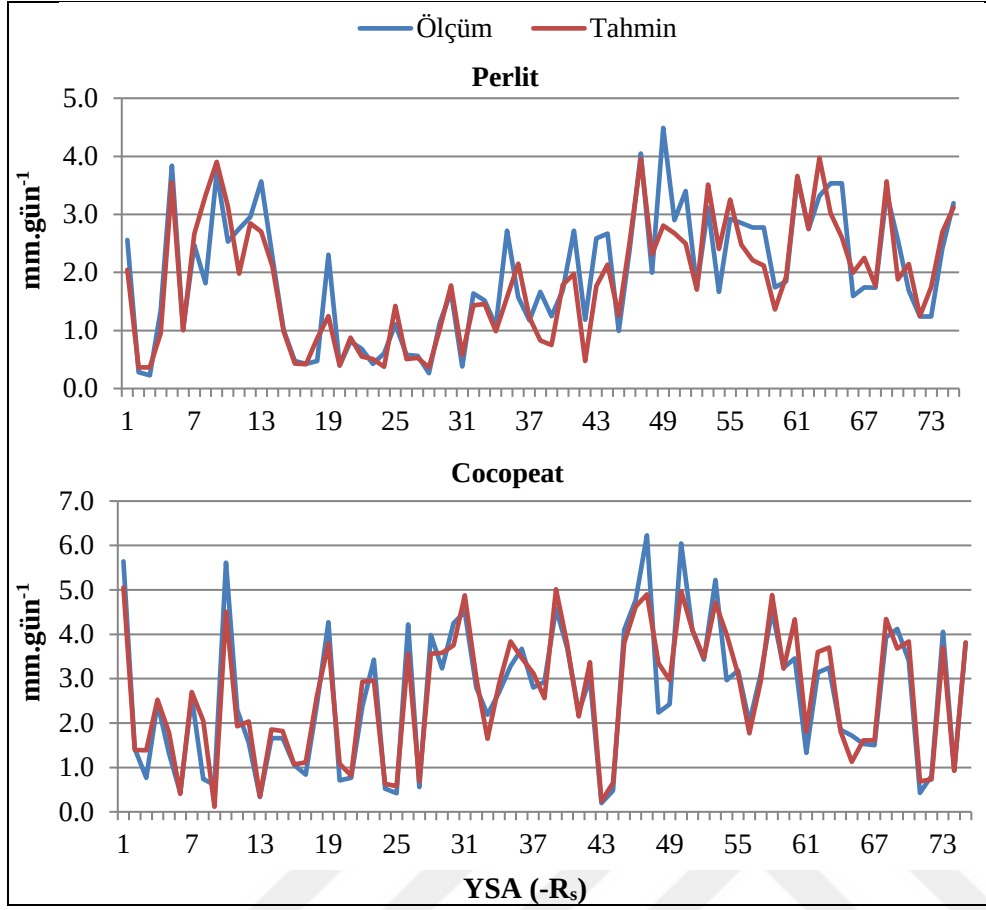


Şekil 4.72. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-R_s)-Perlit]



Şekil 4.73. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-R_s)-Cocopeat]

Her iki yetiştirme ortamında, solar ve net radyasyon hariç, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelinin, test veri seti tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin grafiği Şekil 4.74’de gösterilmiştir.



Şekil 4.74. Seçilen YSA(-R_s)-P1 ve YSA(-R_s)-C1 modelleri tahmin-ölçüm grafiği

Her iki yetiştirme ortamında, bitki katsayısı verisinin bulunmadığı koşul için oluşturulan, en başarılı modellerin, günlük bitki su tüketimi tahminindeki başarısı analiz edilmiş ve Çizelge 4.24 ve 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Perlit yetiştirme ortamında, bitki katsayısı (K_c) verisinin eksik olduğu koşul için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA(-K _c)-P1	11-13-19-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.501	0.808	0.813
		Test				0.554	0.732	0.764
YSA(-K _c)-P2	11-17-15-1	E.+D.	CGD	Logistic	Linear	0.469	0.834	0.838
		Test				0.546	0.713	0.750
YSA(-K _c)-P3	11-24-20-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.502	0.807	0.812
		Test				0.587	0.703	0.735
YSA(-K _c)-P4	11-7-25-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.531	0.786	0.790
		Test				0.595	0.693	0.728
YSA(-K _c)-P5	11-23-2-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.502	0.810	0.815
		Test				0.632	0.650	0.665

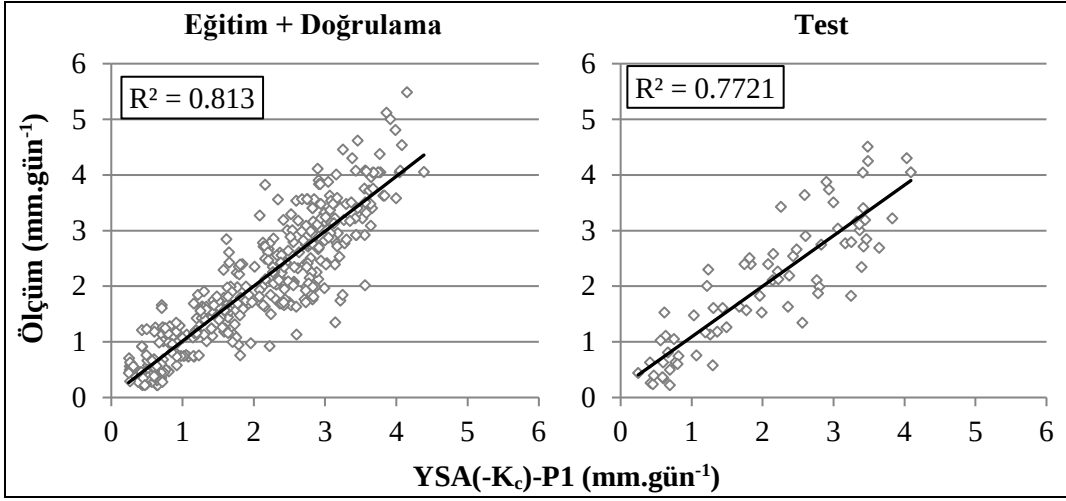
Çizelge 4.25. Cocopeat yetiştirme ortamında, bitki katsayısı (-K_c) verisinin eksik olduğu koşul için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA(-K _c)-C1	11-19-7-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Logistic	0.576	0.854	0.857
		Test				0.642	0.804	0.830
YSA(-K _c)-C2	11-19-17-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.534	0.875	0.877
		Test				0.646	0.801	0.828
YSA(-K _c)-C3	11-8-17-1	E.+D.	LVM	Logistic	Linear	0.571	0.858	0.862
		Test				0.705	0.752	0.778
YSA(-K _c)-C4	11-19-7-1	E.+D.	LVM	Logistic	Logistic	0.441	0.916	0.916
		Test				0.756	0.755	0.764
YSA(-K _c)-C5	11-5-14-1	E.+D.	LVM	Logistic	Linear	0.621	0.833	0.837
		Test				0.768	0.709	0.736

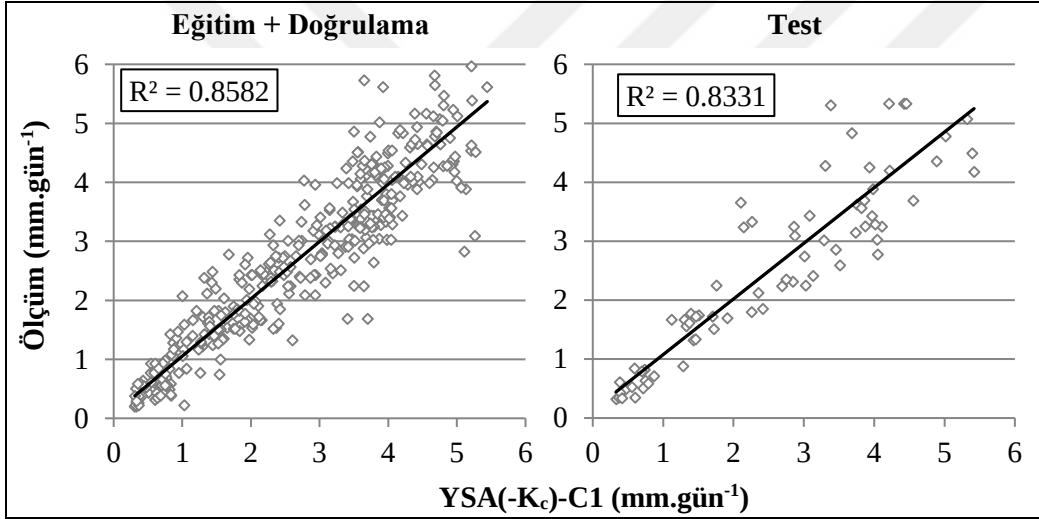
Perlit yetiştirme ortamı için, bitki katsayısı hariç, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA(-K_c)-P1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.813, test veri setinde 0.764'lik bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA(-K_c)-P2 modeli, eğitim ve doğrulama veri seti ile 0.838 etkinlikte tahminleme yapmasına rağmen, test veri seti tahminlerinde 0.750 etkinlik ile YSA(-K_c)-P1 modelinden geri kalmıştır.

Cocopeat yetiştirme ortamı için, bitki katsayısı hariç, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA(-K_c)-C1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.857, test veri setinde 0.830'luk bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA(-K_c)-C4 modeli, eğitim ve doğrulama veri seti ile 0.916 etkinlikte tahminleme yapmasına rağmen, test veri seti tahminlerinde 0.764 etkinlik ile YSA(-K_c)-C1 modelinden geri kalmıştır.

Her iki yetiştirme ortamı için, bitki katsayısı dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin saçılım diyagramı, eğitim+doğrulama ve test veri setleri için, Şekil 4.75 ve Şekil 4.76'da gösterilmiştir.

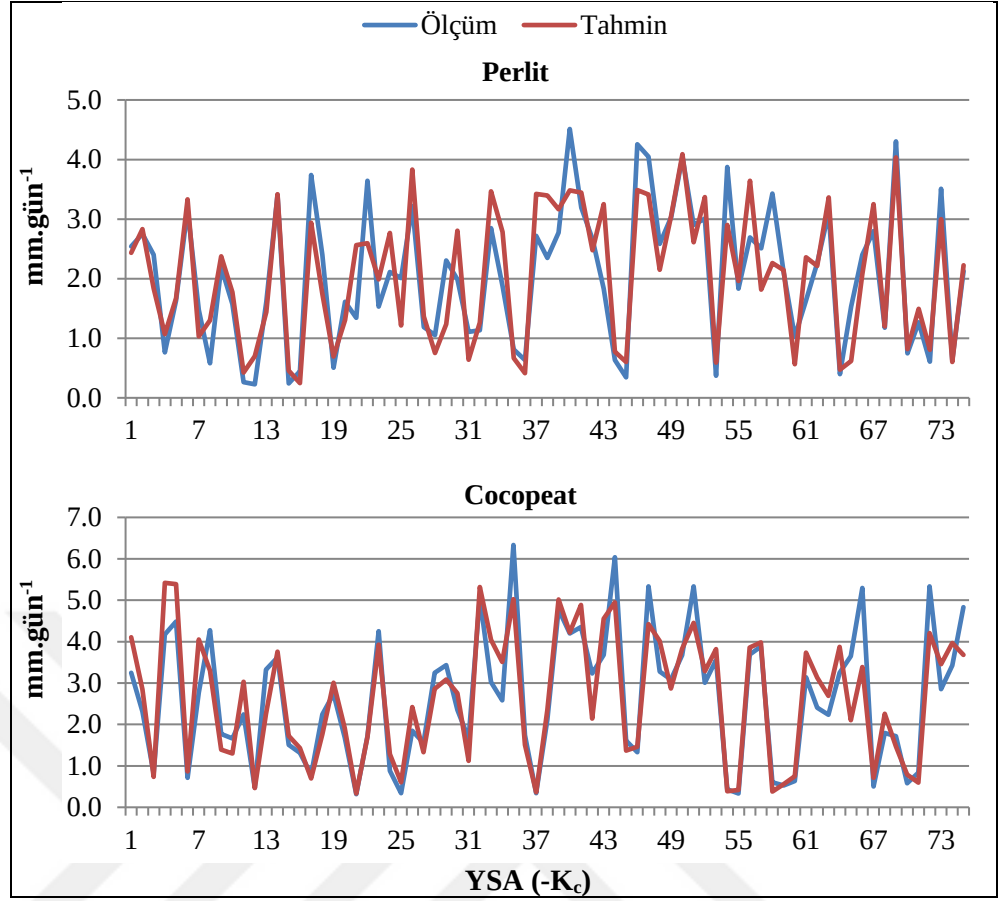


Şekil 4.75. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-K_c)-Perlit]



Şekil 4.76. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-K_c)-Cocopeat]

Her iki yetiştirme ortamında, bitki katsayısı dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelinin, test veri seti tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin grafiği Şekil 4.77’de gösterilmiştir.



Şekil 4.77. Seçilen YSA(-K_c)-P1 ve YSA(-K_c)-C1 modellerinin tahmin-ölçüm değerleri grafiği

Her iki yetiştirme ortamında, bitki katsayısı ve solar radyasyon verisinin bulunmadığı koşul için oluşturulan, en başarılı modellerin başarısı analiz edilmiş ve Çizelge 4.26 ve 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Perlit yetiştirme ortamında, eksik veri (-R_s -K_c) koşulu için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA(-R _s -K _c) P1	9-27-9-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.474	0.826	0.830
		Test				0.618	0.680	0.711
YSA(-R _s -K _c) P2	9-14-4-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.460	0.836	0.840
		Test				0.672	0.640	0.674
YSA(-R _s -K _c) P3	9-27-9-1	E.+D.	QN	Logistic	Logistic	0.558	0.759	0.764
		Test				0.683	0.623	0.666
YSA(-R _s -K _c) P4	9-25-11-1	E.+D.	CGD	Logistic	Linear	0.506	0.808	0.812
		Test				0.649	0.624	0.640
YSA(-R _s -K _c) P5	9-28-5-1	E.+D.	CGD	Logistic	Linear	0.534	0.786	0.791
		Test				0.668	0.608	0.619

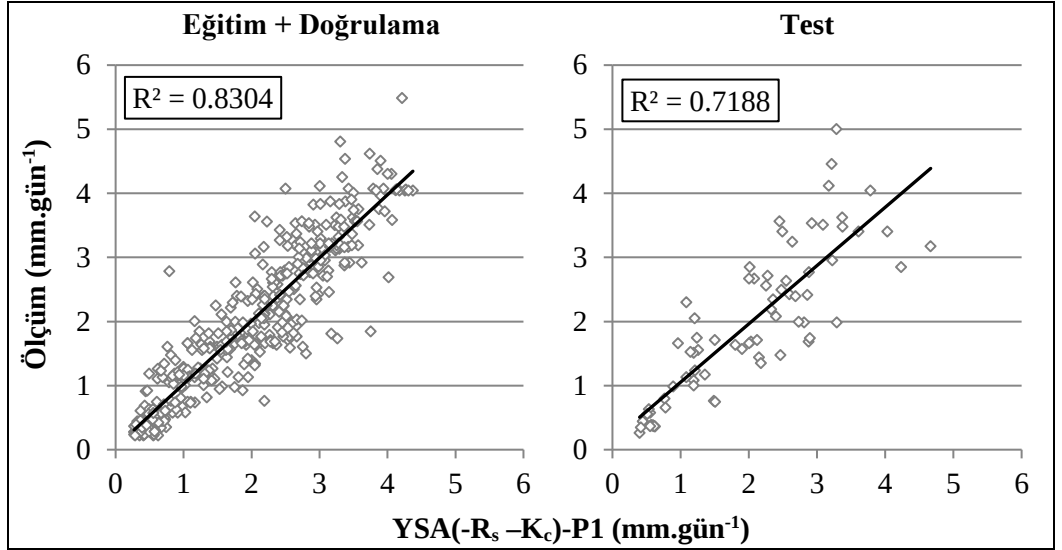
Çizelge 4.27. Cocopeat yetiştirme ortamında, eksik veri ($-R_s - K_c$) koşulu için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	$R^2_{düz}$	E
YSA($-R_s - K_c$) C1	9-22-5-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.641	0.822	0.826
		Test				0.533	0.857	0.873
YSA($-R_s - K_c$) C2	9-29-8-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.628	0.829	0.833
		Test				0.539	0.858	0.870
YSA($-R_s - K_c$) C3	9-12-11-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.548	0.867	0.870
		Test				0.689	0.789	0.814
YSA($-R_s - K_c$) C4	9-12-9-1	E.+D.	QN	Logistic	Logistic	0.648	0.814	0.818
		Test				0.701	0.782	0.808
YSA($-R_s - K_c$) C5	9-10-20-1	E.+D.	QN	Logistic	Logistic	0.449	0.911	0.912
		Test				0.721	0.780	0.797

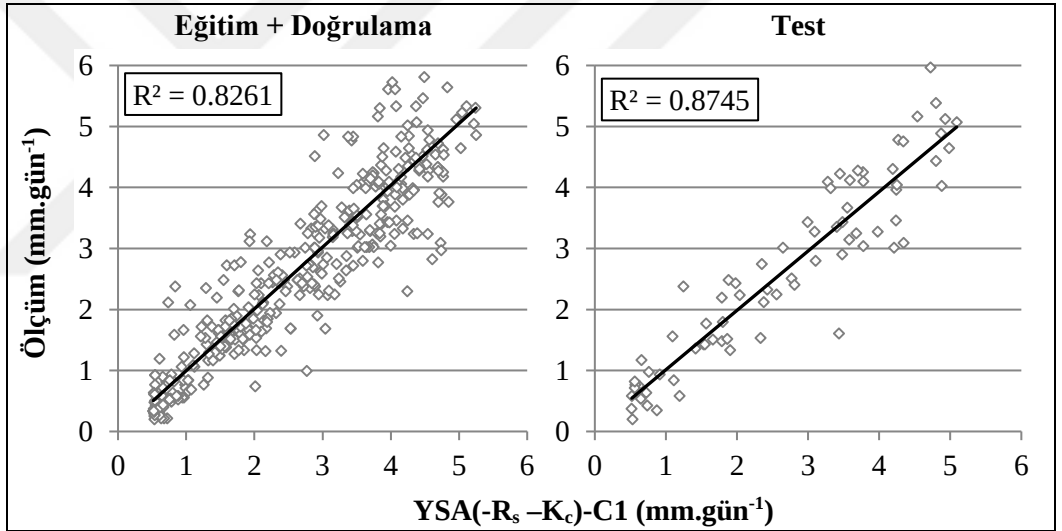
Perlit yetiştirme ortamı için, bitki katsayısı, solar radyasyon ve net radyasyon haricinde tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA($-R_s - K_c$)-P1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.830, test veri setinde 0.711’lik bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA($-R_s - K_c$)-P2 modeli, eğitim ve doğrulama veri seti ile 0.840 etkinlikte tahminleme yapmasına rağmen, test veri seti tahminlerinde 0.674 etkinlik ile YSA($-R_s - K_c$)-P1 modelinden geri kalmıştır.

Cocopeat yetiştirme ortamı için, bitki katsayısı, solar radyasyon ve net radyasyon haricinde tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA($-R_s - K_c$)-C1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.826, test veri setinde 0.873’lük bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA($-R_s - K_c$)-C5 modeli, eğitim ve doğrulama veri seti ile 0.912 etkinlikte tahminleme yapmasına rağmen, test veri seti tahminlerinde 0.797 etkinlik ile YSA($-R_s - K_c$)-C1 modelinden geri kalmıştır.

Her iki yetiştirme ortamı için, bitki katsayısı, solar radyasyon ve net radyasyon dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin saçılım diyagramı, eğitim+doğrulama ve test veri setleri için, Şekil 4.78 ve Şekil 4.79’da gösterilmiştir.

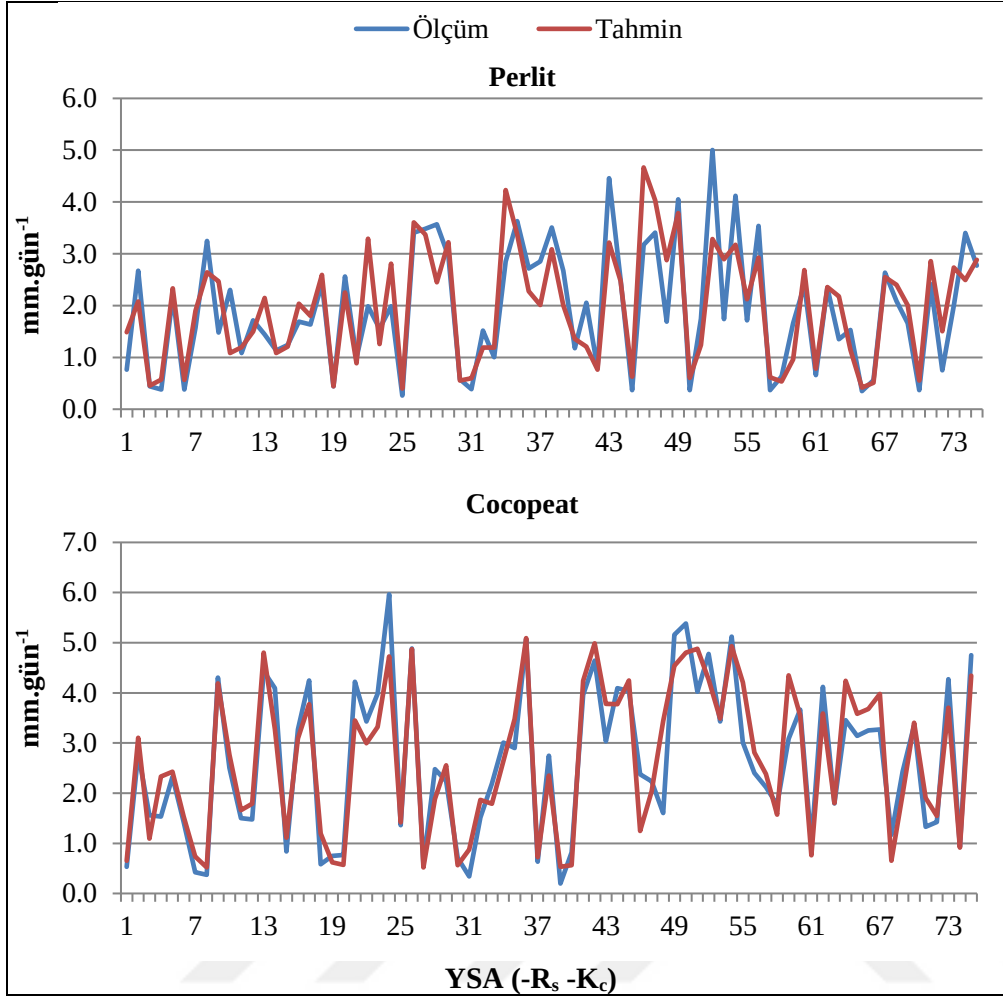


Şekil 4.78. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-R_s -K_c)-Perlit]



Şekil 4.79. YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı [YSA(-R_s -K_c)-Cocopeat]

Her iki yetiştirme ortamında, bitki katsayısı, solar radyasyon ve net radyasyon dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelinin, test veri seti tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin grafiği Şekil 4.80’de gösterilmiştir.



Şekil 4.80. Seçilen YSA(-R_s -K_c)-P1 ve YSA(-R_s -K_c)-C1 modellerinin tahmin-ölçüm değerleri grafiği

Her iki yetiştirme ortamında bitki su tüketimi tahmini için oluşturulan YSA modellerin değerlendirilmesi Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Farklı koşullarda bitki su tüketimi tahmini için oluşturulan yapay sinir ağı modellerinin değerlendirilmesi

Model	Yetiştirme Ortamı	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA (-R_s)	Cocopeat	0.472	0.893	0.905
YSA (Tüm Veriler)	Cocopeat	0.502	0.864	0.882
YSA (-R _s -K _c)	Cocopeat	0.533	0.857	0.873
YSA (-K _c)	Cocopeat	0.642	0.804	0.830
YSA (-R_s)	Perlit	0.512	0.754	0.775
YSA (Tüm Veriler)	Perlit	0.517	0.732	0.772
YSA (-K _c)	Perlit	0.554	0.732	0.764
YSA (-R _s -K _c)	Perlit	0.618	0.680	0.711

4.7.4. Modellerin değerlendirilmesi

Tüm verilerin bulunduğu koşulda, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları bitki su tüketimi tahmini için kullanılan eşitliklerin ve oluşturulan modellerin değerlendirilmesi Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Tüm veriler kullanılarak oluşturulan bitki su tüketimi tahmin modellerinin değerlendirilmesi

Model	Yetiştirme Ortamı	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA (Tüm Veriler)	Cocopeat	0.502	0.864	0.882
GRM (Tüm veriler)	Cocopeat	0.650	0.817	0.821
GRM (En iyi veriler)	Cocopeat	0.650	0.818	0.821
FAO Penman-Monteith	Cocopeat	0.725	0.804	0.784
YSA (Tüm Veriler)	Perlit	0.517	0.732	0.772
GRM (Tüm veriler)	Perlit	0.602	0.730	0.737
GRM (En iyi veriler)	Perlit	0.604	0.732	0.735
FAO Penman-Monteith	Perlit	0.609	0.743	0.733

FAO Penman-Monteith eşitliğinin tahmin etkinliği, genelleştirilmiş regresyon modelleri ve yapay sinir ağlarının gerisinde kalmıştır.

Genelleştirilmiş regresyon modelleri, FAO Penman-Monteith eşitliğine göre, perlit yetiştirme ortamında 0.004 (%0.5), cocopeat yetiştirme ortamında 0.037 (%4.5) gibi az bir farkla daha başarılı tahminleme yapmıştır. Penman-Monteith eşitliğinin global, GRM’nin ise yerel oluşu göz önüne alındığında, FAO-PM eşitliği öne çıkmaktadır. Tüm verilerin ve en iyi verilerin (en az değişken ile en iyi sonucu veren) kullanıldığı modeller kıyaslandığında, tüm veriler ile daha etkin tahminleme yapıldığı görülmesine rağmen, fark ihmal edilebilir düzeyde bulunmuştur.

Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar yapay sinir ağı modelleri ile elde edilmiştir. FAO Penman-Monteith eşitliğine kıyasla, YSA ile bitki su tüketimi tahmin etkinliği, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, 0.039 (%5.1) ve 0.098 (%11.1) artmıştır.

Solar radyasyon haricinde tüm verilerin bulunduğu koşulda, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları bitki su tüketimi tahmini için kullanılan eşitliklerin ve oluşturulan modellerin değerlendirilmesi Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Solar radyasyon dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan bitki su tüketimi tahmin modellerinin değerlendirilmesi

Model	Yetiştirme Ortamı	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA (-R _s)	Cocopeat	0.472	0.893	0.905
GRM (Tüm veriler -R _s)	Cocopeat	0.697	0.790	0.795
GRM (En iyi veriler -R _s)	Cocopeat	0.698	0.791	0.794
Hargreaves	Cocopeat	0.860	0.766	0.696
YSA (-R _s)	Perlit	0.512	0.754	0.775
GRM (Tüm veriler -R _s)	Perlit	0.647	0.689	0.696
GRM (En iyi veriler -R _s)	Perlit	0.648	0.691	0.695
Hargreaves	Perlit	0.727	0.672	0.620

Solar radyasyon, rüzgar hızı ve bağıl nem verilerinin eksik olduğu koşulda tavsiye edilen ampirik eşitlik olan Hargreaves, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarında, 0.696 ve 0.620 etkinlik ile genelleştirilmiş regresyon modelleri ve yapay sinir ağlarının gerisinde kalmıştır.

Genelleştirilmiş regresyon modelleri, Hargreaves eşitliğine göre, perlit yetiştirme ortamında 0.076 (%10.9), cocopeat yetiştirme ortamında 0.099 (%12.5) farkla daha başarılı tahminleme yapmıştır. Tüm verilerin ve en iyi verilerin (en az değişken ile en iyi sonucu veren) kullanıldığı modeller kıyaslandığında, tüm veriler ile daha etkin tahminleme yapıldığı görülmesine rağmen, fark ihmal edilebilir düzeyde ($\Delta E = 0.001$) bulunmuştur.

Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar yapay sinir ağı modelleri ile elde edilmiştir. Hargreaves eşitliğine kıyasla, YSA ile bitki su tüketimi tahmin etkinliği, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, 0.155 (%20.0) ve 0.209 (%23.1) artmıştır.

Bitki katsayısı haricinde tüm verilerin bulunduğu koşulda, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları bitki su tüketimi tahmini için oluşturulan modellerin değerlendirilmesi Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Bitki katsayısı dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan bitki su tüketimi tahmin modellerinin değerlendirilmesi

Model	Yetiştirme Ortamı	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA (-K _c)	Cocopeat	0.642	0.804	0.830
GRM (Tüm veriler -K _c)	Cocopeat	1.024	0.546	0.557
GRM (En iyi veriler -K _c)	Cocopeat	1.025	0.549	0.556
YSA (-K _c)	Perlit	0.554	0.732	0.764
GRM (Tüm veriler -K _c)	Perlit	0.839	0.477	0.489
GRM (En iyi veriler -K _c)	Perlit	0.840	0.479	0.488

Bitki katsayısının eksik olduğu koşulda genelleştirilmiş regresyon modelleri, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarında, 0.557 ve 0.489 etkinlik ile tahminleme yapmıştır. Tüm verilerin ve en iyi verilerin (en az değişken ile en iyi sonucu veren) kullanıldığı modeller kıyaslandığında, tüm veriler ile daha etkin tahminleme yapıldığı görülmesine rağmen, fark ihmal edilebilir düzeyde ($\Delta E = 0.001$) bulunmuştur.

Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar yapay sinir ağı modelleri ile elde edilmiştir. GRM ile karşılaştırıldığında, YSA ile bitki su tüketimi tahmin etkinliği, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, 0.275 (%36.0) ve 0.273 (%32.9) artmıştır.

Bitki katsayısı ve solar radyasyon verilerinin bulunmadığı koşulda, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamları bitki su tüketimi tahmini için oluşturulan modellerin değerlendirilmesi Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Bitki katsayısı ve solar radyasyon dışında tüm veriler kullanılarak oluşturulan bitki su tüketimi tahmin modellerinin değerlendirilmesi

Model	Yetiştirme Ortamı	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA (-R _s -K _c)	Cocopeat	0.533	0.857	0.873
GRM (Tüm veriler -R _s -K _c)	Cocopeat	1.060	0.516	0.525
GRM (En iyi veriler -R _s -K _c)	Cocopeat	1.060	0.517	0.525
YSA (-R _s -K _c)	Perlit	0.618	0.680	0.711
GRM (Tüm veriler -R _s -K _c)	Perlit	0.872	0.437	0.448
GRM (En iyi veriler -R _s -K _c)	Perlit	0.872	0.440	0.448

Bitki katsayısı ve solar radyasyon verilerinin bulunmadığı koşulda genelleştirilmiş regresyon modelleri, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarında,

0.525 ve 0.448 etkinlik ile tahminleme yapmıştır. Tüm verilerin ve en iyi verilerin (en az değişken ile en iyi sonucu veren) kullanıldığı modeller kıyaslandığında, tüm veriler ile daha etkin tahminleme yapıldığı görülmeye rağmen, fark ihmal edilebilir düzeyde ($\Delta E \sim 0.001$) bulunmuştur.

Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar yapay sinir ağı modelleri ile elde edilmiştir. GRM ile karşılaştırıldığında, YSA ile bitki su tüketimi tahmin etkinliği, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, 0.263 (%37.0) ve 0.348 (%39.9) artmıştır.

Tüm veri seti koşullarında ve her iki yetiştirme ortamında, yapay sinir ağı modelleri, gerçek bitki su tüketimini başarıyla tahminlemiştir.

4.7.5. İleriye dönük bitki su tüketimi tahmini

Tüm verilerin (12 veri) bulunduğu koşul için oluşturulan en başarılı modellerin (tahmin), günlük bitki su tüketimi (ölçüm) tahminindeki başarısı analiz edilmiş ve Çizelge 4.33 ve 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Tüm veriler ile perlit ortamı için oluşturulan en iyi 5 YSA modeli

Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA(+1) P1	12-6-23-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Logistic	0.501	0.806	0.812
		Test				0.522	0.764	0.797
YSA(+1) P2	12-6-23-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.537	0.778	0.784
		Test				0.529	0.757	0.792
YSA(+1) P3	12-11-10-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Logistic	0.511	0.798	0.804
		Test				0.540	0.749	0.783
YSA(+1) P4	12-24-3-1	E.+D.	CGD	Logistic	Linear	0.530	0.787	0.794
		Test				0.554	0.701	0.740
YSA(+1) P5	12-7-12-1	E.+D.	QN	Logistic	Linear	0.518	0.796	0.803
		Test				0.572	0.684	0.723

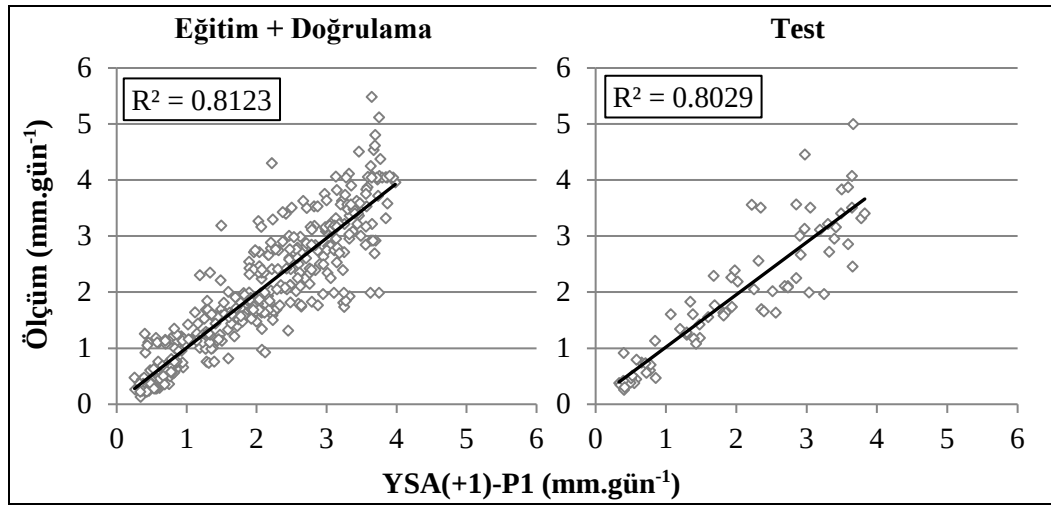
Perlit yetiştirme ortamı için, tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelleri içerisinde seçilen YSA(+1)-P1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.812, test veri setinde 0.797’lik bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır.

Çizelge 4.34. Tüm veriler ile cocopeat ortamı için oluşturulan en iyi 5 ileriye dönük YSA modeli

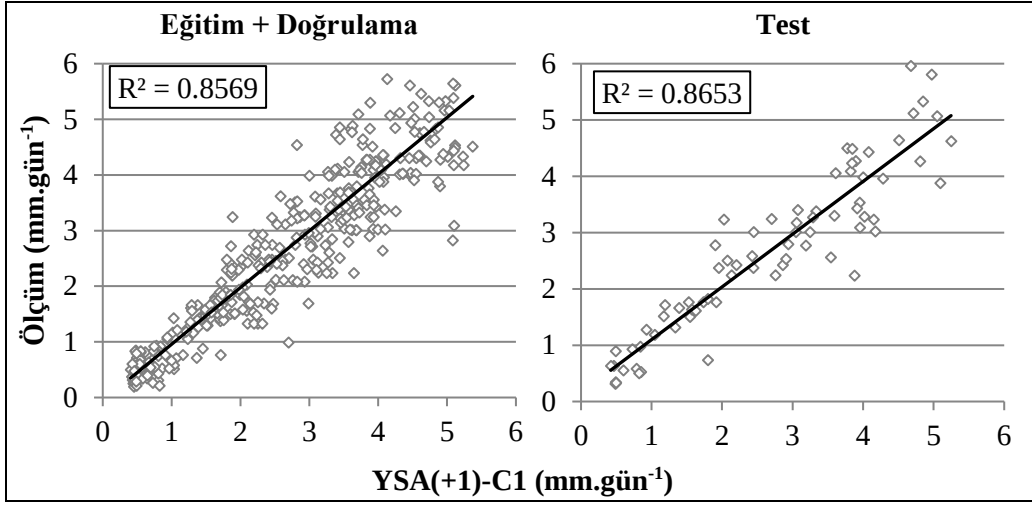
Model	Mimari	Veri Seti	Eğitim Algoritması	Girdi Akt. Fonk.	Çıktı Akt. Fonk.	HKOK	R ² _{düz}	E
YSA(+1) C1	12-13-3-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Logistic	0.588	0.852	0.857
		Test				0.532	0.839	0.861
YSA(+1) C2	12-12-13-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.540	0.873	0.876
		Test				0.575	0.836	0.860
YSA(+1) C3	12-7-10-1	E.+D.	LVM	Logistic	Logistic	0.603	0.846	0.849
		Test				0.534	0.833	0.860
YSA(+1) C4	12-15-14-1	E.+D.	CGD	Logistic	Logistic	0.590	0.852	0.856
		Test				0.542	0.832	0.856
YSA(+1) C5	12-21-15-1	E.+D.	LMQN	Logistic	Linear	0.401	0.929	0.931
		Test				0.599	0.821	0.848

Cocopeat yetiştirme ortamı için, tüm veriler kullanılarak oluşturulan ileriye dönük YSA modelleri içerisinde seçilen YSA(+1)-C1 modeli, eğitim ve doğrulama veri setlerinde 0.857, test veri setinde 0.861’lik bir etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA(+1)-C5 modeli, eğitim ve doğrulama veri seti ile 0.931 etkinlik ile tahminleme yapmasına rağmen, test veri seti tahminlerinde 0.848 etkinlik ile YSA(+1)-C1 modelinden geri kalmıştır.

Her iki yetiştirme ortamı için, oluşturulan ileriye dönük YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin saçılım diyagramı, eğitim+doğrulama ve test veri setleri için, Şekil 4.81 ve Şekil 4.82’de gösterilmiştir.

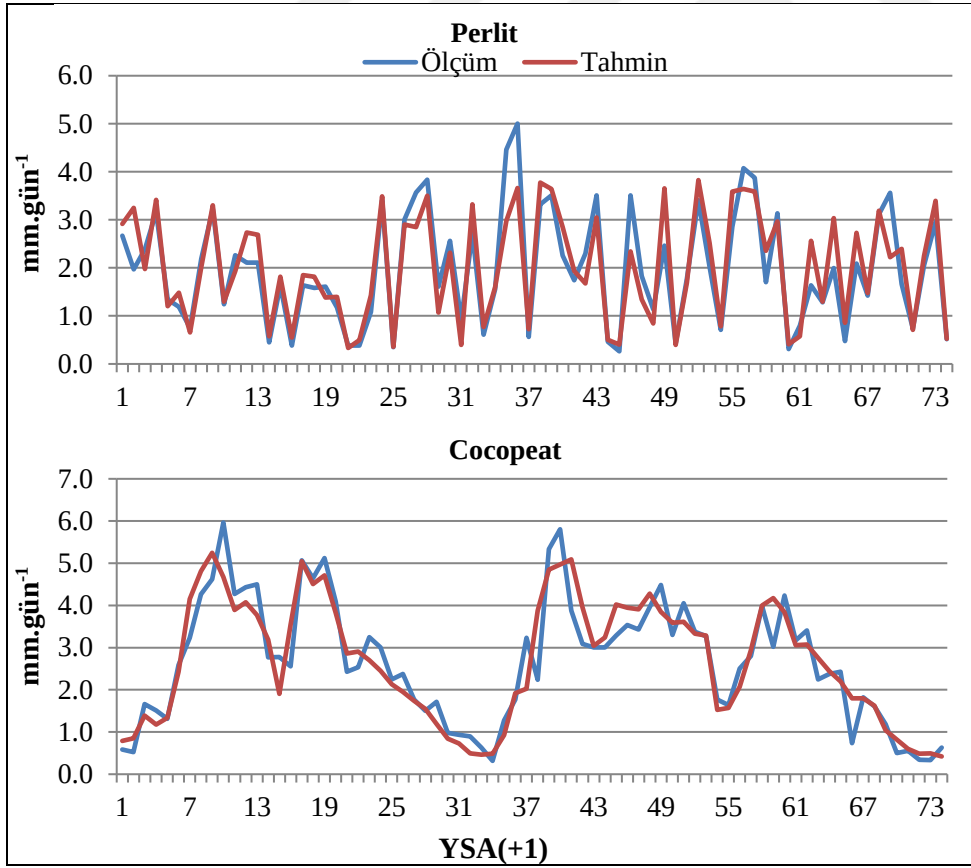


Şekil 4.81. YSA modeli tahminleri ile ölçülen ileriye dönük bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler-Perlit)



Şekil 4.82. İleriye dönük YSA modeli tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerleri saçılım diyagramı (Tüm veriler-Cocopeat)

Her iki yetiştirme ortamında, tüm veriler kullanılarak oluşturulan ileriye dönük YSA modelinin, test veri seti tahminleri ile ölçülen bitki su tüketimi değerlerinin grafiği Şekil 4.83’de gösterilmiştir.



Şekil 4.83. Seçilen YSA(+1)-P1 ve YSA(+1)-C1 modellerinin tahmin-ölçüm grafiği

Otomasyon kolaylığı için YSA'nın, günün iklim verileri ile ertesi günün bitki su tüketimini tahminindeki başarısının incelendiği çalışmada, perlit yetiştirme ortamı için oluşturulan yapay sinir ağı modeli $E=0.797$ 'lik bir model etkinlik katsayısı ile bir gün sonrası oluşacak bitki su tüketimini başarıyla tahmin etmiştir. Tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelinin $E=0.772$ etkinlik ile günün bitki su tüketimini tahmin ettiği göz önüne alındığında, ertesi gün tahminleri başarılı bulunmuştur.

Cocopeat yetiştirme ortamı için oluşturulan ileriye dönük yapay sinir ağı modeli $E=0.861$ 'lik bir model etkinlik katsayısı ile bir gün sonrası oluşacak bitki su tüketimini başarıyla tahmin etmiştir. Tüm veriler kullanılarak oluşturulan YSA modelinin $E=0.882$ etkinlik ile bitki su tüketimini tahmin ettiği göz önüne alındığında, ileriye dönük bitki su tüketimi tahminleri başarılı ($E=0.861$) bulunmuştur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

2011-2013 yılları arasında 4 farklı üretim dönemini kapsayacak şekilde yürütülen araştırmadan elde edilen sonuçlar, önemli ekonomik değere sahip domates bitkisinin, topraksız tarım ortam kültüründe kök bölgesi nem algılayıcıları ile yetiştirilme olanağını ortaya koymuştur. Aynı zamanda, ticari üretim yapan işletmelerin, bilinçli kısıt sulama uygulaması ile çevresel etkilerini azaltırken su, gübre ve enerji tasarrufu yapılabileceği ortaya konulmuştur.

Yetiştirme dönemlerinin sera içi iklim parametreleri incelendiğinde, iki sonbahar döneminin (II ve IV.Dönemler), ortalama sıcaklık (17.3 ve 18.2 °C), ortalama bağıl nem (%67.1 ve %71.3) ve ortalama solar radyasyon (6.4 ve 6.5 MJ.m-2.gün-1) değerleri benzerlik göstermiştir. İlkbahar yetiştirme dönemlerinde (I. ve III.Dönemler), ortalama sıcaklık (21.2 ve 24.1 °C), ortalama bağıl nem (%62.6 ve %56.6) ve ortalama solar radyasyon (9.8 ve 10.3 MJ.m-2.gün-1) değerlerine göre, III.dönemin, daha sıcak ve güneşli olduğu görülmüştür. İlkbahar yetiştirme dönemlerinde, sera üzerine gölgeleme örtüsünün yerleştirilmesi ile sera içi solar radyasyonu belirgin bir şekilde düşmüştür.

Sera içi buhar basıncı açığı değerleri de her dönem gerek solar radyasyon gerekse de sıcaklık değerlerine benzer bir seyir izlemiştir. Sonbahar dönemleri için, dönem başında 2.0-3.0 kPa aralığında olan günlük ortalama buhar basıncı açığı, yetiştirme dönemlerinin son çeyreğinde 0.0-1.0 kPa aralığına düşmüştür. İlkbahar yetiştirme dönemlerinde buhar basıncı açığı 2.0-3.0 kPa aralığında başlamış fakat III.dönem, daha sıcak ve daha düşük nemli geçtiği için, bu dönemde daha yüksek değerler ortaya çıkmıştır.

Kök bölgesi nem algılayıcılarının, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarına özel kalibrasyonu için yapılan çalışmada kalibrasyon katsayıları belirlenmiştir. Kalibrasyon katsayıları, perlit için $a_0=1.30$ ve $a_1=10.70$, cocopeat için ise $a_0=1.95$ ve $a_1=8.80$ olarak bulunmuştur.

Yetiştirme ortamlarının, ortam karakteristik eğrileri oluşturularak, tarla kapasitesi, solma noktası ve kullanılabilir nem miktarları belirlenmiştir. Cocopeat yetiştirme ortamın tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri, sırasıyla, %48 ve %17 olarak belirlenmiş, kullanılabilir nem miktarı ise %31 bulunmuştur. Perlit yetiştirme ortamında ise tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri, %37 ve %12 bulunurken, kullanılabilir nem miktarı %25 bulunmuştur. Yetiştirme ortamları

için belirlenen tarla kapasitesi, solma noktası ve kullanılabilir nem değerleri, literatür ile benzerlik göstermiştir (Gruda et al., 2013, Bures et al.,1997a). Bures vd. (1997a), yaptıkları çalışmada, 0-4 mm çapında parçalardan oluşan ticari perlitin tarla kapasitesi ve solma noktası değerlerini sırasıyla (hacimsel), %36.5 ve %13.6 olarak bulmuştur. Tarla kapasitesi ve solma noktası değerlerinde fark kullanılan perlitin fiziksel farklılığı ile açıklanabilir. Kullanılabilir nem miktarı, cocopeat yetiştirme ortamında (%31), perlit yetiştirme ortamına (%25) kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Kök bölgesi nem algılayıcıları ile yönetilen sulama konularında, günlük sulama sayılarının dönemlik ortalamaları incelendiğinde, tüm dönemlerde (I, II, III ve IV) tam sulama konusunun sulama sayıları cocopeat yetiştirme ortamında perlit yetiştirme ortamına göre, sırasıyla, %24.2, %35.7, %28.2 ve %9.4 daha fazla olmuştur. Kısıt sulama konusunda sulama sayısı ise, yine cocopeat yetiştirme ortamında sırasıyla, %28.6, %29.0, %43.2 ve %16.7 daha fazla olmuştur. Kısıt uygulaması ile tüm dönemlerde (I, II, III ve IV) günlük sulama sayısı, cocopeat yetiştirme ortamında sırasıyla, %15, %26, %5 ve %25 azalırken, perlit yetiştirme ortamında, %20, %19, %25 ve %31 azalmıştır.

Kök bölgesi nem değerlerinin belirlenen eşiklere gelmesi ile kök bölgesi nem algılayıcıları tarafından başlatılan sulamaların sayısı algılayıcılar ile kısıt sulama yönetiminin değerlendirilmesi için önemli bir göstergedir. Kısıt uygulaması ile gözlenen tasarrufun sadece su ve gübre miktarlarından değil aynı zamanda sulama sisteminin işletme maliyetlerinde de gerçekleştiği sulama sayıları incelendiğinde görülmektedir.

Araştırma süresince bitkilere verilen dönemlik sulama suyu miktarları incelendiğinde, kısıt uygulaması ile dönemlere göre (I, II, III ve IV) sulama suyu miktarından, perlit yetiştirme ortamında %19.2, %29.7, %19.7 ve %33.9 tasarruf sağlanırken, cocopeat yetiştirme ortamından %19.0, %43.4, %20.6 ve %29.1 tasarruf sağlanmıştır. Tüm dönemler birlikte düşünüldüğünde, kısıt uygulaması ile perlit yetiştirme ortamında %25.6, cocopeat yetiştirme ortamında ise %28.0 tasarruf sağlanmıştır.

Uronen (1995), torf ve kaya yünü ortamları kullanılarak açık sistem ve kapalı sistemde domates bitkisi yetiştirdiği çalışmada, kapalı sistemde birinci yılda 324 – 665 l.bitki⁻¹ takip eden 2 yılda ise 229 – 506 l.bitki⁻¹ sulama suyu uygulamıştır. Tunalı vd. (2008) farklı tuzluluk düzeylerinde yaptıkları çalışmada,

kullanılan toplam su miktarını incelemiş ve kapalı sistemde sonbahar döneminde 71.16 – 83.43 l.bitki⁻¹, ilkbahar döneminde ise 86.22 – 112.87 l.bitki⁻¹ olarak ölçülmüştür. Sulama suyu miktarları arasındaki farklar iklim, yetiştirme tekniği, bitki çeşidi, vb. etmenler ile açıklanabilir.

Cocopeat yetiştirme ortamının II.dönem sulama suyu miktarlarındaki fazlalık, uygulamada yaşanan algılayıcı çökmeleri ile açıklanabilir. Kök bölgesi nem algılayıcılarının düzenli olarak kontrol edilmesi ve bakımlarının yapılması gereklidir. “Cocopeat-Tam Sulama” konusunun yüksek nem aralığı (%42-%48) ve sonbahar yetiştirme döneminin (II.Dönem) düşük sıcaklık ile yüksek bağıl neminin birlikte etkileri sonucu, bitki su tüketiminin düşmesi ve ortam neminin daha uzun süre tarla kapasitesi yakınlarında kalması ile ThetaProbe ML2’de çökme problemi yaşanmıştır. Bu problem, ortam nemi artmasına rağmen (sulama yapılmasına rağmen), algılayıcı okumalarının sürekli bir düşüş halinde olması olarak gözlenir. Ortam nemi sulama eşiğinin üzerine çıkmadığı için sistem sürekli sulama yapma ihtiyacı duymaktadır. Ayrıca yetiştirme ortamlarında algılayıcı yataklanması da dikkat edilmesi gereken bir unsur olmuştur. Yetiştirme dönemleri boyunca bitkilerde yapılan kültürel işlemler sırasında (Özellikle kök gelişiminin tamamlanmadığı dönemlerde), algılayıcı bulunan saksılar yerinden oynadığında, algılayıcı-ortam temasında boşluklar oluşmakta ve okumalar hatalı olmaktadır. Bu gibi elektronik ve mekanik aksaklıkların önlenmesi için düzenli kontrollerin ve bakımların, kök bölgesi nem algılayıcıları ile ortam kültürü sulama yönetiminde büyük öneme sahip olduğu görülmüştür.

Araştırma süresince ölçülen dönemlik bitki su tüketimi miktarları incelendiğinde, kısıt uygulaması ile dönemlik (sırasıyla I, II, III ve IV) bitki su tüketimi, perlit yetiştirme ortamında %29.3, %32.7, %33.7 ve %38.2 azalırken, cocopeat yetiştirme ortamında %20.4, %22.5, %25.9 ve %31.9 azalmıştır. Bitki su tüketimi değerlerinde, III.yetiştirme döneminin daha sıcak geçmesinin etkisi görülmektedir. Tüm dönemler birlikte düşünüldüğünde bitkiler, kısıt uygulaması ile perlit yetiştirme ortamında %33.5, cocopeat yetiştirme ortamında ise %25.2 daha az su ve besin maddesi tüketmiştir.

Tüzel vd. (2000), sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde topraksız domates yetiştiriciliğinde farklı ortam ve domates çeşitleri kullandıkları araştırmada kapalı sistemlerde mevsimlik bitki su tüketimlerini, sonbaharda 51.1 – 69.8 l.bitki⁻¹, ilkbaharda ise 91.2 – 119 l.bitki⁻¹ arasında bulmuştur. Tüzel vd. (1999a), sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde 4 farklı ortamda yetiştirilen domates bitkisinde

mevsimlik bitki su tüketimlerini sonbahar döneminde 57.2 – 82.5 l.bitki⁻¹, ilkbahar döneminde 107.3 – 148.6 l.bitki⁻¹ arasında ölçmüştür. Alarcon vd, (2001) ise sonbahar döneminde kapalı sistem şeklinde yapılan topraksız domates yetiştiriciliğinde mevsimlik bitki su tüketimini 59.3 l.bitki⁻¹ olarak bildirmiştir. Bitki su tüketimi miktarları literatür ile uyumlu görülmektedir. Bu araştırmada ve literatürdeki bitki su tüketimi miktarlarındaki değişim iklim, yetiştirme tekniği, bitki çeşidi, vb. etmenler ile açıklanabilir

Kullanılan besin solüsyonu miktarı, kapalı sistemin avantajını en iyi temsil eden ve bitki su tüketimi ile konulara ilişkin tanklardan atılan (dönem içi veya dönem sonu) besin solüsyonu miktarını ifade eden parametredir. Araştırma süresince dönemlik kullanılan besin solüsyonu miktarları incelendiğinde, kısıt uygulaması ile kullanılan besin solüsyonu miktarından, perlit yetiştirme ortamında %28.3, %27.2, %29.1 ve %28.6 tasarruf sağlanırken, cocopeat yetiştirme ortamından %19.3, %18.9, %11.3 ve %27.9 tasarruf sağlanmıştır. Kullanılan besin solüsyonu miktarından tasarruf, kapalı sistemde, su ve besin maddesinden tasarruf olarak düşünülebilir. Tüm dönemler birlikte düşünüldüğünde, kısıt uygulaması ile perlit yetiştirme ortamında %28.3, cocopeat yetiştirme ortamında ise %19.4 su ve besin maddesi tasarrufu sağlanmıştır.

Araştırmada tüm dönemlerin verim değerleri incelendiğinde, yetiştirme ortamlarının, toplam verim, pazarlanabilir verim ve ortalama meyve ağırlığı üzerine etkileri, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemli bulunurken, meyve sayısı üzerine etkisi, sadece I.yetiştirme döneminde önemli bulunmuştur. Tüm yetiştirme dönemlerinde, perlit yetiştirme ortamından elde edilen toplam verim, 6.18, 7.76, 7.11 ve 7.25 kg.m⁻² olurken, cocopeat yetiştirme ortamından, 10.29, 11.31, 10.10 ve 9.09 kg.m⁻² verim alınmıştır. Perlit yetiştirme ortamında, meyve sayısı, 123.1, 122.8, 142.4 ve 118.4 adet.m⁻² bulunurken, cocopeat'te 146.1, 126.3, 149.0 ve 130.4 adet.m⁻² bulunmuştur.

Sulama konularının, ilkbahar yetiştirme dönemlerinde (I. ve III.Dönem) toplam ve pazarlanabilir verim, ortalama meyve ağırlığı ve meyve sayısı üzerine etkilerinin, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$), önemsiz olduğu görülmüştür.

Verimin daha yüksek olduğu sonbahar yetiştirme dönemlerinde (II. ve IV.Dönem) ise, sulama konularının, toplam ve pazarlanabilir verim üzerine etkisi, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemli olmuştur. İlkbahar ve Sonbahar yetiştirme dönemleri için farklı kısıt düzeyleri belirlemenin faydalı olacağı görülmüştür.

Kısıt sulama etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu sonbahar yetiştirme dönemlerinde (II. ve IV.Dönem), sulama ve ortam konularının birlikte etkisi incelenmiştir.

II.Yetiştirme döneminde, kısıt uygulaması ile, perlit'te toplam verim ($8.43 \rightarrow 7.09 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verimdeki ($8.05 \rightarrow 6.23 \text{ kg.m}^{-2}$) azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemli olmuştur. Cocopeat yetiştirme ortamında ise Toplam verim ($11.69 \rightarrow 10.93 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verim ($11.55 \rightarrow 10.69 \text{ kg.m}^{-2}$) azalmış, fakat verimdeki azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemsiz olmuştur.

IV.Yetiştirme döneminde, kısıt uygulaması ile, perlit'te toplam verim ($8.11 \rightarrow 6.40 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verimdeki ($7.84 \rightarrow 5.54 \text{ kg.m}^{-2}$) azalma, %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemli olmuştur. Cocopeat yetiştirme ortamında ise Toplam verim ($9.75 \rightarrow 8.43 \text{ kg.m}^{-2}$) ve pazarlanabilir verimdeki ($9.51 \rightarrow 7.54 \text{ kg.m}^{-2}$) azalma %5 yanılma düzeyinde ($p>0.05$) önemli bulunmuştur.

Tüzel vd. (2000), sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde topraksız domates yetiştiriciliğinde farklı ortam ve domates çeşitleri kullanarak açık ve kapalı sistemlerde su ve besin maddesi kullanım miktarları ile verim değerlerinin belirlenmesi amacıyla yürüttükleri çalışmada, açık (15.7 ve 19.0 kg.m^{-2}) ve kapalı (17.0 ve 18.0 kg.m^{-2}) sistemler arasında verim açısından farklılık bulunmadığını bildirmişlerdir. Uronen (1995), tarafından yapılan araştırmada, açık sistemde torftaki verim $27.2 - 31.2 \text{ kg.m}^{-2}$, kaya yününde ise $26.6 - 32.0 \text{ kg.m}^{-2}$ arasında iken, kapalı sistemde torfta $21.2 - 26.9 \text{ kg.m}^{-2}$ ve kaya yününde $25.5 - 28.0 \text{ kg.m}^{-2}$ olarak bulunmuştur. Uroren, verimdeki bu farklılığın kapalı sistemlerde yapılan fazla sulamadan kaynaklanabileceği bildirmiştir. Tüzel vd. (1999a), sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde 4 farklı ortamda yetiştirilen domates bitkisinde verim değerlerini sonbahar döneminde $15.18 - 15.95 \text{ kg.m}^{-2}$, ilkbahar döneminde $18.36 - 20.38 \text{ kg.m}^{-2}$ arasında bulmuşlardır. Tüzel vd. (1999b), tarafından tek ürün domates yetiştiriciliği şeklinde yapılan araştırmada günde 2 ve 4 kez sulama yapılan konulardan sırasıyla 18.53 kg.m^{-2} ve 19.0 kg.m^{-2} olmak üzere yüksek verimler elde edilmiştir.

Verim değerleri arasındaki farklar iklim, yetiştirme dönemi uzunluğu, yetiştirme ortamı, kullanılan besin solüsyonu, yetiştirme tekniği, bitki çeşidi, vb. etmenler ile açıklanabilir.

İşletme, su ve gübre maliyetlerinden elde edilen tasarrufun verimdeki azalma ile oluşan kayıptan fazla olması durumunda kısıt uygulaması başarılı kabul edilebilir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için farklı sulama eşikleri ile denemeler yapılarak çalışma sonuçlarının ekonomik analizler ile yorumlanması gerekmektedir. Bu çalışmada kök bölgesi nem algılayıcılarının ortam kültüründe farklı eşik değerleri ile sulama yönetiminde başarıyla kullanılabileceğini görülmüştür.

Kısıt uygulamasının ve sulama yönetiminin başarısını değerlendirmek için kullanılan bir diğer ölçüt de su kullanım randımanıdır. Araştırmaya ilişkin bitki su tüketimine bağlı dönemlik su kullanım randımanı değerleri (WUE-BST) incelendiğinde, kısıt uygulaması ile dönemlik su kullanım randımanları, perlit yetiştirme ortamında 9.0, 8.4, 9.3 ve 11.4 kg.m^{-3} artarken, cocopeat yetiştirme ortamında, 7.1, 7.8, 7.8 ve 10.6 kg.m^{-3} artmıştır. Bitki su tüketimine bağlı su kullanım randımanı değerlerinde, I. ve II. yetiştirme dönemlerinde en yüksek değerler “Cocopeat-Kısıt Sulama” konusundan elde edilirken, III. ve IV. dönemlerde en yüksek randıman “Perlit-Kısıt Sulama” konusundan alınmıştır. Tüm dönemler birlikte düşünüldüğünde, kısıt uygulaması ile perlit yetiştirme ortamında ortalama 9.5 kg.m^{-3} , cocopeat yetiştirme ortamında ise 8.3 kg.m^{-3} su kullanım randımanı artışı sağlanmıştır.

Tüzel ve Meriç (2001), ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde sera topraksız domates yetiştiriciliğinde açık sistem, kapalı sistem ve besleyici film tekniği (NFT) ’nde bitki su tüketimi ve su kullanım randımanlarını belirlemişlerdir. Buna göre, su kullanım randımanları, açık ve kapalı sistemde sonbahar döneminde 81.6 – 54.3 kg.m^{-3} , ilkbahar döneminde ise 50.3 – 40.4 kg.m^{-3} arasında olmuştur. Kapalı sistemde açık sisteme, sonbaharda ise ilkbahara göre daha yüksek su kullanım randımanları elde edilmiştir.

Araştırmaya ilişkin sulama suyu miktarına bağlı dönemlik su kullanım randımanı değerleri (WUE-SSM) incelendiğinde, kısıt uygulaması ile dönemlik su kullanım randımanları, perlit yetiştirme ortamında 2.8, 5.2, 2.7 ve 5.5 kg.m^{-3} artarken, cocopeat yetiştirme ortamında, 5.0, 14.0, 4.3 ve 6.3 kg.m^{-3} artmıştır. Sulama suyu miktarına bağlı su kullanım randımanı değerlerinde, tüm yetiştirme dönemlerinde en yüksek değerler “Cocopeat-Kısıt Sulama” konusundan elde edilmiştir. Tüm dönemler birlikte düşünüldüğünde, kısıt uygulaması ile perlit yetiştirme ortamında ortalama 4.0 kg.m^{-3} , cocopeat yetiştirme ortamında ise 7.4 kg.m^{-3} su kullanım randımanı artışı sağlanmıştır.

Akat ve Tüzel (2001), sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde, açık ve kapalı sistemde yetiştirilen domates bitkisinin 4 farklı yetiştirme ortamında su kullanım randımanını irdelemiş, en yüksek ve en düşük değerler olarak; sonbaharda açık sistemde 51.77 ve 45.80 kg.m⁻³, kapalı sistemde 62.46 ve 56.27 kg.m⁻³, ilkbaharda açık sistemde 22.97 ve 21.05 kg.m⁻³ kapalı sistemde 29.38 ve 26.44 kg.m⁻³ olarak bulunmuştur.

Pardossi vd. (2004), bazı Akdeniz ülkelerinde farklı iklim koşullarında farklı sistemler kullanılarak yetiştirilen domates bitkisinin su kullanım randımanının ısıtılmayan plastik örtülü sera koşullarında 23.0-47.0 kg.m⁻³ arasında değiştiğini belirtmiştir (Çizelge 2.4). Araştırmadan elde edilen su kullanım randımanı değerleri de bu çalışma ile uyum içerisindedir. Elde edilen su kullanım randımanı değerleri, literatürde olduğu gibi sonbahar dönemlerinde daha yüksek olmuştur.

Sulama suyu miktarı, bitki su tüketimi ve sulama sayısı yönünden oluşan farklılıklar, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarının farklı fiziksel (tane büyüklüğü, porozite, hidrolik geçirgenlik, su/hava oranı, boşluk çapı dağılımı, vb.) ve kimyasal özellikleri ile açıklanabilir. Bu özellikler nedeniyle, cocopeat yetiştirme ortamında bitkiler, perlit yetiştirme ortamına göre daha iyi gelişim göstermiştir. Cocopeat yetiştirme ortamı, kısıt uygulamasından ve yetiştirme dönemi farklılığından, perlit'e göre daha az etkilenmiştir. Toplam verim, pazarlanabilir verim, meyve sayısı ve ortalama meyve ağırlığı değerlerinin tümünde daha iyi sonuçlar vermiştir. Cocopeat'ın ortam kültürü materyali olarak üstünlüğü literatür ile de desteklenmektedir. Michel'e (2010) göre, Piyasada, havalanma ve kuruma eğrisi açısından çok uygun olan yetiştirme ortamı sayısı azdır. Kalite ve bulunabilirlik olarak turba'ya (peat) tatmin edici bir alternatif bulunmamaktadır. Turba, topraksız tarım ortam kültürü için vazgeçilemez bir yetiştirme ortamıdır ve diğer yetiştirme ortamları ile karıştırılarak havalanma özelliği artırılabilir. Fakat, perlit yetiştirme ortamı, bulunabilirlik, kullanım kolaylığı ve fiyatı nedeniyle daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Araştırmadan elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde, topraksız tarım ortam kültüründe, uygun sulama eşiklerinin bulunması ile sulama (işletme) maliyetleri ve su-besin maddesi maliyetleri önemli oranlarda düşürülerek verim kaybı ve çevresel etki en aza indirilebileceği ortaya konulmuştur.

Araştırmada, sulama yönetimi için önemli bir parametre olan bitki su tüketiminin tahmin edilmesinde kullanılan ve standart yöntem olarak kabul edilen FAO Penman-Monteith yönteminin, bölgeye ve bitkiye özel durumlardaki başarısı irdelenmiş, bitkiye özel sulama programında, yapay sinir ağlarının performansı ile kıyaslanmıştır. Ayrıca, eksik iklim verilerinin bulunduğu koşul için literatürde tavsiye edilen yöntem olan Hargreaves eşitliği (Allen et al., 1998) de incelenmiş ve yapay sinir ağlarının eksik veri koşulundaki performansı ile kıyaslanmıştır.

Bitki su tüketimi tahmininde iklime dayalı yaklaşımların kullanılmasının en büyük zorluğu bitki katsayısı değerinin belirlenmesidir. Toprak veya ortam yüzeyinden buharlaşmanın minimum olduğu saksı yetiştiriciliğinde bitki katsayısı değerleri geleneksel yetiştiriciliğe göre daha yüksektir (Niu et al., 2006; García-Navarro et al., 2004). Snyder vd. (1987), geleneksel yetiştiricilikte domatesin bitki katsayısının gelişim dönemine göre 0.2-1.1 arasında olduğunu belirtmiştir. Bacci vd. (2011), yaptıkları araştırmada, saksıda yetiştirilen odunsu süs bitkilerinin bitki katsayısı değerlerinin 0.18-1.55 arasında bulmuşlardır. Bu çalışmada ise saksıda yetiştirilen domatesin bitki katsayısı değerleri dört yetiştirme döneminde de 0.3-2.0 arasında olmuştur.

Bitki katsayısının belirlenmesine yönelik çalışmalar hem vakit alır hem de maliyeti yüksektir. Buna rağmen parselden parsel aktarılabilen hassas bir standart değer elde edilemez ve mekân, iklim, bitki türü, bitki gelişim dönemi ve hatta sulama yöntemi gibi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterir. Günlük olarak belirlenen bitki katsayısı değerleri, grafiksel yöntem ile oluşturulan bitki katsayısı eğrisi değerleri ile kıyaslanmış ve belirleme katsayıları, cocopeat yetiştirme ortamında $r^2=0.64$, perlit yetiştirme ortamında ise $r^2=0.72$ olarak bulunmuştur. Aynı bitki, konum ve yetiştirme tekniği kullanılsa dahi bitki katsayısı verisinin iklime dayalı tahmin yöntemlerinin başarısını kısıtladığı görülmüştür.

YSA modelleri ile bitki su tüketiminin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen araştırmaların büyük bir çoğunlukla referans bitki su tüketimi düzeyindedir. Dai vd. (2009), yaptıkları araştırmada FAO Penman-Monteith eşitliği ile hesaplanan referans bitki su tüketimleri YSA ve regresyon modelleri oluşturmuş ve YSA modellerinin referans bitki su tüketiminin modellenmesinde regresyon modellerinden daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Dört girdili YSA modelinin hata kareler ortalamasının karakökü değerleri ve belirleme katsayılarının sırasıyla 0.130 mm.gün⁻¹, 0.986 olduğunu bildirmişlerdir. Trajkovic

(2009) araştırmasında, Christiansen, FAO-24 pan ve FAO-56 Penman-Monteith eşitliklerinin sonuçları çim bitkisinden meydana gelen bitki su tüketiminin lizimetre ile ölçülen değerleri ile karşılaştırmış ve çalışma sonucunda radyal tabanlı sinir ağı modelinin pan buharlaşması ölçümlerinin ve referans bitki su tüketimi değerlerini tahminlemede oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiş, modelin belirleme katsayısının 0.9501 olarak bulunduğu belirtmiştir. Doğan (2009) yaptığı çalışmada, referans bitki su tüketiminin tahminlenmesi amacıyla tahminleme için uyarlamalı bulanık-sinir ağı (ANFIS) yaklaşımı kullanmış, model yapıları Penman-Monteith eşitliği ile hesaplanan çim bitkisi referans bitki su tüketim değerleri ile eğitmiş ve test etmiştir. Modelin girdilerini güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, oransal nem ve rüzgâr hızı oluşturmuştur. Dört girdinin de kullanıldığı ANFIS modelinin ortalama hata karesi 0.016, ortalama mutlak oransal hata %6.4 ve belirleme katsayısı 0.996 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar altında ARFIS modelinin referans bitki su tüketiminde başarıyla kullanılabileceğini bildirmiştir.

Kiş (2009), günlük pan buharlaşmasının modellenmesinin amaçlandığı bir çalışmada, çok katmanlı geriye yayılım algoritması (MLP), radyal tabanlı sinir ağları (RBNN) ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN) kullanılmıştır. MLP tahminleri RBNN ve GRNN teknikleriyle ve Stephens-Stewart (SS) metodu sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Modellerin performansları karşılaştırıldığında iklim verileri kullanılarak oluşturulan MLP ve RBNN modellerinin pan buharlaşmasının tahminlenmesinde başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Ayrıca GRNN modelinin SS metodu sonuçlarına göre daha iyi performans gösterdiği bildirmiştir. Pan buharlaşmasının yapay sinir ağları (ANN) kullanılarak modellenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, Sudheer vd. (2002), ANN geri yayılım algoritması kullanılarak en az iklim parametresi kullanmak amacıyla değişik parametre kombinasyonları ile buharlaşmanın tahminlenmesine çalışılmış, oluşturulan model sonuçları Stephens ve Stewart (SS) modelinin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. ANN modelleri ile aylık olarak elde edilen değerlerle pan buharlaşma değerleri arasındaki ilişkinin korelasyon değeri 0.97 ile 0.99 arasında değiştiği bildirilmiştir. 6 adet girdi kullanılarak yapılan ve gizli katman sayısının 12 adet olduğu ANN modelin en iyi model olduğu belirlenmiştir. SS modeli sadece sıcaklık ve radyasyon verisi ile oluşturulduğundan sadece iki girdi parametresi ve 5 gizli katman kullanılarak oluşturulan ANN modeline bakıldığında modellerin oluşturulduğu bütün yıllarda SS modelinden daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Khoob (2008b) araştırmasında, YSA ve geleneksel pan katsayısı modellerinin hata kareler ortalamasının karakökü değeri ve

belirleme katsayısı 0.8 mm.gün^{-1} , 0.91 ve 1.46 mm.gün^{-1} 0.84 olarak bulunmuştur. YSA modeli ve pan buharlaşması değerleri ile pan katsayısı değerinin çarpımından elde edilen referans bitki su tüketimi değerleriyle PM eşitliği sonuçları karşılaştırıldığında YSA modelinin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

İlgili yöntemlerin gerçek bitki su tüketimi tahminindeki başarısının incelendiği bu çalışmada FAO Penman-Monteith eşitliği Cocopeat yetiştirme ortamında $E=0.784$ 'lük bir etkinlik ile tahminleme yaparken, perlit'te $E=0.733$ etkinlik ile tahminleme yapmıştır. Hargreaves eşitliği ise, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarında, $E=0.696$ ve $E=0.620$ etkinlik ile bitki su tüketimi tahmininde bulunmuştur. Ampirik eşitliklerin ikisi de, cocopeat yetiştirme ortamında model etkinliği (E) açısından daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Genelleştirilmiş regresyon modelleri, perlit yetiştirme ortamında $E=0.737$, cocopeat yetiştirme ortamında $E=0.821$ model etkinliği ile tahminleme yapmıştır. GRM, FAO Penman-Monteith eşitliğine göre, perlit yetiştirme ortamında 0.004 ($\%0.5$), cocopeat yetiştirme ortamında 0.037 ($\%4.5$) gibi az bir farkla daha başarılı tahminleme yapmıştır. Penman-Monteith eşitliğinin global, GRM'nin ise yerel oluşu göz önüne alındığında, FAO-PM eşitliği öne çıkmaktadır.

Yapay sinir ağı modelleri, perlit yetiştirme ortamında $E=0.772$ ($R^2=0.73$), cocopeat yetiştirme ortamında ise $E=0.882$ ($R^2=0.86$) model etkinliği ile gerçek bitki su tüketimi tahmini yapmıştır. Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar yapay sinir ağı modelleri ile elde edilmiştir. FAO Penman-Monteith eşitliğine kıyasla, YSA ile bitki su tüketimi tahmin etkinliği, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, 0.039 ($\%5.1$) ve 0.098 ($\%11.1$) artmıştır. Jain vd. (2008), en az iklim verisi kullanarak yapay sinir ağları (ANN) ile bitki su tüketiminin tahminlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, dört farklı ANN modeli ile PM eşitliğinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, modellerin belirleme katsayıları (R^2) 0.81 - 0.82 arasında değişmiş ve bitki su tüketiminin tahmininde kısıtlı iklim parametreleriyle de olsa YSA yönteminin kullanılmasının uygun olacağı belirtmişlerdir.

Bitki katsayısı verisinin sorunlu yapısı göz önüne alındığında, bitki katsayısının eksik olduğu koşul için YSA ve regresyon modelleri oluşturulmuştur. Genelleştirilmiş regresyon modelleri, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarında, $E=0.557$ ve $E=0.489$ etkinlik ile tahminleme yapmıştır. YSA modelleri ise perlit

yetiştirme ortamında $E=0.764$, cocopeat yetiştirme ortamında ise $E=0.830$ model etkinliği ile geręek bitki su tüketiimi tahmini yapmıştır. Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar yapay sinir ağı modelleri ile elde edilmiştir. GRM ile karşılaştırıldığında, YSA ile bitki su tüketiimi tahmin etkinliği, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, 0.275 (%36.0) ve 0.273 (%32.9) artmıştır.

FAO-PM eşitliği biręok iklim parametresine ihtiyaç duyar ve her yerde meteoroloji istasyonu verileri iğerik ve konumsal olarak uygun değildir. Her üreticinin kendi iklim istasyonunu kurması da ekonomik olarak mümkün değildir. Sıcaklık ve nem parametreleri basit ve ucuz algılayıcılar ile ölçülebilir, fakat solar radyasyonun ölçümü pahalı algılayıcılar gerektirir. Bu nedenle sadece sıcaklık ve nem verilerinin bulunduğu koşul için yapay sinir ağı ve regresyon modelleri oluşturularak Hargreaves eşitliği ile kıyaslanmıştır.

Solar radyasyon, dolayısıyla net radyasyon verisinin bulunmadığı koşulda tavsiye edilen ampirik eşitlik olan Hargreaves, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarında, $E=0.696$ ve $E=0.620$ etkinlik ile bitki su tüketiimi tahmininde bulunmuştur. Genelleştirilmiş regresyon modelleri, perlit yetiştirme ortamında $E=0.696$, cocopeat yetiştirme ortamında $E=0.795$ model etkinliği ile tahminleme yapmıştır. Genelleştirilmiş regresyon modelleri, Hargreaves eşitliğine göre, perlit yetiştirme ortamında 0.076 (%10.9), cocopeat yetiştirme ortamında 0.099 (%12.5) farkla daha başarılı tahminleme yapmıştır. Yapay sinir ağı modelleri, perlit yetiştirme ortamında $E=0.775$, cocopeat yetiştirme ortamında ise $E=0.905$ model etkinliği ile geręek bitki su tüketiimi tahmini yapmıştır. Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar yapay sinir ağı modelleri ile elde edilmiştir. Hargreaves eşitliğine kıyasla, YSA ile bitki su tüketiimi tahmin etkinliği, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, 0.155 (%20.0) ve 0.209 (%23.1) artmıştır. Solar ve net radyasyon verilerinin kullanılmaması YSA modellerinin etkinliğini arttırmıştır. Bitki su tüketiimi üzerinde ęok önemli bir etken olmasına rağmen YSA modelleri, solar radyasyonun etkisini, yılın günü (DoY), dikim sonrası gün (DAP), atmosfer yüzeyine gelen radyasyon (R_a) gibi girdiler üzerinden algılayabilmiş ve bitki su tüketimini başarıyla tahminlemeye devam etmiştir.

Yılın günü, dikim sonrası gün ve atmosfer yüzeyine gelen radyasyon parametreleri ölçüm gerektirmeyen veriler olmalarına rağmen GRM ve YSA modellerinde solar radyasyon parametresinin etkisini modele dâhil edebilmiştir. Özellikle YSA modelleri yapıları gereği, bu parametrenin eksikliğini daha başarılı

bir şekilde telafi etmiştir. İlgili parametrelerin, yapılacak bitki su tüketimi model çalışmalarına dâhil edilmesinin faydalı olacağı görülmüştür.

Bitki katsayısı ve solar radyasyon verilerinin birlikte bulunmadığı koşulda ise genelleştirilmiş regresyon modelleri, cocopeat ve perlit yetiştirme ortamlarında, $E=0.525$ ve $E=0.448$ etkinlik ile tahminleme yapmıştır. Yapay sinir ağı modelleri, perlit yetiştirme ortamında $E=0.711$, cocopeat yetiştirme ortamında ise $E=0.873$ model etkinliği ile gerçek bitki su tüketimi tahmini yapmıştır. Her iki yetiştirme ortamında en iyi sonuçlar yapay sinir ağı modelleri ile elde edilmiştir. GRM ile karşılaştırıldığında, YSA ile bitki su tüketimi tahmin etkinliği, perlit ve cocopeat yetiştirme ortamlarında, 0.263 (%37.0) ve 0.348 (%39.9) artmıştır.

Tüm veri seti koşullarında ve her iki yetiştirme ortamında, yapay sinir ağı modelleri, gerçek bitki su tüketimini başarıyla tahminlemiştir. Sıcaklık ve nem parametreleri ile birlikte hesaplanan diğer parametreler (DAP , DoY , R_a) kullanılarak eğitilen yapay sinir ağı modeli, perlit yetiştirme ortamında $E=0.711$ etkinlik ile tahminleme yaparken, tüm verilerin kullanıldığı FAO-PM eşitliği $E=0.733$ etkinlik ile tahminleme yapmıştır. Cocopeat yetiştirme ortamında ise YSA($-R_s$, $-K_c$) modeli $E=0.873$ etkinlik ile tahminleme yaparken, FAO-PM eşitliği $E=0.784$ etkinlik ile sinir ağı modelinin gerisinde kalmıştır. En başarılı sonuçlar, perlit için $E=0.775$, cocopeat için $E=0.905$ model etkinliği ile solar ve net radyasyon parametrelerinin kullanılmadığı yapay sinir ağı modelinden alınmıştır.

Otomasyon kolaylığı için YSA'nın, günün iklim verileri ile ertesi günün bitki su tüketimini tahminindeki başarısının incelendiğinde, perlit yetiştirme ortamı için $E=0.797$, cocopeat yetiştirme ortamı için $E=0.861$ 'lik model etkinliği ile yapay sinir ağı modellerinin ertesi gün tahminleri başarılı bulunmuştur.

Tüm modeller birlikte değerlendirildiğinde, yapay sinir ağı modellerinin, gerçek bitki su tüketimi tahmininde başarıyla kullanılabileceği gösterilmiştir. Yeterince eğitim verisi ile parsele ve bitkiye göre eğitilen YSA modelleri gerçek bitki su tüketimini, basit bir sıcaklık-nem algılayıcısı ile bitki katsayısına ihtiyaç duymadan, FAO-PM eşitliğinden, daha başarılı tahmin etmiştir. Yapay sinir ağı modellerinin, ileriye dönük tahminlemedeki başarısıyla, otomasyona dahil edilerek kullanılabileceği de düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abak, K., Sevgican, A., Çolakoğlu, H., Eryüce, N., Gül, A., Baytorun, N., Çelikel G. Ve Paksoy M.,** 1994, Sera Tarımında Topraksız Yetiştirme Üzerinde Araştırmalar. TOAG 884, 84s.
- Adams, P.,** 1989, Nutrient Film Culture. Agricultural Water Management, 4: 471-478pp.
- Aghajanloo, M.B., Sabziparvar, A.A. and HosseinzadehTalaee, P.,** 2013, Artificial neural network–genetic algorithm for estimation of crop evapotranspiration in a semi-arid region of Iran Neural Comput. Appl., 23, 1387–1393pp.
- Akat, A. ve Tüzel, İ.H.,** 2001, Sera topraksız domates yetiştiriciliğinde su kullanım etkinliğini arttırıcı uygulamalar üzerinde bir araştırma, 6. Ulusal Seracılık Sempozyumu Bildirileri, 109 – 114s.
- Alarcon, A.L., Faz, A., Egea, C. And Branas, F.J.,** 2001, Macroelements uptake and ionic interrelationships of a tomato soilless crop in recirculating system, Acta Horticulturae, 559: 529 – 534pp.
- Ali, M.A., Hoque, M.R., Hassan, A.A. and Khair, A.,** 2007, Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic return of wheat Agric. Water Manage., 92 , 151–161pp.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M.,** 1998, Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation Drainage Paper 56. FAO, Rome.
- Alp, M. ve Cıgızoğlu, H. K.,** 2005, Yapay sinir ağı metodları ve regresyon analizi ile akım tahmini, II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Gümüşdüz, İzmir, 589-598s.
- Annandale J.G. and Stockle, C.O.,** 1994, Fluctuation of crop evapotranspiration coefficients with weather. A sensitivity analysis, Irrigation Science, 15, 1–7pp.
- Anonim,** 2005, Alyuda NeuroIntelligence 2.2 Manual. Alyuda Research, Inc.
- Anonim,** 2011, <http://yukseletohum.com>, Yüksel Tohumculuk A.Ş.
- Anonim,** 2014, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Nash%E2%80%93Sutcliffe_model_efficiency_coefficient (Erişim tarihi: 10 Ekim 2013)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- ASCE-EWRI**, 2005, The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. ASCE-EWRI, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, 173p.
- Baas, R. and Berg, D.**, 1999, Sodium accumulation and nutrient discharge in recirculation systems: a case study with roses. *Acta Hort.* 507, 157–164 pp.
- Bacci, L., Battista, P., Rapi, B., Sabatini, F. and Checcacci, E.**, 2003, Irrigation control of container crops by means of tensiometers. *Acta Hort. (ISHS)* 2003, 609, 467-474 pp.
- Bacci, L. and Checcacci, E.**, 2004, Il pilotaggio dell'irrigazione nelle colture florovivaistiche (In Italian). In *Uso Razionale delle Risorse nel Florovivaismo: L'Acqua*; Pardossi, A., Incrocci, L., Marzioletti, P., Eds.; ARSIA: Firenze, Italy, 2004; Vol. 5, 147-156 pp.
- Bacci, L., Battista, P. and Rapi, B.**, 2008, An integrated method for irrigation scheduling of potted plants. *Sci. Hortic.* 116, 89–97 pp.
- Bacci, L., Battista, P., Cardarelli, M., Carmassi, G., Rouphael, Y., Incrocci, L., Malorgio, F., Pardossi, A., Rapi, B. and Colla, G.**, 2011, Modelling Evapotranspiration of Container Crops for Irrigation Scheduling, *Evapotranspiration - From Measurements to Agricultural and Environmental Applications*, Dr. Giacomo Gerosa (Ed.), ISBN: 978-953-307-512-9, InTech
- Bailey, B.J., Montero, J.I., Biel, C., Wilkinson, D.J., Anton, A. And Joliet, O.**, 1993, Evapotranspiration of *Ficus benjamina*: comparison of measurements with predictions of the Penman-Monteith model and a simplified version, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.65, 229-243 pp.
- Baille, M., Baille, A. and Laury, J.C.**, 1994, A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamentalspecies vs climate factors and leaf area, *Scientia Horticulturae*, Vol.59, 217-232 pp.
- Baille, A.**, 1996, Principles and Methods for Predicting Crop Water Requirement in Greenhouse Environments. *Adv. Short Course on Irrigation Fertilizer Management and Soilless Culture Under Protected Agriculture*, 10-17 Oct., Agadir/Morocco, 37-60 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Baille, A.**, 2001, Water management in soilless cultivation in relation to inside and outside climatic conditions and type of substrate, *Italus Hortus*, Vol.8, pp.16-22 pp.
- Bauerle, W.L.**, 1984, Bag Culture Production of Greenhouse Tomatoes. The Ohio State Univ., Ohio Agric. Res. and Dev. Center, special circular, 108p.
- Benoit, F. and Ceustermans, N.**, 1995, Horticultural Aspects of Ecological Soilless Growing Methods. *Acta Hort.*, No: 396, 11-24 pp.
- Bolat, S. ve Kalenderli, Ö.**, 2003, Levenberg-Marquardt algoritması kullanılan yapay sinir ağı ile elektrot biçim optimizasyonu, International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks.
- Bures, S., Gago, M.C. and Martinez, F.X.**, 1997a, Water characterization in granular materials. *Acta Hort.* 450: 389-396 pp.
- Bures, S., Marfa, O., Perez, T., Tebar, J.A. and Lloret, A.**, 1997b, Measure of substrates unsaturated hydraulic conductivity. *Acta Hort.*, 450: 297-304 pp.
- Burger, D.W., Hartin, J.S., Hodel, D.R., Lukaszewski, T.A., Tjosvoid, S.A. and Wagner, S.A.**, 1987, Water use in California's ornamental nurseries. *Calif. Agric.* 41, 7-8 pp.
- Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F. and Pardossi, A.**, 2007, An aggregated model for water requirements of greenhouse tomato grown in closed rockwool culture with saline water, *Agricultural water management*, Vol.88, 73-82 pp.
- Caron, J., Xu, H.L., Bernier, P.Y., Duchesne, I. and Tardif, P.**, 1998, Water availability in three substrates during *Prunus x cistena* growth: variable threshold levels. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123:931-936 pp.
- Cary, J.W. and Hayden, C.W.**, 1973, An index for soils pore size distribution. *Geoderma*. 9:249-256 pp.
- Chattopadhyay, S, Jain, R. and Chattopadhyay, G.**, 2009, Estimating potential evapotranspiration from limited weather data over Gangetic West Bengal, India: a neurocomputing approach, *Meteorol. Appl.* 16: 403-411 pp.
- Chaves, M.M., Osorio, J. And Pereira, J.S.**, 2004, Water use efficiency and photosynthesis, 42 – 74, *Water Use Efficiency in Plant Biology*, Bacon, M.A., (Ed.), Blackwell Publishing Ltd., Oxford, 327 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cıgızoğlu, H.K.**, 2001, Yapay sinir ağları ve zaman serileri analizinde kullanımı, III. Ulusal Hidroloji Kongresi, 579-586, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M. , Rinaldi S. and Rea, E.**, 2009, Water use efficiency and transpiration of greenhouse geranium crop, *Acta Horticulturae*, Vol.807, 271-276 pp.
- Dai, X., Shi, H., Li, Y., Ouyang, Z. and Hou, Z.**, 2009, Artificial neural network models for estimating regional reference evapotranspiration based on climate factors, *Hydrol. Process.* 23, 442–450 pp.
- Day, D.**, 1991, Growing in Perlite. Grower Digest No.12, Grower Pub.Ltd., London, 36 p.
- de Graaf, R., de Gelder, A. and Blok, C.**, 2004, Advanced weighing equipment for water, crop growth and climate control management. *Acta Hort.* 664, 163–167 pp.
- De Boodt, M. and Verdonck, O.** 1972, The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.*, 26: 37–44
- De Boodt, M., Verdonck, O. and Cappaert, I.**, 1974, Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort. (ISHS)* 1974, 37, 254-262 pp.
- Delta-T Devices Ltd.** 1999, Theta Probe Soil Moisture Sensor User Manual: Type ML2x. Cambridge, CB5 0EJ, England
- Doğan, E., Işık, S. ve Sandalcı, M.**, 2007, Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 4119-4131, Yazı 271.
- Doğan, E.**, 2009, Reference evapotranspiration estimation using adaptive neuro-fuzzy inference systems, *Irrig. and Drain.* 58: 617–628 pp.
- Doorenhos, J. and Pruitt, W.O.**, 1977, Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation Drainage Paper 24, FAO, Rome
- Droogers, P., and Allen, R. G.**, 2002, Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrig. Drain. Syst.*, 16(1), 33–45 pp.
- DSİ**, 2014, Toprak ve su kaynakları. <http://www.dsi.gov.tr/> Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (Erişim Tarihi: 10.06.2014)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Efe, E., Bek, Y. ve Şahin, M.,** 2000, SPSS’te Çözümleri ile İstatistik Yöntemler II. Bilgisayar Araştırma Ve Uygulama Merkezi (BAUM), K.S.Ü., Yayın No: 10, Kahramanmaraş
- Elmas, Ç.,** 2003, Yapay Sinir Ağları. Birinci Baskı, Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- FAO,** 2002, Deficit Irrigation Practices, FAO Water Rep. 22. FAO, Rome
- Farina, E. and Bacci, L.,** 2005, Sensori per l’irrigazione: Valutazione d’uso in substrati colturali e applicazioni di campo (In Italian). Italus Hortus 2005, 12, 69-82 pp.
- García-Navarro, M.C., Richard, J., Evans, R.Y. and Savé Montserrat, R.,** 2004, Estimation of relative water use among ornamental landscape species. Sci. Hortic. 99, 163–174 pp.
- Grant, O.M., Davies, M.J., Longbottom, H. and Harrison-Murray, R.,** 2012, Evapotranspiration of container ornamental shrubs: modelling crop-specific factors for a diverse range of crops. Irrig. Sci. 30, 1–12 pp.
- Gregory, P.J.,** 2004, Agronomic approaches to increasing water use efficiency, 142 – 170, Water Use Efficiency in Plant Biology. Bacon, M.A., (Ed.), Blacwell Publishing Ltd., Oxford, 327 p.
- Gruda, N. and Schnitzler, W.H.** 2004a, Suitability of wood fiber substrates for production of vegetable transplants. I. Physical properties of wood fiber substrates. Sci. Hortic., 100(1–4): 309–322.
- Gruda, N. and Schnitzler, W.H.,** 2004b, Suitability of wood fiber substrates for production of vegetable transplants. II. The effect of wood fiber substrates and their volume weights on the growth of tomato transplants. Sci. Hortic., 100(1–4): 333–340.
- Gruda, N.,** 2005, Growth and quality of vegetables in peat substitute growing media. Habilitationsschrift (post-doc thesis). Humboldt University of Berlin, Germany.
- Gruda N., Quaryouti M.M. and Leonardi C.,** 2013, Growing Media. FAO Plant Production and Protection Paper No 217, Rome.
- Gül, A., Tüzel, I.H., Tuncay, Ö., Eltez, R.Z. and Zincirkiran, E.,** 1999, Soilless culture of cucumber in glasshouses: I. A comparison of open and closed systems on growth, yield and quality. Acta Hort.491:389-393 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gül, A., Tüzel, Y., Tüzel, İ.H., Eltez, R.Z., Meriç, M.K., Akat, Ö. and Demirelli, A.,** 2001, Ülkemiz Seracılığına Uygun Topraksız Yetiştirme Sistemlerinin Geliştirilmesi. Proje No: 98/BİL/023, İzmir.
- Gül, A., Tüzel, Y., Tuncay, Ö., Öztan, F., Tüzel, İ.H., Anaç, D., Okur B., Yağmur, B., Ogun, A., Engindeniz, S., Eltez, R.Z., Aykut, N. and Gülçin. H.,** 2004, Closed Substrate Culture: A Case Study from Turkey. Regional Training Work Shop on Soilless Culture Technologies. 3-5 March 2004 (Ed. Y.Tuzel). pp: 134-145, İzmir.
- Gül, A., Engindeniz, S. and Aykut, N.** 2007, Can Closed Substrate Culture be an Alternative for Small-Scale Farmers?. Acta Hort. (ISHS) 747:83-89 pp.
- Hagan, M. T. and Menhaj, M. B.,** 1994, Training feed forward network with the Marquardt algorithm, IEEE Trans. on Neural Net., 5(6), 989-993 pp.
- Hall, D.A., Hitchon, G.M. and Szmids, R.A.K.,** 1988, Perlite Culture: A new development in hydroponics. ISOSC Proc. :177-183.
- Ham, F. and Kostanic, I.,** 2001, Principles of Neurocomputing for Science and Engineering Macgraw-Hill, USA.
- Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A.,** 1985, Reference crop evapotranspiration from temperature. Appl. Eng. Agric., 1(2), 96–99 pp.
- Hargreaves, G. H., and Allen, R. G.,** 2003, History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. J. Irrig. Drain. Eng., 129(1), 53–63 pp.
- Harmanto, Saloke, V.M., Babel, M.S. and Tantau, H.J.,** 2005, Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment, Agricultural Water Management, 71: 225 – 242 pp.
- Haykin, S.,** 1999, Neural Networks: A Comprehensive Foundation Prentic-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 842p
- Huo, Z., Feng, S., Kang, S. and Dai, X.,** 2012, Artificial neural network models for reference evapotranspiration in an arid area of northwest China J. Arid Environ., 82, 81–90 pp.
- Incrocci, L., Marzioletti, P., Incrocci, G., Di Vita, A., Balendonck, J., Bibbiani, C. Spagnol, S. and Pardossi, A.,** 2014, Substrate water status and evapotranspiration irrigation scheduling in heterogenous container nursery crops, Agricultural Water Man., 131, 30-40 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jain, S.K., Nayak, P.C. and Sudheer, K.P.,** 2008, Models for estimating evapotranspiration using artificial neural networks, and their physical interpretation, *Hydrol. Process.* 22, 2225–2234 pp.
- Jensen, M.E.,** 1968, Water consumption by agricultural plants, In: Kozlowski, T.T. (Ed.), *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. II. Academic Press, Inc., New York, NY, pp. 1–22.
- Joliet, O. and Bailey, B.J.,** 1992, The effect of climate on tomato transpiration in greenhouse: measurements and models comparison. *Agr. Forest Meteorol.* 58, 43–62 pp.
- Jones, H.G.,** 2004a, Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.*, 55, 2427–2436 pp.
- Jones, H.,** 2004b, What's water use efficiency?, *Water Use Efficiency in Plant Biology*, Bacon, M.A., (Ed.), Blackwell Publishing Ltd., Oxford, 327 p. 27 – 41,
- Kang, N.J., Cho, M.W., Kweon, J.K. and Rhee, H.C.,** 2006, Effects of Deficit Irrigation on the Total Soluble Solids and Fruit Yields of Fresh Tomato, *Journal of Bio-Environment Control*, 15:335–339 pp.
- Khoob, A.R.,** 2008a, Comparative study of Hargreaves's and artificial neural network's methodologies in estimating reference evapotranspiration in a semiarid environment *Irrig. Sci.*, 26 (3), 253–259 pp.
- Khoob, A.R.,** 2008b, Artificial neural network estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation in semi-arid environment, *Irrig Sci.* 27:35–39 pp.
- Kırda, C.,** 1999, Su bütçesi yöntemiyle bitki su tüketimi çalışmaları, 85 – 103, *Bitki Su Tüketiminin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntem Bilimi: İnceleme ve Değerlendirmeler*, Kanber, R., Steduto, P. (Derl.), Adana – Türkiye, 211 s.
- Kim, S., Shiri, J. and Kisi, O.,** 2012, Pan evaporation modeling using neural computing approach for different climatic zones *Water Resour. Manage.*, 26 (11), 3231–3249 pp.
- Kırda, C.R.,** 2002, Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. *Deficit Irrigation Practices*, FAO Water Reports, vol. 22, 3–10 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kişi, Ö.**, 2009, Daily pan evaporation modelling using multi-layer perceptrons and radial basis neural networks, *Hydrol. Process.* 23, 213–223 pp.
- Kişi, Ö.**, 2014, Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in mediterranean climate. *J. Irrig. Drain. Eng.* 140 (1), 1–8 pp.
- Köhler, V., Krumbein, A. and Kosegarten, H.**, 1999, Effect of Different Water Supply on Plant Growth and Fruit Quality of *Lycopersicon Esculentum*, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 162 (6)
- Kumar, M., Raghuwanshi, N.S. and Singh, R.**, 2011, Artificial neural networks approach in evapotranspiration modeling: a review *Irrig. Sci.*, 29 (1), 11–25 pp.
- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A. and Lopez, J.J.**, 2008, Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain) *Agric. Water Manage.*, 95, 553–565 pp.
- Lizarraga A., Boesveld, H., Huibers, F. and Robles, C.**, 2003, Evaluating irrigation scheduling of hydroponic tomato in Navarra – Spain, *Irrigation and Drainage*, 52: 177 – 188 pp.
- Mandic, D. P. and Chambers, J.A.**, 2001, *Recurrent Neural Networks for Prediction-Learning Algorithms, Architectures and Stability*, John Wiley & Sons Ltd.
- Marcelis, L.F.M., Boogaard van den, R. and Meinen, E.**, 2000, Control of growth and nutrient supply by the combined use of models and plant sensors, *Proceedings Int. Conf. Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Postharvest Processings, IFAC*: 351 – 356 pp.
- Marzioletti, P. and Pardossi, A.**, 2003, La gestione dell'irrigazione e della concimazione nelle colture florovivaistiche. *L'Informatore Agrario* 21, 45–52 pp.
- Matsuzoe, N., Zushi, K. and Johjima, T.**, 1998, Effect of soil water deficit on coloring and carotene formation in fruits of red, pink and yellow type cherry tomatoes. *J Jpn Soc Hortic Sci*, Vol. 67, No. 4, pp. 600–606, ISSN: 0013-7626.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Meriç, M.K.**, 2006, Sera Topraksız Domates Yetiştiriciliğinde Su kullanım Etkinliği Yönünden Sulama Programlarının ve Bitki Yetiştirme Sistemlerinin Karşılaştırılması. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Bornova – İzmir
- Michel, J.C.**, 2010, International Mire Conservation Group and Int. Peat Society, Mires and Peat, Volume 6 (2010), Article 02, 1-6 pp.
- Montero, J.I., Anto'n, A., Mun'oz, P. and Lorenzo, P.**, 2001, Transpiration from geranium grown under high temperatures and low humidities in greenhouses. Agric. For. Meteorol. 107, 323–332.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L.**, 2007, Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, Transactions of the ASABE, 50 (3), 885–900 pp.
- Motulsky, H. and Christopoulos, A.**, 2003, Fitting model to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. GraphPad Software Inc., San Diego, CA.
- Muñoz-Carpena, R.**, 2004, Field devices for monitoring soil water content. Florida Coop. Ext. Serv. Bull., 343, 1-17 pp.
- Nakano, K., Aida, T. and Motonaga, Y.**, 2009, A Study on Development of Intelligent Irrigation Systems For Melon Cultivation In Greenhouse.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V.**, 1970, River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10 (3), 282–290 pp.
- Niu, G., Rodriguez, D.S., Cabrera, R., McKenney, C. and Mackay, W.**, 2006, Determining water use and crop coefficients of five woody landscape plants; Journal of Environmental Horticulture, Vol.24, No.3, 160-165 pp.
- Okkan U.**, 2009, Aylık yağış ve sıcaklık değişimlerinin izmir içmesuyu havzalarının akımlarına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, DEU, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Orgaz, F., Fernandez, M.D. , Bonachela, S., Gallardo, M. and Fereres, E.**, 2005, Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse, Agricultural Water Man., Vol.72, 81–96 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Öztekin, G.B. ve Meriç, M.K.,** 2007, Çevre Dostu Topraksız Tarım Uygulamaları: Kapalı Sistemler. 4. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu. 14 – 16 Mayıs, 2007. Bergama – İzmir.
- Öztemel, E.,** 2003, Yapay Sinir Ağları, Birinci Baskı, İstanbul. Papatya Yayıncılık
- Pardossi, A., Tognoni, F. and Incrocci, L.,** 2004, Mediterranean greenhouse technology, *Chronica Horticulturae*, 44(2): 28 – 34 pp.
- Pardossi A., Malorgio F., Incrocci L. and Tognoni F.,** 2006, In: ‘Crops: Quality, Growth and Biotechnology’. Ramdane Dris (Ed.) WFL Publisher, Meri-Rastilan tie 3 C, 00980 Helsinki, Finland.
- Pardossi, A., Incrocci, L., Incrocci, G., Malorgio, F., Battista, P., Bacci, L., Rapi, B., Marzioletti, P., Hemming, J., and Balendonck, J.,** 2009, Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors* 9, 2809–2835 pp.
- Pardossi, A. and Incrocci, L.,** 2011, Traditional and new approaches to irrigation scheduling in vegetable crops. *HortTechnology* 21, 309–313.
- Partal, T.,** 2009, Modelling evapotranspiration using discrete wavelet transform and neural networks, *Hydrol. Process.* 23, 3545–3555
- Perelli, M. and Pimpini, F.** 2004, Il nuovo manuale di concimazione (2nd ed.). Arvan, Mira. 458 pp.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A. and Bar-Tal, A.,** 2002, Substrates and their analysis. In: Savvas D, Passam H (eds) *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 25–102
- Rivière, L.M., Foucard, J.C. and Lemaire, F.,** 1990, Irrigation of container crops according to the substrate. *Scientia Horticulturae*, 43, 339–349 pp.
- Roh, M.Y., Lee, Y.B., Tozai, K., Kubota, C., Fujiwara, K., Ibaraki, Y. and Sase, S.,** 1997, Control of amount and frequency of irrigation according to integrated solar radiation in cucumber substrate culture, *Acta Horticulturae*, 440: 332 – 337 pp.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J.,** 1986, Learning representations by backpropagation errors, *Nature*, 323, 533-536 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Samani, Z.**, 2004, Discussion of History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. J. Irrig. Drain. Eng., 130(5), 447–448 pp.
- Savic, S., Stikic, R., Jovanovic, Z., Vucelic-Radovic, B.V., Stanojevic, S. and Paukovic, M.**, 2008, Effects of different irrigation methods on yield, water use efficiency and fruit quality of tomato, Journal of Scientific Agricultural Research, 69:71-77 pp.
- Savvas, D. and Passam, H.**, 2002, Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications, Athens.
- Scuch, U.K. and Burger, D.G.**, 1997, Water use and crop coefficients of woody ornamentals in containers. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 122, 727–734 pp.
- Serbeş, Z.A.**, 2010, Örtüaltı Hıyar Yetiştiriciliğinde İklim Verilerinden Yararlanarak Bitki Su Tüketiminin Tahminlenmesine Yönelik Yeni Yaklaşımlar. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Bornova – İzmir, ss. 98.
- Sevgican, A.**, 2002, Örtüaltı sebzeçiliği (Topraksız Tarım) Cilt – II, E.Ü.Z.F. Yayınları, İzmir.
- Shelford, T.J., Lau, A.K., Ehret, D.L. and Chieng, S.T.**, 2004, Comparison of a new plant-based irrigation control method with light-based irrigation control for greenhouse tomato production, Canadian Biosystems Engineering
- Shiri, J. Nazemi, A.H., Sadraddini, A.A., Landeras, G., Kisi, O., Farda, A.F. and Marti P.**, 2014, Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran. J. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 108, 230–241 pp.
- Skapura, D. M.**, 1996, Building neural networks, Addison-Wesley, New York.
- Smith, M., Kivumbi D. and Heng, L.K.**, 2002, Use of The FAO Cropwat Model In Deficit Irrigation Studies
- Snyder R.L., Lanini, B.J., Shaw, D.A. and Pruitt, W.O.**, 1987, Using reference evapotranspiration (ET₀) and crops coefficients to estimate crop evapotranspiration (ET_c) for agronomic crops, grasses, and vegetable crops, University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, Leaflet 21427, 12 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Stanghellini, C.**, 1987, Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, the Netherlands, 150 p.
- Sudheer, K.P., Gosain, A.K. and Ramasastri, K.S.**, 2003, Estimating actual evapotranspiration from limited climatic data using neural computing technique J. Irrig. Drain. Eng., 129 (3), 214–218 pp.
- Sudheer, K.P., Gosain, A.K., Rangan, D.M. and Saheb, S.M.**, 2002, Modelling evaporation using artificial neural network algorithm, *Hydrol. Process.* 16, 3189–3202
- Szmidt, R.A.K., Hall, D.A. and Hitchon, G.M.**, 1988, Development of Perlite Culture Systems for the Production of Greenhouse Tomatoes. *Acta Hort.*, No: 221, 371-378.
- Tabari, H., Marofi, S. and Sabziparvar, A.A.**, 2009, Estimation of daily pan evaporation using artificial neural network and multivariate non-linear regression *Irrig. Sci.*, 28 (5), 399–406 pp.
- Tenti, P.**, 1996, Forecasting Foreign Exchange Rates Using Recurrent Neural Networks. *Applied Artificial Intelligence*, 10, 567-581 pp.
- Terzi, Ö.**, 2004, Eğridir Gölü'ne Ait Buharlaştırma Modellerinin Geliştirilmesi ve Uygulanması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 124s.
- Topp G.C. and Davis, J.L.**, 1980, Annan, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission Lines. *Water Resour. Res* 1980, 16, 574-582 pp.
- Trajkovic, S., Stankovic, M. and Todorovic, B.**, 2000, Estimation of FAO Blaney–Criddle b Factor by RBF Network J. Irrig. Drain. Eng., 126 (4) (2000), 268–271 pp.
- Trajkovic, S.**, 2009, Comparison of radial basis function networks and empirical equations for converting from pan evaporation to reference evapotranspiration, *Hydrol. Process.* 23, 874–880 pp.
- Trajkovic, S.**, 2010, Testing hourly reference evapotranspiration approaches using lysimeter measurements in a semiarid climate *Hydrol. Res.*, 41 (1) (2010), 38–49 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tunalı, U., Tüzel, İ.H., Tüzel, Y. and Öztekin, G.B.,** 2008, Effects of salinity on tomato in a closed system. *Acta Hort.*, 807:457-461 pp.
- Tunalı, U., Tüzel, İ.H. and Tüzel, Y.,** 2013, Calibration of ML2-ThetaProbe to Accurately Monitor Plant Root Zone Water Content in Perlite and Cocopeat. 1st CIGR Inter-Regional Conference on “Land and Water Challenges”, 10-14 September 2013, Bari, Italy, P:237.
- Tüzel, İ.H., Eltez, R.Z. ve Meriç, M.K.,** 1999a, Sera Topraksız Domates Yetiştiriciliği. Güneş Rad. Farklı Düzeyinde Yapılan Sulamaların Su Tük. ve Verime Etkileri, VII. Kültürteknik Kongresi, Kapadokya, s.132-142.
- Tüzel, İ.H., Tüzel, Y., Gül, A., Eltez, R.Z. ve Altunlu, H.,** 1999b, Torba Kültürü ile Yapılan Sera Domates Yetiştiriciliğinde Farklı Sulama programları ile Ortam ve Ortam Hacimlerinin Verim ve Su Tük. Üzerine Etki. Türkiye III. Ulusal B.B. Kongresi, Ankara, 364 – 368 ss.
- Tüzel, İ.H., Tüzel, Y., Gül, A., Meriç, M.K., Yavuz, Ö. and Eltez, R.Z.,** 2000, Comparison of open and closed systems on yield, water and nutrient consumption and their environmental impact, *Acta Horticulturae*, 554: 221 – 228 pp.
- Tüzel, İ.H. and Meriç, M.K.,** 2001, Evapotranspiration of Tomato Plants Grown in Different Soilless Culture System. *Acta Horticulturae*, No, 559(2):555-562.
- Tüzel, Y., Eltez, R.Z., Tüzel, İ.H., Akat, O. and Gül, A.,** 2002a, Comparison of open and closed systems on yield and quality of greenhouse grown tomatoes. *Acta Hort. (ISHS)* 579:585-590
- Tüzel, İ.H., Tüzel, Y., Gül, A., İrget, E., Meriç, M.K., Eltez, R.Z. ve Kukul, Y.S.,** 2002b, Sera Topraksız Domates Yetiştiriciliğinde Farklı Sulama Programlarının Verim, Kalite, Su ve Bitki Besin Maddesi Kullanımına Etkileri. TÜBİTAK Projesi, 1999 -2001, Proje No: TARP 2357
- Tüzel, İ.H., Tüzel, Y., Öztekin, G.B., Meriç, M.K., Whalley, R. and Lock, G.,** 2009, Response of Cucumber to Deficit Irrigation. *Acta Hort.* 807:259-264.
- Uronen, K.R.,** 1995, Leaching of nutrients and yield of tomato in peat and rockwool with open and closed systems. *Acta Hort.* 401: 443-449 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- van Iersel, M.W., Dove, S. and Burnett, S.E.,** 2011, The use of soil moisture probes for improved uniformity and irrigation control in greenhouses. *Acta Hortic.* 89, 1049–1056 pp.
- van Kooten, O., Heuvelink, E. and Stanghellini, C.,** 2008, New development in greenhouse technology can mitigate the water shortage problem of the 21st century. *Acta Hort.* Vol.767, 45-52 pp.
- Van Os, E.A.,** 1999, Closed soilless growing systems: A sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Water Sci. Tech.* No.5: 105-111.
- Varış, S.,** 1991, Sera Sebzelerinin Perlit Doldurulmuş Topraklarda Topraksız Yetiştirilmeleri. *Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları* 128, Derleme No 10., 15 s.
- Vox, G., Teitel, M., Pardossi, A., Minuto, A., Tinivella, F., and Schettini, E.,** 2010,. Sustainable greenhouse systems. *Agriculture: Technology, Planning and Management*, Nova Sci Publishers, New York, 1-79 pp.
- Walter, I.A., Allen, R.G., Elliott, R., Itenfisu, D., Brown, P., Jensen, M.E., Meham, B., Howell, T.A., Snyder, R.L., Eching, S., Spofford, T., Hattendorf, M., Martin, D., Cuenca, R.H. and Wright, J.L.,** 2002, The ASCE standardized reference evapotranspiration equation, Report Task Com. on Standardized Reference Evapotranspiration July 9, 2002, EWRI-Am. Soc. Civil.Engr., Reston, VA, USA.
- Wang, F., Kang, S., Du, T., Li, F. and Qiu, R.,** 2011, Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments, *Agricultural Water Management*, 98:1228-1248 pp.
- Warner, Misra, B., Misra, M.,** 1996, Understanding Neural Networks as Statistical Tools. *The American Statistician*, 50 (4), 284-293 pp.
- Winsor, G.W., Schwarz, M.,** 1990, Soilless Culture for Horticulture Crop Production. *FAO Plant Production and Protection Paper*, No. 101, Rome, 188 p.
- Yavuz S. ve Deveci, M.,** 2012, İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Y.Sinir Ağı Performansına Etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı: 40, Haziran-Aralık ss. 167-187

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zanetti, S.S., Sousa, E.F., Oliveira, V.P.S., Almeida, F.T. and Bernardo, S.,** 2007, Estimating evapotranspiration using artificial neural network and minimum climatological data J. Irrig. Drain. Eng., 133 (2) (2007), 83–89 pp.
- Zhao, C., Zhang, Y., Wang, C., Qiao, X., Hao, R. and Yang, Y.,** 2008, IFIP International Federation for Information Processing, Volume 259; Computer and Computing Technologies in Agriculture, Vol. 2; Daoliang Li; (Boston: Springer), pp. 1047–1054.
- Zushi, K. and Matsuzoe, N.,** 1998, Effect of soil water deficit vitamin C, sugar, organic acid, amino acid and carotene contents of large-fruited tomatoes, Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 67: 927–933 pp.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Çorlu’da doğdu. İlköğrenimini 60.Yıl İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini Özel Tekirdağ Lisesi ve Özel Trakya Kolejinde tamamladı. 2000 yılında başladığı Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Teknolojisi Programının Tarımsal Yapılar ve Sulama opsiyonunu 2005 yılında bitirdi. Aynı yıl Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini 2008 yılında tamamlayarak yine aynı yıl içinde Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı’nda doktora öğrenimine başladı. 2009-2015 yılları arasında Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştıktan sonra özel sektörde çalışmaya başladı.

