

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANA BİLİM DALI



**FARKLI SU KISITI KOŞULLARINDA YÜZEYALTI DAMLA
SULAMA İLE SULANAN SUSAMIN VERİM VE KALİTE
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE UYGUN LATERAL
DERİNLİĞİNİN HYDRUS MODELİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doktora Tezi

Filiz AKIN

Danışman

Prof. Dr. Bilal CEMEK

Tez Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü tarafından
TAGEM/TSKAD/A/19/A9/P3/1068 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Filiz AKIN tarafından, **Prof. Dr. Bilal CEMEK** danışmanlığında hazırlanan “**Farklı Su Kısıtı Koşullarında Yüzeyaltı Damla Sulama ile Sulanan Susamın Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi ve Uygun Lateral Derinliğinin HYDRUS Modeli ile Değerlendirilmesi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 20.12.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan (Danışman)	Prof. Dr. Bilal CEMEK		☒
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı		Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL		☒
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı		Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA		☒
	Erciyes Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı		Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Sema KALE ÇELİK		☒
	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı		Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM		☒
	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı		Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza

20 / 12 / 2021

Filiz AKIN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Farklı Su Kısıtı Koşullarında Yüzeyaltı Damla Sulama ile Sulanan Susamın Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi ve Uygun Lateral Derinliğinin HYDRUS Modeli ile Değerlendirilmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 18.06.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 7

Tek kaynak oranı : % 5 çıkmıştır.

İmza

20 / 12 / 2021

Prof. Dr. Bilal CEMEK

ÖZET

FARKLI SU KISITI KOŞULLARINDA YÜZEYALTI DAMLA SULAMA İLE SULANAN SUSAMIN VERİM VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE UYGUN LATERAL DERİNLİĞİNİN HYDRUS MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Filiz AKIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

Doktora, Aralık/2021

Danışman: Prof. Dr. Bilal CEMEK

Yüzeyaltı damla (YAD) sulamanın uygun bir şekilde yönetilmesi, drenaj ve buharlaşma yoluyla su kayıplarını azaltırken, uygun damla sulama lateral derinliği ise su kullanım üretkenliğini arttıran önemli bir tasarım faktörüdür. Toprak bünyesi, toprak su dinamiklerini ve dolayısıyla optimum damla sulama lateral derinliğini ve sulama aralığını etkilemektedir. Toprak su bütçesi bileşenlerinin arazi koşullarında belirlenmesi zor olduğu için, HYDRUS-2D\3D gibi toprak su modelleri bu amaçla kullanılabilir. Bu çalışmada, farklı lateral derinliklerinde (20, 30 ve 40 cm) kurulan YAD sulama ile uygulanan farklı sulama konularında (%100, %70, %40 ve 0) susam denemesi Antalya koşullarında killi tın-tın toprakta 2019 ve 2020 yıllarında yürütülmüştür. HYDRUS-2D\3D modeli ile toprak nem dağılımını nasıl etkilediği değerlendirilmiş, optimum damla sulama laterali konumunu belirlemek için oluşturulan farklı montaj derinliğini değiştirilerek elde edilen farklı senaryoların sonuçları su kullanım verimliliği (WUE) açısından karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma, farklı lateral derinliklerinde (20, 30 ve 40 cm) kurulan YAD sulama ile uygulanan farklı sulama konularında (%100, %70, %40 ve 0) susam denemesi Antalya koşullarında killi tın-tın toprakta 2019 ve 2020 yıllarında yürütülmüştür. HYDRUS-2D\3D modeli ile toprak nem dağılımını nasıl etkilediği değerlendirilmiş, optimum damla sulama laterali konumunu belirlemek için oluşturulan farklı montaj derinliğini değiştirilerek elde edilen farklı senaryoların sonuçları su kullanım verimliliği (WUE) açısından karşılaştırılmıştır.

Sonuçlara göre, artan damla sulama lateral derinliği arttıkça buharlaşma azalırken, WUE değerlerinin artma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. 40 cm'den daha derine lateral döşenmesi, WUE'nin azalmasıyla birlikte derine sızma kayıplarıyla daha fazla su kaybına neden olmuştur. Elde edilen bulgular, uygun yönetimle 40 cm derinlikte YAD'nin, kısıtlı su ile daha yüksek verimlilik oranlarına ulaşabileceğini göstermiştir. Ayrıca çalışmada yetiştirme mevsimi boyunca ölçülen ve simüle edilmiş toprak su içeriği değerlerinin karşılaştırması istatistiksel olarak sunulmuştur. 2020 yılı için doğrulama testleri, genel olarak model performansını doğrulamaktadır; belirleme katsayısı (R^2) ≥ 0.72 , tahmin hatasının standart sapması (RMSE) 0.014-0.025, ortalama mutlak hata (MAE) -0.008-0.008 değerleri ile sonuçlanmıştır. 40 cm için hacimsel toprak su içeriğinde, istatistiksel olarak 20 ve 30 cm'ye göre daha fazla anlamlı artışlar sağlamıştır. Ayrıca çalışmada, HYDRUS-2D\3D ile oluşturulan simülasyonlar, YAD'yi verimli bir şekilde yönetmek için damlatıcıların uygun konumunu belirlemede yardımcı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: HYDRUS-2D\3D, yüzeyaltı damla sulama, susam, optimum lateral derinliği, su üretkenliği, evaporasyon.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFICIENCY AND QUALITY CHARACTERISTICS OF SESAME WITH SUBSURFACE DRIP IRRIGATION IN DIFFERENT WATER CONSTRUCTION CONDITIONS AND EVALUATION OF THE SUITABLE LATERAL DEPTH WITH THE HYDRUS MODEL

Filiz AKIN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Agricultural Structures and Irrigation

Ph.D., December/2021

Supervisor: Prof. Dr. Bilal CEMEK

Proper management of subsurface drip irrigation (SDI) and choosing dripline depth to increase water use productivity while reducing water losses through drainage and evaporation is an important design problem. Soil texture affects soil water dynamics and thus optimum drip pipe depth and irrigation interval. Since soil water budget components are difficult to determine in field conditions, soil water models such as HYDRUS-2D\3D can be used for this purpose.

In the study, it was evaluated how different irrigation rates (100%, 70%, 40% and 0%) applied with SDI irrigation established at different lateral depths (20, 30 and 40 cm) affect the soil moisture distribution formed in the clayey-clay loamy soil. In addition, the results of different scenarios obtained by changing the different installation depth created to determine the optimum drip pipe position were compared in terms of water use efficiency (WUE).

According to the results, it was determined that the WUE values tended to increase while the soil evaporation decreased with increasing drip pipe depth. A drip tube depth installation greater than 40 cm results in greater water loss with deeper penetration losses as WUE is reduced. The findings show that, with proper management, 40 cm deep SDI can reach higher efficiency rates with limited water. In addition, the comparison of the measured and simulated soil water content values during the growing season was presented statistically. Accuracy tests for 2020 confirm model performance overall; It resulted in values of $R^2 \geq 0.72$, RMSE 0.014-0.025, ME -0.008-0.008. It provided statistically more significant increases in volumetric soil water content for 40 cm compared to 20 and 30 cm. The model was able to predict soil moisture contents in the root zone, where Mean Error Squares values are usually less than 5%. In addition, simulations created with HYDRUS-2D\3D were found to be helpful in determining the appropriate position of the drippers to manage the SDI efficiently.

Keywords: HYDRUS-2D\3D, subsurface drip irrigation, sesame, optimum lateral depth, water productivity, evaporation.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktoram konusunda beni her zaman teşvik eden, araştırmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve değerli önerileri ile beni yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Bilal CEMEK'e içtenlikle teşekkür ederim. Tez metodolojisine katkılarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL ve sayın hocam Doç. Dr. Mustafa SAĞLAM'a çok teşekkür ederim.

Çalışmanın yürütülmesi için gerekli alt yapının sağlanmasında ve araştırmanın yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürü sayın Dr. Abdullah ÜNLÜ, İdari Müdür Yardımcısı Doç. Dr. Cengiz ERDURMUŞ, Teknik Müdür Yardımcıları Ali ÖZTOP ve Mustafa SOYSAL'a içtenlikle şükranlarımı sunarım.

Araştırmanın yürütülmesi aşamasında ilgi, destek, yardım ve tecrübelerini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Köksal AYDINŞAKİR, sayın Nazmi DİNÇ ve sayın Dr. Ömer ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında gerekli alet ekipman ve işçi desteğini esirgemeyen sayın Tarla Bitkileri Bölüm Başkanı Mehmet KOCATÜRK'e teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen, değerli araştırmacılar Dr. Fatih Alpay VURAN ve Orçun ÇINAR'a emeklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim değerli AİLEM'e manevi desteklerinden dolayı içtenlikle teşekkür ederim.

Filiz AKIN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ	xv
EKLER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1. Yüzeyüstü ve Yüzeyaltı Damla Sulama Yöntemleri ile İlgili Literatür Özetleri .	5
2.2. HYDRUS Yazılımı ile İlgili Literatür Özetleri	9
2.3. Türkiye’de HYDRUS Yazılımı ile ilgili Yapılan Çalışmalar	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Materyal.....	17
3.1.1. Araştırma Yeri ve Coğrafi Konumu.....	17
3.1.2. Araştırma Yerinin İklim Özellikleri.....	17
3.1.3. Araştırma Yeri Toprak Özellikleri.....	18
3.1.4. Sulama Suyu Özellikleri.....	18
3.1.5. Denemede Kullanılan Bitki Materyali Özellikleri	19
3.1.6. Araştırmada Kullanılan Sulama Sisteminin Özellikleri	20
3.1.7. Araştırmada Kullanılan Cihazlar ve Özellikleri	20
3.1.7.1. Termal kamera (İnfrared termometre) cihazı	20
3.1.7.2. Nötronmetre cihazı	21
3.1.7.3. Net radyometre cihazı	21
3.2. Yöntem	21
3.2.1. Tarla Deneme Tekniği ve Deneme Konuları.....	21
3.2.2. Araştırmanın Yürütülmesinde İzlenen Tarımsal İşlemler	23
3.2.3. Araştırmada Gerekli Verilerin Ölçüm ve Temin Yöntemleri.....	27
3.2.3.1. Toprak su içeriği ölçümü	27
3.2.3.2. Örtü ve yüzey sıcaklığı ölçümü	28
3.2.3.3. Net radyasyon ölçümü	29
3.2.4. Araştırma Kapsamında Yapılan Hesaplamalar.....	29

3.2.4.1. Sulama suyunun hesaplanması	29
3.2.4.2. Referans bitki su tüketiminin hesaplanması.....	30
3.2.4.3. Toprak su bütçesine göre bitki su tüketiminin hesaplanması.....	30
3.2.4.4. Evaporasyonun (E) hesaplanması.....	30
3.2.4.5. Transpirasyonun (T_r) hesaplanması	31
3.2.4.6. Buhar basıncı açığının (VPD) hesaplanması.....	31
3.2.4.7. Bitki su stres indeksinin (CWSI) hesaplanması	31
3.2.4.8. Su verim ilişkilerinin hesaplanması.....	32
3.2.4.9. Su kullanım üretkenliğinin hesaplanması	32
3.2.4.10. Yaprak alan indeksinin (YAI) hesaplanması.....	33
3.2.5. HYDRUS-2D\3D Yazılımı ile Sayısal Modelleme	33
3.2.5.1. HYDRUS-2D\3D modelinin kalibrasyonu	33
3.2.5.2. Su akış denkleminin girdileri	33
3.2.5.3. Başlangıç ve sınır koşullarına ait girdiler.....	35
3.2.5.4. Toprak fiziksel özelliklerine ait girdiler.....	36
3.2.5.5. Kök dağılımı ve kök su alımı girdileri.....	37
3.2.5.1. HYDRUS-2D\3D Yazılımı ile Yapılan Sayısal Modellemenin İstatistiksel Değerlendirilmesi	42
3.2.6. Tohumda Yapılan Kalite Analiz ve Yöntemleri	42
3.2.6.1. Yağ oranının hesaplanması	42
3.2.6.2. Yağ asidi kompozisyonunun hesaplanması.....	43
3.2.7. Bitki ve Tohumda Yapılan Analiz ve Yöntemleri	43
3.2.7.1. Bitki boyu (cm).....	43
3.2.7.2. Bitki başına verim (kg bitki^{-1})	43
3.2.7.3. Verim (kg da^{-1})	44
3.2.8. Arazi Denemesinin İstatistiksel Değerlendirilmesi.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Arazi Çalışmalarına İlişkin Bulgular	45
4.1.1. Referans bitki su tüketimi bulguları.....	45
4.1.2. Toprak su bütçesi ve bitki su tüketimi bulguları.....	46
4.1.1. Örtü yüzdesi bulguları.....	55
4.1.2. Yaprak alan indeksi bulguları	57
4.1.3. Evaporasyon ve transpirasyon bulguları	60
4.1.4. Buhar basıncı açığı bulguları	64
4.1.5. Bitki su stres indeksi bulguları.....	64
4.1.6. Su verim ilişkisi bulguları	68

4.1.7. Su üretkenliği ve sulama suyu kullanım üretkenliği bulguları	70
4.1.8. Bitki boyuna ilişkin bulgular	71
4.1.9. Bitki verimine ilişkin bulgular	75
4.1.10. Bitki başına verime ilişkin bulgular	77
4.1.11. Kaliteye ilişkin bulgular	79
4.1.11.1. Yağ miktarı.....	79
4.1.11.2. Yağ asitleri	81
4.2. Model çalışmalarına ilişkin bulgular	88
4.2.1. Toprak su içeriği simülasyon bulguları	88
4.2.2. Sulama öncesi, sulama esnası ve sulama sonrası toprak nem dağılımına ilişkin bulgular	93
4.2.3. Gözlem noktalarında oluşan toprak nem değerlerine ilişkin bulgular	120
4.2.4. Tahmin Edilen ve Ölçülen Toprak-Su İçeriğinin İstatistik Bulguları	127
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	128
KAYNAKLAR	131
EKLER	140
ÖZ GEÇMİŞ	142

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde
Ca	Kalsiyum
CaCO ₃	Kireç
Cl	Klor
cm	Santimetre
cm h ⁻¹	Santimetre/Saat
cm ³	Santimetreküp
CO ₃	Karbonat
CWSI	Bitki Su Stres İndeksi
DP	Derine Sızma
dS m ⁻¹	DesiSiemens/Metre
E	Evaporasyon
ea	Gerçek Buhar Basıncı
EC	Elektriksel İletkenlik
es	Doygun Buhar Basıncı
ESGG	Ekimden Sonra Geçen Gün Sayısı
ETc	Gerçek Bitki Su Tüketimi
ETo	Referans Bitki Su Tüketimi
FDR	Elektromanyetik Yansıma Frekansı
g cm ⁻³	Gram/Santimetreküp
g g ⁻¹	Gram/Gram
yt	Birim Hacim Ağırlığı
h	Basınç Yüksekliği
HCO ₃	Bikarbonat
I	Sulama Suyu
IWUE	Sulama Suyu Kullanım Üretkenliği
K	Potasyum
k	Güneş Radyasyonu için Katsayı
K	Hidrolik İletkenlik
kc	Bitki Katsayısı
kg bitki ⁻¹	Kilogram/Bitki
kg da ⁻¹	Kilogram/Dekar
kg ha ⁻¹	Kilogram/Hektar
KO	Kareler Ortalaması
kPa	Kilopascal
Ks	Hidrolik İletkenlik
KT	Kareler Toplamı
ky	Su Verim Etmeni
L h ⁻¹	Litre/Saat
LL	Alt Baz Hattı
m	Metre
m ⁻¹	1/Metre
m ² m ⁻²	Metrekare/Metrekare
m ³	Metreküp
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MBE	Ortalama Mutlak Sapma Hatası
ME	Model Etkinliği
Mg	Magnezyum

MJ/m ² gün ¹	Megajoull/Metrekare Gün
mm	Milimetre
mm ay ⁻¹	Milimetre/Ay
Na	Sodyum
nm	Nanometre
°C	Santigrat Derece
ÖD	Önemlilik Derecesi
Pc	Örtü Yüzdesi
PE	Polietilen
pH	Toprak Reaksiyonu
r*	Maksimum Kök Yoğunluğunun Olduğu Dikey Uzunluk
R ²	Belirleme Katsayısı
RH	Nispi Nem
rmax	Yatay Yönde Maksimum Kök Uzunluğu
RMSE	Tahmin Hatasının Standart Sapması
Rn	Net Radyasyon
RO	Yüzey Akış
Rs	Solar Radyasyon
Ry (%30)	Elverişli Nemin %40 Düzeyi
S	Kökler ile Su Alımı
SD	Serbestlik Derecesi
SN	Solma Noktası
SO ₄	Sülfat
T	Hava Sıcaklığı
Tr	Transpirasyon
Ta	Hava Sıcaklığı
Tc	Bitki Örtü Sıcaklığı
TK	Tarla Kapasitesi
TSİ	Toprak Su İçeriği
u ₂	Rüzgâr Hızı
UL	Üst Baz Hattı
VPD	Buhar Basıncı Açığı
WUE	Su Kullanım Üretkenliği
Ya	Gerçek Verim
YAI	Yaprak Alan İndeks
YLD	Verim
Ym	Maksimum Verim
z*	Maksimum Kök Yoğunluğunun Olduğu Yatay Uzunluk
zmax	Dikey Yönde Maksimum Kök Uzunluğu
α	Gardner düzeltme katsayısı
ΔS	Etkili Kök Bölgesindeki Toprak Suyu Değişim
θ _r	Hacimsel Kalıcı Su İçeriği
θ _s	Doygun Su İçeriği
μm	Mikronmetre
TSİ	Toprak Su İçeriği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.Çalışma alanının yeri ve konumu.....	17
Şekil 3.2.Muganlı 57 susam bitkisi (a), kapsülü (b) ve tohumu (c).....	19
Şekil 3.3. Deneme alanına yüzeyaltı damla sulama sisteminin kurulumu	20
Şekil 3.4. Deneme deseni planı	22
Şekil 3.5. Bir parselin hasat alanı ve boyutları	23
Şekil 3.6. Deneme parsellerinde nötron tüplerinin konumu.....	28
Şekil 3.7. Deneme parsellerinde nötron tüplerinin konumu.....	28
Şekil 3.8. HYDRUS-2D\3D simülasyonları için kullanılan sınır koşulları	34
Şekil 3.9. Simülasyonu yapılan toprak profiline ait mesafe değerleri	36
Şekil 3.10. HYDRUS-2D\3D yazılımı için kullanılan normalleştirilmiş kök dağılımı	40
Şekil 3.11. Arazi ve modelleme aşamasında iş akış şeması.....	41
Şekil 4.1. Deneme yıllarına ait aylık referans bitki su tüketimideğerlerine ait grafikler	46
Şekil 4.2. 20 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2019 yılındaki toprak su içeriği grafikleri.....	49
Şekil 4.3. 30 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2019 yılındaki toprak su içeriği grafikleri.....	50
Şekil 4.4. 40 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2019 yılındaki toprak su içeriği grafikleri.....	51
Şekil 4.5. 20 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2020 yılındaki toprak su içeriği grafikleri.....	52
Şekil 4.6. 30 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2020 yılındaki toprak su içeriği grafikleri.....	53
Şekil 4.7. 40 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2020 yılındaki toprak su içeriği grafikleri.....	54
Şekil 4.8. Lateral derinliklerine göre konuların örtü yüzdesi değişim grafikleri	56
Şekil 4.9. Deneme konularına ait yaprak alan indeks değerlerinin grafikleri	59
Şekil 4.10. Deneme 2019 yılı konularına ait evaporasyon ve transpirasyon grafikleri	62
Şekil 4.11. Denemede 2020 yılı konularına ait evaporasyon ve transpirasyon grafikleri.....	63
Şekil 4.12. Susam gelişim periyodu boyunca buhar basıncı açığı (VPD) değişimi ...	64
Şekil 4.13. Susam gelişim dönemi içerisinde hava sıcaklığı (T_a) ve buhar basıncı açığı (VPD) değişimi	65
Şekil 4.14. Susam gelişim dönemi boyunca T_c - T_a değişimi	66

Şekil 4.15. Susam için, bitki su stres indeksi (CWSI) temel grafiği	66
Şekil 4.16. Susam bitkisinin; 2019 ve 2020 yıllarına ait su verim ilişkisi grafikleri..	68
Şekil 4.17. Susam bitkisine ait ortalama su verim ilişkisi grafiği	69
Şekil 4.18. Farklı lateral derinliklerinde sulama suyu miktarının bitki boyu ilişkisi (2019 yılı)	73
Şekil 4.19. Farklı lateral derinliklerinde sulama suyu miktarının bitki boyu ilişkisi (2020 yılı)	74
Şekil 4.20. Deneme S ₁ konusuna ait kapsüller içerisinde çimlenen tohumlar	76
Şekil 4.21. 20 cm lateral derinliğindeki deneme konularına ait ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği grafikleri (2020 yılı)	90
Şekil 4.22. 30 cm lateral derinliğindeki deneme konularına ait ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği grafikleri (2020 yılı)	91
Şekil 4.23. 40 cm lateral derinliğindeki deneme konularına ait ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği grafikleri (2020 yılı)	92
Şekil 4.24. Toprak nem dağılımının incelendiği profiller	93
Şekil 4.25. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S ₁ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları .	94
Şekil 4.26. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S ₁ konusunda yapılan sulamdan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	95
Şekil 4.27. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S ₁ konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	96
Şekil 4.28. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S ₁ konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	97
Şekil 4.29. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S ₂ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları .	97
Şekil 4.30. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S ₃ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları .	98
Şekil 4.31. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S ₄ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları .	99
Şekil 4.32. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S ₁ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları	100
Şekil 4.33. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S ₁ konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları.....	101
Şekil 4.34. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S ₁ konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	101
Şekil 4.35. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S ₁ konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	102

Şekil 4.36. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları	103
Şekil 4.37. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları.....	104
Şekil 4.38. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	105
Şekil 4.39. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	105
Şekil 4.40. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları	106
Şekil 4.41. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	107
Şekil 4.42. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	108
Şekil 4.43. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	108
Şekil 4.44. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_4 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları	109
Şekil 4.45. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları	110
Şekil 4.46. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları.....	111
Şekil 4.47. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	112
Şekil 4.48. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	113
Şekil 4.49. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları	113
Şekil 4.50. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları.....	114
Şekil 4.51. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	115
Şekil 4.52. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	115

Şekil 4.53. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları	116
Şekil 4.54. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları.....	117
Şekil 4.55. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	118
Şekil 4.56. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları	118
Şekil 4.57. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_4 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları	119
Şekil 4.58. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	121
Şekil 4.59. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	121
Şekil 4.60. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	122
Şekil 4.61. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	123
Şekil 4.62. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	123
Şekil 4.63. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	124
Şekil 4.64. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	125
Şekil 4.65. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	125
Şekil 4.66. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri	126

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Bazı bitkilerde lateral derinlik ve aralıkları.....	6
Tablo 3.1. Aksu ilçesi uzun yıllar ortalama iklim değerleri(2009-2019) (boztepe tarım işletme müdürlüğü. 2019)	18
Tablo 3.2. Araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri	18
Tablo 3.3. Araştırmada kullanılan sulama suyunun bazı kimyasal özellikleri.....	19
Tablo 3.4. Araştırma konuları ve açıklamaları	22
Tablo 3.5. Araştırmada uygulanan tarımsal işlemler ve uygulama tarihleri	24
Tablo 3.6. Prob konumlarında ölçülen başlangıç toprak nem değerleri	36
Tablo 3.7. HYDRUS-2D\3D programında kullanılan toprak parametre değerleri	37
Tablo 3.8. Modelde kullanılan kök parametre değerleri.....	39
Tablo 3.9. Modelde kullanılan kök parametre değerleri.....	40
Tablo 4.1. Deneme sezonu boyunca aylık referans bitki su tüketimi (ET_o , mm ay ⁻¹) değerleri.....	45
Tablo 4.2. Deneme konularına göre hasat tarihleri.....	47
Tablo 4.3. Deneme konularına göre sulama yağış ve bitki su tüketimi bulguları	48
Tablo 4.4. Denemede konulu sulama başlangıç, bitiş tarihleri ve sulama sayıları.....	48
Tablo 4.5. Denemede yaprak örnekleme tarihleri	57
Tablo 4.6. Deneme konularına ait su kullanım üretkenliği ve sulama suyu kullanım üretkenliği değerleri.....	71
Tablo 4.7. Deneme konularına göre her bir tekerrürde susam verim değerleri.....	75
Tablo 4.8. Deneme konularına ait verim varyans analiz tablosu	76
Tablo 4.9. Sulama düzeylerinin verime ilişkin duncan gruplandırması	77
Tablo 4.10. Lateral derinliklerinin verime ilişkin duncan gruplandırması	77
Tablo 4.11. Lateral derinliğixsulama düzeyi konusu interaksiyonunun verime ilişkin duncan gruplandırması.....	77
Tablo 4.12. Deneme konularının yıllara göre her bir tekerrürde gerçekleşen bitki başına verim değerleri.....	78
Tablo 4.13. Deneme konularına ait bitki başına verim varyans analiz tablosu.....	78
Tablo 4.14. Farklı lateral derinlikleri ve sulama konularının bitki başına verime ilişkin duncan gruplandırması	79
Tablo 4.15. Deneme konularına göre her bir tekerrürdeki tohum yağ oranları.....	80
Tablo 4.16. Deneme konularına ait tohum yağ içeriğinin varyans analiz tablosu.....	80
Tablo 4.17. Farklı lateral derinliklerinin susam tohum yağ içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	81
Tablo 4.18. Lateral derinliğixsulama düzeyi konusu interaksiyonuna ilişkin duncan gruplandırması	81

Tablo 4.19. Deneme konularına göre kalite özelliklerine ait analiz sonuçları	82
Tablo 4.20. Deneme konularına ait tohum palmitik asit içeriğinin varyans analiz tablosu	83
Tablo 4.21. Sulama düzeylerinin tohum palmitik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	83
Tablo 4.22. Lateral derinliklerinin tohum palmitik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	83
Tablo 4.23. Lateral derinliğixsulama düzeyi konusu interaksiyonunun tohum palmitik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	83
Tablo 4.24. Deneme konularına ait tohum stearik asit içeriğinin varyans analiz tablosu	84
Tablo 4.25. Sulama düzeylerinin tohum stearik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	84
Tablo 4.26. Lateral derinliklerinin tohum stearik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	85
Tablo 4.27. Lateral derinliğixsulama düzeyi konusu interaksiyonunun tohum stearik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	85
Tablo 4.28. Deneme konularına ait tohum oleik asit içeriğinin varyans analiz tablosu	85
Tablo 4.29. Sulama düzeylerinin tohum oleik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	86
Tablo 4.30. Lateral derinliklerinin tohum oleik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	86
Tablo 4.31. Lateral derinliğixsulama düzeyi konusu interaksiyonunun tohum oleik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	86
Tablo 4.32. Deneme konularına ait tohum linoleik asit içeriğinin varyans analiz tablosu	87
Tablo 4.33. Sulama düzeylerinin tohum linoleik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	87
Tablo 4.34. Lateral derinliklerinin tohum linoleik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	87
Tablo 4.35. Lateral derinliğixsulama düzeyi konusu interaksiyonunun tohum linoleik asit içeriğine ilişkin duncan gruplandırması	87
Tablo 4.36. Deneme konularına göre ölçülen ve simüle edilen toprak nem değerlerinin karşılaştırılması	127

EKLER DİZİNİ

Ek 1. Deneme konularına göre bitki su tüketimi değerleri (2019 yılı)	140
Ek 2. Deneme konularına göre bitki su tüketimi değerleri (2020 yılı)	141



1. GİRİŞ

Mevcut su kaynakları ile daha geniş alanların sulanabilmesi için; toprak, bitki, su kaynağı, ekonomi vb. faktörlerin göz önüne alınması gerekmektedir. Bunun yanında, bitki büyüme mevsimi boyunca, topraktaki nem eksikliğine duyarlı dönemlerde bitki su ihtiyacının tam olarak karşılanması, topraktaki nem eksikliğine bağlı olarak bitki gelişiminin önemli düzeyde etkilenmediği dönemlerde ise sulama yapılmayarak ya da kısıtlı su uygulayarak sulama suyundan tasarruf sağlanabilir ve mevcut su kaynağı ile daha geniş alan sulanabilir. Ancak bunun için yeterli ve kısıtlı su koşullarında bitki su tüketimi ile verim değerlerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Değerlenen veriler her bir bitki cinsi için çok sayıda araştırma yapılarak sağlanabilir.

Son zamanlarda dünyada yaşanan kuraklıklar, tarımda sulama ve su yönetimine olan ilgiyi artırmaktadır. Daha az su kullanarak, toprak verimliliğini bozmadan daha fazla gıda üretmek için çaba harcanmaktadır. Gelişmiş ve en yeni sulama yöntemlerinden biri olan yüzeyaltı damla sulama (YAD) uygulamaları bu tarımsal sulamada fazla su kullanımına ilişkin problemin çözümünde fayda sağlayan verimli sulama teknolojisine bir örnek oluşturmaktadır.

Yüzeyaltı Damla (YAD) sulama, yaygın olarak bulunan küçük, düzensiz şekilli arazilerde kullanımı daha uyumlu olup bu durumlarda pivot ve diğer üstten sulama yöntemlerine göre rekabet avantajına sahiptir (Grabow, 2006: vd.; Bosch, 1998: vd.; O'Brien, 1998: vd.). Yüzeyaltı Damla (YAD) sulama, verim artmakta ve su uygulaması sırasında toprak yüzeyinin ıslanmaması ve buharlaşma kayıplarının azalması nedeniyle su kullanım üretkenliği artmaktadır. Ayrıca YAD sulamanın diğer sulama yöntemlerinden daha fazla veya eşit ürün verimi sağladığını ve çoğu durumda daha az sulama suyu kullanıldığı belirtilmiştir (Camp, 1998).

Camp (2003) ve Lamm (2002), YAD'da toprak yüzeyi kuru kalırken bitkinin kök bölgesine su, besin maddeleri verilmektedir. Camp (1998) ve Lamm (2002), toprağa gömülü YDA sistemlerinde, topraktan yüzeyinde oluşan buharlaşmanın olmaması su tasarrufu sağlarken, laterallerin ve damlatıcıların ömrünü uzatmaya yardımcı olduğunu da ileri sürmüşlerdir.

Yüzeyaltı damla (YAD) sulamanın faydaları üç alanda görülmektedir: i) su ve ii) toprak, iii) ürün ve kültürel işlemler ve sistem altyapısıdır (Lamm, 2002). Su ve toprakla ilgili avantajlar arasında daha tasarruflu su kullanımı, su kalitesi düşük suların tekrar tarımda kullanımı için geliştirilmiş fırsatlar ve su uygulama

homojenliği yer almaktadır (Lamm ve Camp, 2007; Lamm, 2002). Yüzeyaltı damla (YAD) sulama, suyu kök bölgesi içinde homojen bir şekilde dağıtarak topraktan gerçekleşecek buharlaşmayı, yüzey akışını ve derine sızmayı büyük oranda azaltmaktadır (Lamm ve Camp, 2007).

Phene vd. (1998) tarafından yapılan bir lizimetre çalışmasında, YAD'nın topraktan oluşan buharlaşmayı, yüzeyüstü damla sulama yöntemine kıyasla %50-75 oranında azalttığını vurgulamışlardır. Lamm ve Trooien (2002), YAD'nın center pivot gibi geleneksel sulama yöntemlerine kıyasla mısır üretimi için sulama suyu kullanımını %35-55 oranında azalttığını tespit etmişlerdir.

Yüzeyaltı damla (YAD) sulama, bitki büyümesini, ürün verimini ve kalitesini arttırmaktadır ayrıca gübre ve pestisit yönetimini iyileştirmekte ve bitki hastalıkları özellikle fungal hastalıkların yayılması açısından önem arz etmektedir (Lamm, 2002).

Yüzeyaltı damla (YAD) sulamayla sulanan mısırdaki, 2.85 kg ha⁻¹ ile en yüksek verim elde edilirken %25 oranında su tasarrufu sağlanmıştır (Lamm vd., 1990). Alam vd. (2002), iyi tasarlanmış bir YAD sisteminin, pivot sistemine kıyasla, verimi %7 oranında artırırken uygulanan su hacminin %22 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Yapılan diğer araştırmalarda, YAD ile sulanan bitkilerden elde edilen verim değerleri, yüzeyüstü damla sulama ile sulanan bitkilerden elde edilen verime eşit veya daha fazla olduğunu belirtmişlerdir (Phene, 1987: vd.; Camp, 1993: vd.; Bhattarai, 2006: vd.).

Sistem altyapısıyla ilgili avantajlar arasında otomasyon kolaylığı, daha az enerji maliyeti, tasarım esnekliği ve daha az haşere hasarı bulunmaktadır (Lamm, 2002). Sistem otomasyonuna elverişli olması nedeniyle, YAD'nin aşırı sulamayı önleme olasılığı yüksektir ve bu da bitkinin daha etkili bir şekilde besin maddesi alımına neden olmaktadır. Toprak nem sensörlerine dayalı sulama sistemlerinin otomasyonu, su kullanım verimliliğini daha da arttırmaktadır (Shae, 1999: vd.).

Sulamadan beklenen yararın sağlanabilmesi, koşullara en uygun sulama yönteminin seçilmesine, yöntemin gerektirdiği sistemin tekniğine uygun projelendirilmesine, projede öngöröldüğü biçimde kurulmasına ve işletilmesine bağlıdır. Ancak ölkemiz tarımında yeni kullanılmaya başlanan yüzeyaltı damla sulama sisteminin projelendirme kriterlerinden olan lateral derinliği, sistem kullanımı, suyun izlenip değeriendirilmesine ilişkin yapılan çalışma sayısının az olması, sistemin kullanılmasında bazı problemlere neden olmaktadır.

Yüzeyaltı ve yüzeyüstü damla sulama sistemlerinde damlatıcı(lar)ın ıslatma deseni boyutları, bu sistemlerin tasarım ve uygulama süreçlerinde başlangıç koşulunu oluşturmaktadır. Toprağa damlatıcıdan su sızması sırasında su içeriği mekânsal ve zamansal olarak değişmektedir. Toprak nem dağılımı, damlatıcı debisi, damlatıcılar arası mesafe, lateral derinliği, sistem basıncı, toprak fiziksel özellikleri, iklim koşulları, bitki örtüsü özellikleri ve kök dağılımı sulama sistemi tasarım parametrelerine büyük ölçüde etki etmektedir. Damla sulama sistemlerini etkin bir şekilde tasarlamak için, yukarıda belirtilen değişkenlerin tümü kullanılarak toprak suyu dinamiğinin öngörülmesi gerekmektedir. Sulama süresinin belirlenmesinde, ıslanan toprak hacminin zamansal değişimi, damlatıcı aralığı ve bitki kök derinliği etkili olmaktadır (Provenzano, 2007).

Literatürde, yüzeyüstü ve yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin işletmesinde kullanılan birçok yayın bulunmaktadır (Keller ve Karmeli, 1974; Vermairen ve Jobling, 1984; Keller ve Bliesner, 1990; Benami ve Ofen, 1995; FAO, 2002). Vermairen ve Jobling (1984), ıslatma deseni geometrisini görsel olarak gözlemlemek için damlatıcıların altındaki toprağın kazılmasını önermektedir. Bununla birlikte toprağı kazmadan ve yapısını bozmadan topraktaki suyun hareketini simüle eden yöntemler, toprak su içeriği dağılımını öngörmeye yardımcı olabilmektedir. Bu yöntemlerden birisi HYDRUS bilgisayar yazılımı ile Richards eşitliğine bağlı olarak toprak su içeriğinin sayısal modellenmesidir (Şimşek, 2006: vd.). HYDRUS yazılımı, yüzey ve yüzeyaltı damla sulama sistemlerinde su dağılımını simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Cote, 2003: vd.; Skaggs, 2004, 2010: vd.; Gardenas, 2005: vd.; Lazarovitch, 2005: vd.; Provenzano, 2007; Skaggs, 2010: vd.; Bufon, 2011: vd.; Kandelous, 2011: vd.; Phogat, 2011: vd.; Dabach, 2011: vd.). Tarla denemelerine kıyasla bu tür modellerin kullanılması, farklı damla sulama stratejileri ve farklı toprak koşulları altındaki ıslatma desenlerinin boyutlarını incelemek için harcanan para ve iş gücünü en aza indirmektedir. HYDRUS yazılımı, farklı sulama programlama seçeneklerini, damlatıcı debilerini, uygulanan su miktarlarını, farklı sulama yöntemlerini ve toprak suyu başlangıç koşullarını içerecek şekilde çeşitli koşullar için toprak nem dağılımını simüle edebilmektedir.

Son zamanlarda YAD sulamada, damla sulama borusu aralığının ve damla borusu derinliğinin suyun hem yanal hem de dikey hareketini nasıl etkilediğine dair araştırmalarda bir artış görülmektedir. Bu konuda kapsamlı bilgi, yetiştiricilerin yüksek verim elde etmek için kullanabilecekleri YAD kurulum kılavuzları ve sulama

stratejileri geliştirmek için gereklidir.

Bölgede susam yetiştiriciliğinde uygun sulama yöntemini ve bu yöntemde optimum sulama suyu kullanımını belirlemek, böylelikle üreticilere ve planlayıcılara karar aşamasında yardımcı olmak hedeflenmektedir. Ayrıca çalışmada yüzeyaltı sulama sisteminin problemlerinden olan lateral derinliğı, sistem kullanımı, suyun izlenip değerlendirilememesi sorunlarına çözüm aranmaktadır. Ülkemizde YAD sulama yönteminde, farklı lateral derinlikleri ile oluşturulan sistemde, toprak-bitki-atmosfer modellerinin ilk kez HYDRUS yazılımı kullanılarak sistem tasarımı ve optimum ıslak alan dağılımının belirlenmesinde kullanımı araştırılmıştır.

Bu çalışmanın temel amaçları:

- 1) Susam yetiştiriciliğinde yüzeyaltı damla sulama sistemi için farklı lateral derinliğı ve farklı su miktarı uygulamasının verim ve kalite parametrelerine etkisinin belirlenmesi,
- 2) Suyun yüzey altındaki yanal ve yukarı hareketinin HYDRUS-2D\3D yazılımı kullanılarak iki boyutlu sayısal modelleme ile değerlendirilmesi,
- 3) Arazi koşullarından elde edilen toprak su içeriğı ile HYDRUS-2D\3D yazılımı ile tahmin edilen toprak su içeriğinin geçerliliğı araştırılmıştır.

Çalışma ana hatları ile toplam 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın amacı, önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. İkinci bölümde konuya ilişkin daha önce yapılan kaynak araştırmaları özetlenmiş, üçüncü bölümde çalışmada kullanılan materyal ve uygulanan yöntemler verilmiştir. Dördüncü bölüm bulgular ve tartışma kısmını içermektedir. Bulgularda öncelikle arazi çalışmalarına ve model çalışmalarına ait veriler değerlendirilmiştir. Beşinci bölümde çalışmadan elde edilen bulgular ve tartışmanın sonucu değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Yüzeyüstü ve Yüzeyaltı Damla Sulama Yöntemleri ile İlgili Literatür Özetleri

Henggeler (1998) uzun yıllar yapmış olduğu arazi araştırmalarına dayanarak, Teksas'da sınırlı su kaynaklarına sahip bölgeler için alternatif olarak YAD sulama yöntemini önermiştir. Yüzeyaltı damla (YAD) sulama yöntemi diğer sulama yöntemlerine göre daha etkili bir alternatif olarak çalışmalarında bahsetmiştir. Çünkü YAD sulama yönteminde toprak yüzeyinden oluşan buharlaşma kayıpları ortadan kaldırılmaktadır.

Yüzeyaltı damla (YAD) sulama sisteminde lateral derinliği bitkilere göre değişkenlik göstermektedir. Bitki ve toprak bünyesine göre lateral derinlikleri 0.02 m ile 0.70 m, lateral genişlikleri 0.25-5 m arasında değişebilmektedir. Literatürlerde yer alan kimi araştırma sonuçlarına göre bazı bitkilerde kullanılabilecek lateral gömülme derinlikleri ve lateral aralıkları Tablo 2.1'de verilmiştir (Camp, 1998). Yapılan birçok araştırmada (soya, mısır, ayçiçeği, domates, bakla vs.) 20-60 cm aralığında lateral derinlikleri kullanılmıştır (Pablo, 2007: vd.; Vories, 2009: vd.; Lamm, 2010: vd.; Hanson, 1997: vd.). Hindistan'da yürütülen iki ayrı denemede 0-20 cm aralığında lateral derinliği denenmiş olup 10 cm derinliğin patates ve bamya için ideal olduğunu çalışmada belirtilmiştir (Singh ve Rajput 2007; Gençdoğan, 2006: vd.).

Tablo 2.1. Bazı bitkilerde lateral derinlik ve aralıkları

Bitki	Kaynak	Lateral Derinliği (m)	Lateral Mesafesi (m)
Domates	Bar-Yosef, 1991: vd.	0.30	0.45
	Batchelor, 1994: vd.	0.15	1.0
	Clark, 1991: vd.	0.25-0.40	1.37
	Clark, 1993: vd.	0.30	1.5
	Davis, 1985: vd.	0.45	1.63
	El-Gindy ve El-Araby, 1996	0.25	0.30
	Martin, 1996: vd.	0.18	1.0
	Bogle, 1989: vd.	0.15-0.20	2.0
	Grattan, 1988: vd.	0.25	1.5
	Hutmacher, 1985: vd.	0.45	1.63
	Nightingale, 1985: vd.	0.45	1.7
	Phene, 1990,1992b: vb.	0.45	1.63
	Rose, 1982: vd.	0.46	1.52
	Schwankel, 1990: vd.	0.15-0.30	1.5
	Sutton, 1985: vd.	0.12	1.32
Marul	Chase, 1985	0.07	0.30
	Martin, 1996: vd.	0.18	1.0
	Thompson ve Doerge, 1996	0.15	1.02
Dolmalık biber	Bracy, 1995: vd.	0.15	1.0
	Schwankel ve Prichard, 1990	0.10	0.76
Hıyar	El-Gindy ve El-Araby, 1996	0.25	0.30
Fasulye	Camp, 1993: vd.	0.30	0.76-1.52
Kabak	Camp, 1993: vd.	0.30	0.76-1.52
	Rubeiz, 1989: vd.	0.15	-
Kavun	Buck, 1981: vd.	0.02-0.15	1.5
	Phene, 1989: vd.	0.45	-
Karpuz	Pier ve Doerge, 1995a	0.20	2.0
	Pier ve Doerge, 1995b	0.20	2.0

Tunus'ta YAD ve yüzeyüstü damla (YÜD) sulama sistemlerinin patlıcan bitkisi üzerine etkilerini araştırmak için yapılan bir çalışmada, YAD sulamanın YÜD sulamaya göre %23.2 su tasarrufu ve verimde %40 gibi önemli bir artış sağladığı belirtilmiştir. Yüzeyaltı damla (YAD) sulamanın YÜD sulamaya göre daha üniform toprak nem dağılımı sağladığı belirtilmiştir. Yüzeyaltı damla (YAD) sulama ile yetiştirilen patlıcanın bitki boyu, verimi ve su kullanım randımanı yüksek bulunmuştur (Douh ve Boujelben, 2010).

Patane vd. (2011) Sicilya' da yapmış oldukları çalışmada YAD sulama yöntemi ile sulanan domates bitkisinde buharlaşma ile hesaplanan sulama suyu miktarlarının %0, %50, %100, %100-50 (çiçeklenmeye kadar %100 ve daha sonraki dönem için %50)' sini uygulamışlardır. Araştırma sonunda en yüksek verim %100 sulama konusundan elde edilmiştir. Ancak birim su kısıtına oranla daha az verim azalması nedeniyle ($ky < 1$), %50 veya %100-%50 sulama miktarlarının önerilebileceğini belirtmişlerdir.

Kahlaoui vd. (2011) Tunus da yapmış oldukları çalışmada YAD sulama ve damla sulama sistemlerini kullanarak üç farklı domates çeşidindeki fizyolojik tepkileri incelemişlerdir. Araştırma sonunda; yüzeyaltı damla sulama sistemi ile sulanan bitkilerde yaprak alanının, klorofil miktarının, K^+ , Ca^{2+} değerlerinin yükseldiği ancak Na^+ ve Cl^- değerlerinde azalma olduğunu tespit etmişler ve YAD sulamanın domates üretimi için etkili bir seçenek olabileceğini belirtmişlerdir.

Yüzeyaltı damla (YAD) sulamada su kullanım üretkenliğini artırmak için suyun damlatıcılar etrafında yer alan topraktaki dağılım deseni bilinmelidir. Çalışmada, YAD sulamanın farklı lateral derinlikleri ile mısıra uygulanan sulama suyunun toprak nem dağılımını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Lateral derinliği olarak üç farklı derinlik (5, 20 ve 35 cm) kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarında 35 cm lateral derinliğinde su kullanım üretkenliği en yüksek bulunmuştur. Ayrıca 35 cm lateral derinliği için hacimsel toprak su içeriğinde (TSİ) istatistiksel olarak anlamlı artışlar görülmektedir (Douh, 2013: vd.).

Özcelik vd. (2017) Menemen ovasında yetiştiriciliği yapılan ikinci ürün mısır bitkisinde YÜD sulama yöntemi ile farklı sulama programlarının verim ve gelişim parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca çalışmada farklı su stresi koşullarında Ceres-Maize bitki büyüme modelinin kullanılabilirliği test edilmiştir. Ana konular sulama aralığı (S_3 : 3 gün, S_6 : 6 gün), alt konuları beş farklı sulama konusu olan ClassAPan Kpc bitki katsayıları olmak üzere toplam on sulama konusu oluşturulmuştur. Araştırmada sulama konularının dane verimi üzerine etkisi istatistiksel olarak 0.01 hata düzeyinde önemli bulunmuştur. Deneme konularına yıllara göre 2013 yılında 72-524 mm, 2014 yılında 65-525 mm, 2015 yılında 48-498 mm arasında sulama suyu uygulanmıştır. Mevsimlik su tüketimleri ilk yıl 198-602 mm, ikinci yıl 210-592 mm ve son yıl 203-604 mm arasında değişim göstermiştir.

Tunç vd. (2018) Erzurum koşullarında yetiştirilen çileğin YÜD ve YAD sulama yöntemlerinde malç uygulamasının su tüketimine ve verimine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, ana konuları sulama yöntemleri, alt konuları ise sulama oranları (%100, %75, %50 ve %25) oluşturmuştur. Sonuç olarak, en yüksek sulama miktarı YÜD sulama yönteminde %100 sulama konusunda bulunmuş olup, yıllara göre sırasıyla 529 ve 532 mm olarak hesaplanmıştır. En düşük su tüketimi ise malçlı YÜD sulama yönteminde %25 konusunda sırasıyla 282 ve 311 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca genel olarak sulama yöntemlerinin çileğin kalite parametreleri üzerine önemli bir etkisi olduğu gözlenmezken, sulama düzeyleri dikkate alındığında

su kısıtının bitki kalitesi üzerine olumlu etki ettiği gözlenmiştir. Ekonomik analiz sonuçları incelendiğinde ise YÜD sulama yönteminin %100 ve %75 konuları verim-kazanç açısından en ekonomik konular olduğu çalışmada belirtilmiştir.

Aydınşakir vd. (2019) Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Aksu Yerleşkesi uygulama arazisinde soya bitkisinde birim alandan elde edilen verimi artırmak ve kullanılan sulama suyu miktarını azaltmak amacıyla YÜD ve YAD sulama yöntemlerinin soyanın verim ve kalite özelliklerine etkisinin incelenmesi amacı ile çalışma yürütmüşlerdir. Bu amaçla YÜD ve YAD sulama konularında dört farklı (%100, %80, %60 ve %0) su uygulama düzeyi yer almaktadır. Toprak nem içeriği gravimetrik yöntem ile izlenmiştir. Araştırma sonucunda YAD sulama yönteminde bitki su tüketimleri 171.0-541.4 mm arasında hesaplanırken YÜD sulama konularında 164.3-640.5 mm arasında bulunmuştur. Yüzeyüstü damla (YÜD) sulama yönteminde verimler 198.2-560.5 kg da⁻¹; YAD sulama yönteminde ise 228.8-632.6 kg da⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Yüzeyüstü damla (YÜD) sulama sistemi ile kıyaslandığında YAD sulama sisteminde herhangi bir verim azalması olmaksızın yaklaşık 92 mm'lik bir su tasarrufu elde edilmiştir.

Gaafar vd. 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada YAD sulama yönteminin susam bitkisi için verim ve su kullanım üretkenliği üzerindeki etkisini araştırmak için (%0, %20 ve %40) kısıtlı sulama uygulamışlardır. En yüksek tohum yağ oranı, YAD sulama kullanılarak elde edilmiştir. Ancak en düşük yağ oranları ise %40 eksik sulamadan elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada toplam verimin %8.4 ve toplam net gelirin ise %14.5 oranında arttığı vurgulanmıştır.

Dabhi vd. (2020) yaz dönemimde ekilen susam bitkisinin sulama ihtiyacını belirlemek için dual bitki katsayısı yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada YÜD sulama yöntemi ile bitki sulaması yapılmıştır. Tekil bitki katsayısı ve toprak buharlaşma katsayısı (ke), FAO-56 yöntemi ve SIMDualKc modeli kullanılarak ayrı ayrı tahmin edilmiştir. Toprak su içeriği (TSİ) değerleri kullanılarak doğrulanan SIMDualKc modeli, sistem için iyi performans göstermiştir ($R^2 = 0.76-0.85$, NSE = 0.75-0.94, RMSE = 0.25-0.50). FAO-56 susamın başlangıç, orta, gelişme ve geç aşamaları için tahmini Kc değerlerini 0.69, 0.90, 1.04, 0.65 olarak tahmin etmiştir. SIMDualKc modeli, yalnızca bitki büyümesinin ilk ve son aşamaları için daha düşük Kc değerleri tahmin etmiştir (0.39, 0.44). SIMDualKc modeli kullanılarak elde edilen bitki katsayıları, ilk ve son aşamada daha düşük su gereksinimlerini tahmin ederken, FAO yöntemi gelişme ve orta aşamada daha düşük su gereksinimi tahmin

etmiştir. Sonuç olarak çalışmada, SIMDualKc model tabanlı Kc değerleri bölgede yetiştirilen susam bitkisinin günlük katsayılarını ve bitki su ihtiyacını tahmin etmek için tavsiye edilmiştir.

Karaca Bilgen (2020), kısıtlı su koşullarında YAD sulama sistemi ile sulanan dane mısırın verim ve su kullanım üretkenliğini belirlemek için çalışmalarında dört farklı su uygulama düzeyi (S_{100} , S_{70} , S_{40} ve S_0) oluşturmuşlardır. Yüzealtı damla (YAD) sulama lateralleri toprak yüzeyinden 40 cm derinliğe yerleştirilerek 0-60 cm toprak derinliği için nem takibi yapılmıştır. Sulama uygulamaları bitki su tüketimi esasına göre yapılmıştır. Çalışma sonucunda uygulanan sulama suyu miktarı yıllara göre sırasıyla 24-448 mm, 7-373 mm arasında değişim göstermiştir. Bitki su tüketim değerleri ise sırasıyla 281-621 mm olarak hesaplanırken ikinci yılda 231-499 mm olarak hesaplanmıştır.

2.2. HYDRUS Yazılımı ile İlgili Literatür Özetleri

Matematiksel olarak, damlatıcıdan su akışı ve çözünen madde taşınması, üç boyutlu doymuş-doymamış akış problemidir. Damlatıcıdan su akışı ve çözünen madde taşınmasını tanımlayan üç boyutlu karar denklemleri analitik veya sayısal olarak çözülebilir. Toprak yüzeyinde ya da altında olan bir damlatıcıdan çıkan suyu modellemek için analitik çözümler bulunmuştur (Philip, 1968, 1984; Warrick, 1996). Cook vd. (2003) ve Philip (1984) analitik çözümleri kullanarak damlatıcılardan akan suyun yaklaşık ıslatma alan modellerini görüntülemek için WetUp adlı bir yazılım programı geliştirmiştir. Hem su hem de çözünen madde dinamiklerini dikkate alan Mmolawa ve Or (2000a), toprak altında bulunan bir damlatıcı kaynağı için bitki alımı olan ve olmayan su ve çözünen maddenin taşınmasını hesaplamak amacıyla yarı analitik bir model çalışması sunmuştur. Analitik model çıktıları, gerçek sonuçlar ile doğrulanmıştır. Analitik modellerin uygulanması kolay olsa da, modellerin damla sulama yönetiminde uygulanması sınırlıdır çünkü çözümler, tanımlanmış kaynak (damlatıcı debisinin), akış denkleminin doğrulanması ve homojen toprak hidrolik özelliklerine ilişkin sınırlayıcı varsayımlara dayanmaktadır.

Toprak altında yer alan damlatıcı kaynağında su akışı (Brandt, 1971: vd.; Bresler, 1975; Bresler, 1971: vd.) ve toprak yüzeyinde yer alan damlatıcı kaynağından (Bresler, 1975) çözünen madde taşınımı için akış denklemlerinin sayısal çözümleri geliştirilmiştir. Sayısal çözümlerde simülasyon doğruluğunu artırmak için yüzey sınırının işlenmesine büyük önem verilmektedir (Lafolie, 1989a,

1989b: vd.).

Simunek vd. (1999) üçüncü bir boyut, yani HYDRUS-2D\3D (Simunek, 2006: vd.) sağlayacak şekilde güncellenen HYDRUS-2D adlı bir yazılım programı geliştirmişlerdir. Yazılım, akış denklemlerini sayısal çözümlere dayalı olarak üç boyutlu, eksenel olarak simetrik su akışı, çözünen madde taşınımı ve kök su ve besin alımının modellemesini sağlamaktadır. Cote vd. (2003) ilk çözünen madde konsantrasyonunun sıfıra eşit olduğu varsayımıyla, toprak altında bulunan damlatıcı kaynağından toprakta ıslanan alan ve çözünen madde taşınımına ilişkin simülasyon yapmak için Hydrus-2D'yi çalışmalarında kullanmışlardır. Ancak sonuçlarını doğrulamak için hiçbir arazi verisi sunulmamıştır. Başlangıçtaki çözünen madde konsantrasyonunun sıfıra eşit olduğu varsayımı genellikle gerçek fertigasyon koşullarına uygun bulunmamaktadır. Windows tabanlı HYDRUS-1D ve HYDRUS-2D\3D yazılımı sırasıyla bir, iki ve üç boyutlu akış ve çözünmüş madde taşınımını simüle etmek için kullanılabilmektedir. Yazılım, değişken doymuş akış için Richards denklemini ve hem ısı hem de çözünen madde taşınımı için Fickian tabanlı adveksiyon dağılım denklemlerini kullanmaktadır. Akış denklemi, bitki kökleri tarafından su alımını ve doymamış toprak hidrolik özelliklerinin histeresisini dikkate almaktadır. Ayrıca yazılımda Levenberg-Marquardt (Simunek, 2006: vd.), doğrusal olmayan parametre optimizasyon modülleri ile arazi verilerinden çeşitli toprak hidrolik ve çözünen madde taşınımı parametrelerinin tahmini yapılmaktadır. Bilinmeyen hidrolik parametreler, Richards denkleminin sayısal olarak ters çevrilmesi ile geçici akış sırasında ölçülen TSİ, basınç yükleri ve/veya sınır akışlarından tahmin edilebilmektedir. Yazılım benzer şekilde çözünen madde taşınımı ile ilgili verilerin tahmin edilmesi için de kullanılabilmektedir.

Cote vd. (2003) YAD sulama yönteminde toprak nemini ve çözünen madde taşınımını simüle etmek için HYDURS-2D yazılımını çalışmalarında kullanmışlardır. Damlatıcı etrafındaki toprak profili boyunca toprak nem dağılımının ve çözünen madde taşınımının genellikle YAD sulama sisteminin tasarımına ve yönetimine yeterince dahil edilmediğini vurgulamışlardır. Simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar, yüksek geçirgenliğe sahip kaba bünyeli topraklarda suyun damlatıcıdan hızla aşağı doğru hareket ettiğini göstermektedir.

Skaggs vd. (2004) HYDRUS-2D'nin toprak su dağılımını başarılı bir şekilde tahmin ettiğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Ajdary vd. (2005) HYDRUS-2D'yi YÜD sulama sistemi altında kumlu killi tınlı topraklarda gözlemlenen soğan

bitkisinin yetiştirildiği arazi çalışması için TSİ verileriyle kalibre etmiştir. Çalışma sonucunda yazılımın tahmin ettiği değerler ile arazi de ölçülen değerlerin birbirine yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Toprak suyu akışını hesaplamak için belirli başlangıç ve sınır koşulları girdilerini içeren akış denklemlerinin çok sayıda analitik ve sayısal çözümü mevcuttur (Fernandez-Galvez, 2006: vd.). Bunlar Richards denklemini çözmeye dayalı modellerdir. Suyun toprak içerisindeki dağılımını toprak özelliklerinin bir fonksiyonu olarak hesaplayan daha basit yazılımlar da bulunmaktadır. Tüm bunların ortak noktası, arazi aşamasında yazılım için gerekli olan birçok girdi parametresinin ölçümünün zor ve uzun zaman gerektirmesidir (Abbasi, 2004: vd.).

Yüzeyaltı damla (YAD) sulama, toprak yüzeyini kuru bırakırken bitki kök bölgesi etrafına su sağlar. Burada toprak yüzeyinde zamanla boşluklar (çatlaklar) oluşmaktadır. Bu problemin çözümü toprak hidrolik iletkenlik özelliklerine uygun damlatıcı debisi belirlemektir. Bunun için simülasyon yazılımı (HYDRUS-2D), YAD sulama ile sulanan soğan bitkisinde kullanılmış ve test edilmiştir. Çalışmada altı farklı lateral derinliği (0, 5, 10, 15, 20 ve 30 cm) ve üç farklı sulama düzeyi (%100, %80 ve %60) kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı toprak suyunun simülasyonu için HYDRUS-2D yazılımının uygulanmasını değerlendirmektir. Çalışma sonucunda 30 cm'ye kadar derinliklerde 2 L h^{-1} debili damlatıcılar 60 cm genişliğinde ve 30 cm derinliğe kadar ıslatılmış alan boyutları oluşturmuştur; ayrıca soğan verim değerleri bu lateral aralıklarında yüksek bulunmuştur. Laterallerin daha derine yerleştirilmesinde (30 cm altında) yeterli toprak nemi bulunmuştur fakat maksimum drenaj gerçekleşmiştir. HYDRUS-2D yazılımı, toprak neminin 20, 30 ve 40 cm lateral derinliğindeki hareketini sayısal modelleme ile doğrulamıştır. Sayısal model performansı, AE, RMSE ve model verimliliği olmak üzere üç parametre kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca HYDRUS-2D yazılımı damla laterallerinin farklı yerleştirme derinliklerinde toprak su dağılımı üzerine yapılan arazi çalışmalarından elde edilen sonuçların doğrulanmasını sayısal modelleme ile sağlamıştır. Sayısal model, minimum drenaj ile suyun verimli kullanımı için YAD sulama sisteminin tasarlanmasına yardımcı olmuştur (Neelam Patel, 2008).

Bir damlatıcıdan gelen suyun topraklardaki yatay ve dikey mesafe değerlerine ait bilgiler, verimli ve uygun maliyetli damla sulama sistemlerinin tasarımı için gerekli görülmektedir. Çalışmada farklı damlatıcı debilerinin ve sulama öncesi farklı başlangıç TSİ değerlerinin, farklı toprak bünyesinde ıslatılan alan boyutları üzerine

etkisi araştırılmıştır. Islatılan alanların HYDRUS-2D\3D yazılımı ile sayısal simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına dayanarak Schwartzman ve Zur ampirik modelinin parametreleri belirlenmiştir. Tatlı mısır ve şerbetçiotunun YÜD sulamasının sayısal simülasyonları, evapotranspirasyonun etkisini ve farklı sulama yönetimi ve tasarım stratejilerinin toprak su dinamikleri üzerindeki etkisi çalışmada incelenmiştir. Yüzeüstü damla (YÜD) sulama ile sulanan tatlı mısırdaki sulama stratejilerinin bitki kök suyu alımını güçlü bir şekilde etkilediğini göstermiştir. Kök suyu alımı bitki su tüketiminin (ET_c) en yüksek olduğu zamanda maksimum kök yoğunluğu bölgesinde en fazla olduğu çalışmada belirtilmiştir. Arazide ölçülen değerler ile HYDRUS-2D\3D yazılımında tahmin edilen değerlerin RMSE sonuçları $0.13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ 'den küçük olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonuçları HYDRUS-2D\3D yazılımının farklı YÜD sulama sistem tasarımlarının randımanını arttırmak ve yönetim stratejilerini optimize etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Nagliç, 2014).

Kuzey Carolina'da yapılan çalışmada, bitki tarafından gerçekleştirilen terlemeyi ve damlatıcıdan çıkan suyun dağılımını simüle etmek için HYDRUS-2D yazılımı kullanılmıştır. Çalışmanın amaçları şu şekilde sıralanmıştır. i) mısır bitkisi yetiştiriciliği yapılan arazilerde toprak su dağılımını HYDRUS-2D yazılımı ile simüle etmek ve ölçülen gerçek değerler ile modelin tahmin ettiği değerlerini karşılaştırmak. Ayrıca YAD sulama sistemi tasarım faktörlerini değerlendirerek HYDRUS-2D yazılımının modellemesini kalibre etmektir. ii) çalışmada kurgulanan farklı lateral derinliği, aralığı, debisi ve farklı toprak çeşitleri kullanılarak mısır bitkisinde terlemenin en üst düzeyde olduğu konu için HYDRUS-2D yazılımının kalibrasyonunun yapılmasıdır. Kalibrasyon sonuçları incelendiğinde tahmin edilen ve ölçülen TSİ değerlerinin RMSE ve ME doğruluk ölçütleri sırasıyla 0.012-0.091 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ve -0.08-0.057 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu da simülasyonların ölçülen verilerle makul derecede uyumlu olduğunu göstermektedir. Regresyon katsayısı (r^2), değerleri 0.7-0.56 arasında bulunmuştur. Ayrıca farklı sistem tasarımı kombinasyonları içerisinde %100 sulamanın yapıldığı ve 0.20 m lateral kurulum derinliğinde ve 1.52 m damla sulama borusu aralığı en başarılı tasarım olarak tespit edilmiştir (Kong, 2014).

Sulama suyu üretkenliğini (WUE) arttırmak için YAD sulama suyu borusunun kurulum derinliğini optimize etmek amacıyla patlıcan bitkisinde, toprak yüzeyinde, toprak yüzeyinden 20 cm ve 45 cm derinliğe lateraller yerleştirilmiştir. Çalışmada

araziden ölçülen TSİ değerleri ile HYDRUS-2D yazılımı ile tahmin edilen TSİ değerleri karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen TSİ değerleri, gerçek değerlere oldukça yakın bulunmuştur. Sayısal model %4'den düşük hata kareler ortalaması (HKO) ile TSİ değerlerini tahmin etmiştir. Modelin başarılı olması kök dağılım değerlerinin ve kök su alım parametrelerinin doğru seçildiğini göstermektedir. Farklı lateral montaj derinlikleri için WUE değerleri ise 20 cm derinlikte daha yüksek bulunmuştur. Daha derinlere gidildikçe WUE değerleri azalmaya başlamıştır (Ghazouani, 2015: vd.; Ghazouani, 2016: vd.).

Toprak su içeriği (TSİ) bitkinin su ihtiyacını doğru tahmin etmekte son derece önemli olduğu için tarımda su kaynaklarının kullanımını optimize etmede kilit bir faktördür. Özellikle suyun az olduğu koşullar altında hem gıda güvenliği hem de su tasarrufu problemlerini çözmek amacıyla gerekli olan sulama stratejileri için az veri ile TSİ'ni tahmin etme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. HYDRUS-2D yazılımının etkinliğini çeşitli makine öğrenimi modelleriyle (Çoklu Doğrusal Regresyonlar (MLR), Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS) ve Destek Vektör Makineleri (SVM)) karşılaştırmak ve su stresi koşulları altında TSİ verilerinin zaman serilerini simüle etmek için iki yıl süreli arazi çalışması yapılmıştır. Toprak su içeriği (TSİ) değerleri 2010 ve 2011 mısır yetiştirme sezonlarında Time Domain Reflectometer (TDR) kullanılarak izlenmiştir. Çalışmada altı parametre (buharlaşma, ortalama hava sıcaklığı, kümülatif büyüme derece gün sayısı (GDD), bitki katsayısı (K_c), su açığı ve sulama derinliği) ile sekiz kombinasyonun oluşturulduğu modellerin TSİ tahmin değerleri belirlenmiştir. Toprak su içeriği (TSİ) tahmin sonuçları incelendiğinde HYDRUS-2D yazılımı en iyi TSİ tahminini yapmıştır ve RMSE değerleri 0.54-2.07 arasında yer almaktadır. Uygulanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS) ve SVM modelleri sırasıyla 1.27-1.9 ve 0.07-0.27 ortalama sapma hatasına sahip olduğu çalışmada tespit edilmiştir (Karandish, 2016: vd.).

Ghazouani vd., 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada HYDRUS-2D yazılımını, patates bitkisine uygulanan farklı sulama stratejilerinin toprak nem dağılımı üzerindeki etkilerini simüle etmek için kullanmışlardır. Yüzeyaltı damla (YAD) sulama ile yapılan çalışmada, tam ve kısıtlı sulama olarak iki farklı su uygulaması yapılırken, ayrıca iki farklı su kalitesi kullanılmıştır. Sonuçlar modelin bazı farklılıklara rağmen TSİ ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerini oldukça doğru şekilde tahmin edebildiğini kanıtlamıştır.

Tuz ve su stresi koşulları altında ölçülen bitki örtü sıcaklığı değerleri ile bitki su stres indeksi (CWSI) değerleri hesaplanmıştır. Model sonucunda ölçüm yapılan değerler ile tahmin edilen değerler karşılaştırıldığında korelasyon değeri (R^2) 0.8 olarak tespit edilmiştir. Üç bitki yetiştirme sezonu için oluşturulan veri tabanı aynı zamanda verim kaybı ve hidrolik iletkenlik (K_s) arasındaki doğrusal bir ilişki ile temsil edilen su verim etmeni (k_y) katsayısı da değerlendirilmiştir. Yapılan bu işlem, yarı kurak iklim koşullarında sulama için sınırlı su kaynağına sahip ülkelerde sulama suyunun sürdürülebilir kullanımı için faydalı bir kılavuz niteliğinde olduğu belirtilmiştir.

Yüzeyaltı damla (YAD) sulama sistem tasarımının önemli sorunu, uygun kök ıslanma deseninin yanı sıra derine sızma ve buharlaşma yoluyla su kayıplarını azaltmak için lateral derinliğinin seçilmesidir. Toprak bünyesi ve toprak su dinamikleri optimum lateral derinliği ve sulama aralığını büyük ölçüde etkilemektedir. Arazi koşullarında toprak su bütçesi bileşenleri içerisinde derine sızmanın ölçülmesi zor olduğundan HYDRUS-2D gibi toprak suyunu sayısal olarak modelleyen yazılımlar bu amaçla kullanılabilir. Bu çalışmada YAD sulama ile çeltik üretimi için arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada HYDRUS-2D yazılımı ile TSİ dağılımını tahmin etmek için iki farklı lateral derinliği, üç farklı toprak bünyesi ve üç sulama düzeyi kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre 0.15 m derinlikteki lateralın iki gün sulama aralığında derine sızmanın daha az olduğunu göstermektedir. Ayrıca çeltikte YAD sulamayı verimli bir şekilde yönetmek için lateralın konumunun belirlenmesinde HYDRUS-2D yazılımının yararlı olduğu belirtilmiştir (Arbat, 2020: vd.).

2.3. Türkiye’de HYDRUS Yazılımı ile ilgili Yapılan Çalışmalar

Demirel (2012) yapmış olduğu çalışmada, çim bitkisinin etkili kök derinliği altına serilen su tutma bariyerlerinin (STB) toprak su içeriğine, bitki su tüketimine, verime ve bitkisel özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bunun için toprak yüzeyinin 30 ve 40 cm altına serilen STB’de farklı sulama suyu miktarlarının (kullanılabilir su tutma kapasitesinin (KSTK) %100’ü, %66’sı ve %33’üne tamamlanması) uygulandığı altı konu ile KSTK’nın %100’ünün karşılandığı kontrol konusu olmak üzere toplam da yedi konulu deneme kurulmuştur. Ayrıca TSİ değerleri ile toprak ve iklim parametreleri kullanılarak HYDRUS-2D yazılımı ile simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda STB konularının kontrol uygulamasına kıyasla

%35-74 oranında su tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. HYDRUS-2D yazılımı kullanılarak yapılan sayısal modellemede tahmin edilen toprak nem değerleri ile araziden ölçülen gerçek nem değerlerinin karşılaştırılmasında korelasyon katsayısı değerleri 0.74-0.94 arasında hesaplanmıştır. Ayrıca Çanakkale’de kumlu bünyeli topraklar için nem tahmininde HYDRUS-2D yazılımı ile yapılan sayısal modellemenin kullanılabilirliği savunulmuştur.

Drenaj suyunun tarımsal sulamada yeniden kullanılabilmesi, atılan suyun kalitesine, sulama yöntemine gibi birçok faktöre bağlıdır. Toprak yüzeyi ile yeraltı suyu tablası arasındaki su ve çözünen madde transfer süreçlerini tahmin etmek için çeşitli analitik ve sayısal modeller geliştirilmiştir. HYDRUS-1D yazılım paketi, toprakta su hareketini ve çözünen madde taşınmasını sayısal olarak modeller. Bu çalışmada farklı kalitedeki sularla sulanan 115 cm uzunluğunda ve 40 cm çapındaki toprak kolonlarında su akışı ve çözünen madde taşınımını analiz etmek için HYDRUS-1D yazılımı kullanılmıştır. Üç farklı sulama suyu tuzluluğu (0.25, 1.5 ve 3.0 dS m⁻¹) ve dört yıkama oranı (gerekenden %10, %20, %35 ve % 50 daha fazla su) çalışmada yer almıştır. Toplamda 36 lizimetre ile yapılan çalışmada her sulamanın ardından plastik bölmelerden beş derinlikte (20, 40, 60 ve 100 cm) drenaj suları toplanmıştır. Çalışma sonuçları HYDRUS-1D yazılımının toprakta tuzluluğunu ve toprak profilindeki tuzların (iyonların) hareketini başarılı bir şekilde simüle edebildiğini göstermiştir. İlk (2010) ve ikinci (2011) yıllar için EC verilerine ait RMSE değerleri sırasıyla 2.50-5.21 ile 1.36-4.38 arasında bulunmuştur (Yurtseven, 2013: vd.).

Demirel (2014) yapmış olduğu bir diğer çalışmada, uzaktan algılama ve hassas tarım uygulamalarında, yüzey ve yüzeyaltı su akışları, toprak-su-bitki-atmosfer modelleri güvenilir ve eş zamanlı olarak ölçülen toprak nem değerlerine gereksinim görülmekte olduğunu belirtmiştir. Ayrıca arazi ve laboratuvar koşullarında toprak nem hareketinin veya toprak nem değişiminin değerlendirilmesinin zor ve zaman alıcı bir uygulama olduğu vurgulamıştır. Bu amaçla kullanılan HYDRUS yazılımı, toprak su akışının izlenmesinde en yaygın olarak kullanılan bilgisayar programları içerisinde yer almaktadır. Çalışmalarında HYDRUS yazılımı ile yapılan örnek bir uygulama yardımıyla yazılımın kullanımı ve gerekli verilerin girilmesi açıklanmıştır.

Tunalı ve Dağdelen (2015) tarafından yapılan çalışmada YAD sulama sisteminde toprak yüzeyinden 30 cm derine yerleştirilen 2 ve 4 L h⁻¹ debili

damlatıcılarda meydana gelen debi değişimleri araştırılmıştır. Öncelikle tarla koşullarında bitki materyali bulunmaksızın akış değişimini gösteren debi değişim katsayısı (CVq) değerleri farklı özelliklere sahip damlatıcılar yardımıyla belirlenmiştir. Arazide ölçülen değerler ile HYDRUS-2D yazılımı kullanılarak toprak su tutma eğrisi parametreleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda basınç ayarlı olmayan damlatıcılar, YAD sulamada kullanıldığında, YÜD sulamaya göre daha homojen eş su dağılımının olduğu belirtilmiştir.

Sağlam vd. (2017) geleneksel polietilen plastik, biyobozunur plastik ve kağıttan oluşan farklı özelliklerdeki malç materyallerinin toprak nem dinamikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Geleneksel polietilen plastik malç, tarımda toprak nemini korumak için uzun yıllardan beri tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak polietilen plastik malçlar, biyolojik olarak parçalanamayan polimerlerden yapılmış olmaları nedeniyle hasat sonrası araziden çıkartılmaları ve yok edilmeleri sırasında önemli çevresel sorunlara yol açmaktadırlar. Buna karşın biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerden yapılan plastik malç materyalleri, polietilen plastik malçlara önemli bir alternatif sunmaktadır ancak biyobozunur malç materyallerinin de tarımsal performansları tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle çalışmada biyolojik olarak parçalanabilen malçların toprak nemin korunmasına yönelik tarımsal performanslarının araştırılması amaçlanmıştır. Damla sulama ile sulanan balkabağı (Cucurbita pepo) farklı malç uygulamaları (malçsız kontrol, biyolojik olarak parçalanabilir kağıt, biyolojik olarak parçalanabilir plastik ve geleneksel polietilen) kullanılarak kapatılan yükseltilmiş yataklarda yetiştirilmiştir. Toprak nem değerleri ise 10 ve 20 cm derinliklerde ölçülmüştür. Her biri toprak yüzeyindeki farklı sınır koşulları ile temsil edilen farklı malç uygulamaları altındaki nem dinamiklerini sayısal olarak simüle etmek için HYDRUS-2D yazılımı kullanılmıştır. Arazi verileri ve sayısal model simülasyonlarının karşılaştırıldığı çalışma sonuçlarında, biyolojik olarak parçalanabilen kağıt ve plastik malçların, geleneksel polietilen plastik malç ile karşılaştırılabilir toprak nem dinamikleri sağladığını bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma Yeri ve Coğrafi Konumu

Araştırma Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BATEM)'nin Aksu İstasyonu'nda yürütülmüştür. Deneme alanı Antalya il merkezine 20 km uzaklıkta, 36° 56' 29" Kuzey enlemi ve 30° 53' 04" Doğu boylamı arasında yer almakta olup deniz seviyesinden yüksekliği 11 m'dir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1.Çalışma alanının yeri ve konumu

3.1.2. Araştırma Yerinin İklim Özellikleri

Araştırmanın yapıldığı Aksu ilçesinde yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmekte olup Akdeniz iklim özellikleri görülmektedir. İlçenin uzun yıllar ortalamalarına ait iklim verileri incelendiğinde (Tablo 3.1); uzun yıllar sıcaklık ortalaması 18.8 °C olup, en yüksek sıcaklık ortalaması Temmuz ayında (44.8 °C), en düşük sıcaklık ortalaması ise Ocak ayında (-3.8 °C) kaydedilmiştir (Tablo 3.1). Aksu ilçesinde uzun yıllar ortalama nispi nem oranı % 69.2, ortalama yıllık yağış miktarı ise 768 mm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.1. Aksu ilçesi uzun yıllar ortalama iklim değerleri(2009-2019) (Boztepe Tarım İşletme Müdürlüğü. 2019)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Yağış (mm)	168.0	110.0	60.0	35.0	53.0	13.0	3.0	2.0	22.0	87.0	59.0	156.0
Oransal Nem (%)	74.6	73.3	71.1	71.1	70.0	64.8	63.5	66.0	67.0	67.1	69.5	73.4
Sıcaklık (°C)	10.1	11.4	13.5	17.0	20.9	25.5	28.5	28.3	24.9	20.0	15.2	11.4
En Yüksek Sıcaklık (°C)	21.2	26.6	29.0	37.4	36.1	44.5	44.8	42.8	41.3	36.5	29.8	25.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.8	-1.0	0.9	4.4	10.1	14.0	16.4	16.2	11.9	5.3	0.0	-1.2
Rüzgar Hızı (m s ⁻¹)	2.9	3.1	2.8	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.8	2.4	2.5	2.9
Güneşlenme Süresi (h D ⁻¹)	5.21	5.54	6.53	8.59	9.51	11.36	11.54	11.26	9.54	8.03	6.24	5.07

3.1.3. Araştırma Yeri Toprak Özellikleri

Deneme alanından alınan toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Deneme alanı topraklarının 0-60 cm arası killi tın, 60-120 cm arası ise tın bünyeye sahiptir. Kireç içeriği %23.7-25.6 arasında değişmekte olup alt katmanlara doğru gidildikçe kireç içeriğinin nispeten azaldığı çok kireçli toprak sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Deneme alanı topraklarının elektriksel iletkenliği 0.10-0.15 dS m⁻¹ (tuzsuz) ve pH içeriği 8.3-8.4 (orta derecede alkalın) arasında değişmektedir. Tarla kapasitesi değerleri 0-30, 30-60, 60-90 ve 90-120 cm için sırasıyla 23.5, 23.4, 23.1 ve 23.2 g g⁻¹, solma noktası değerleri ise 10.8, 11.1, 11.7 ve 10.8 g g⁻¹ arasında hesaplanmıştır. Hacim ağırlığı değerleri 1.31-1.43 g cm⁻³ arasında değişmekte olup alt tabakalara doğru gidildikçe hacim ağırlığı değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri

Derinlik (cm)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Bünye Sınıfı	CaCO ₃ (%)	EC (dS m ⁻¹)	pH	TK (g g ⁻¹)	SN (g g ⁻¹)	Hacim Ağırlığı (gr cm ⁻³)
0-30	24	32	44	CL	25.6	0.10	8.3	23.5	10.8	1.31
30-60	24	28	48	CL	24.8	0.11	8.3	23.4	11.1	1.38
60-90	36	24	40	L	23.7	0.16	8.4	23.1	11.7	1.43
90-120	26	26	48	L	23.9	0.15	8.3	23.2	10.8	1.41

3.1.4. Sulama Suyu Özellikleri

Araştırmada kullanılacak sulama suyu, arazi içerisinde bulunan derin kuyudan pompaj sistemi ile sağlanmıştır. Sulamada kullanılacak sulama suyunun bazı özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir. Sulama suyu kalite sınıfı olarak T₂A₁ sınıfında yer almaktadır. Kullanılacak olan sulama suyu tabloda da görüldüğü gibi bitkisel üretim açısından herhangi bir sınırlamaya neden olmayan iyi kalitede bir su olarak

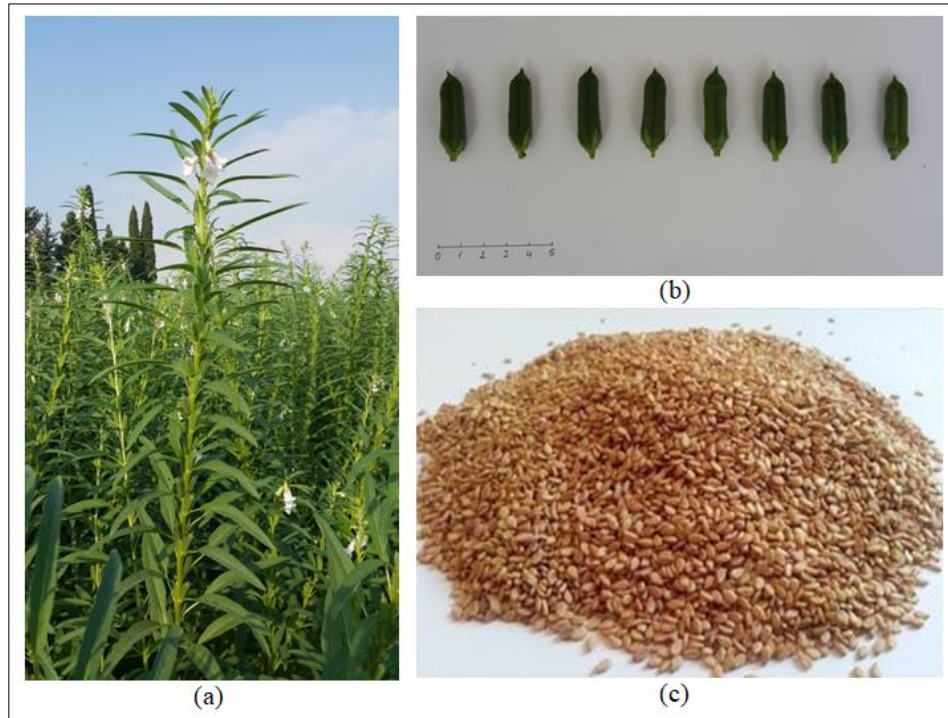
değerlendirilebilir.

Tablo 3.3. Araştırmada kullanılan sulama suyunun bazı kimyasal özellikleri

pH	EC (dS m ⁻¹)	Kasyonlar (me L ⁻¹)				Anyonlar (me L ⁻¹)				Sınıf
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	CO ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
7.3	0.56	0.49	0.05	4.23	1.85	0.0	5.03	0.53	1.06	T ₂ A ₁

3.1.5. Denemede Kullanılan Bitki Materyali Özellikleri

Bitki materyali olarak Akdeniz bölgesinde yaygın olarak ekilen ve BATEM adına tescilli Muganlı 57 susam çeşidi kullanılmıştır (Şekil 3.2). Muganlı 57 susam çeşidine ait bazı özellikler: sap uzunluğu, 80-150 cm; sap şekli, dört köşe; kapsüllü yan dal sayısı, 3-7 adet; yaprak rengi, açık yeşil; tüylülük durumu, seyrek; yaprak şekli, eliptikal yırtmaçlı; çiçek rengi, beyaz; çiçek sayısı, her yaprak koltuğunda 1 adet bazen 2-3 adet; kapsül boyu, 3-3.5 cm; kapsül genişliği, 0.9 cm; bitkide kapsül sayısı, 70-140 adet; dane rengi, sarı açık kahverengi; dane uzunluğu, 3.1 mm; dane genişliği, 1.9 mm; 1000 dane ağırlığı, 3-5 g; erkencilik durumu, orta erkenci (95-120 gün); dane dökme durumu, az; verim, 60-150 kg da⁻¹; yağ oranı, %50-60; protein oranı, %18-20; fusarium'a dayanıklılığı: ortadır. Toprak derinliği açısından sınırlayıcı bir durum söz konusu olmadığı için susam etkili kök derinliği 90 cm alınmıştır.



Şekil 3.2.Muganlı 57 susam bitkisi (a), kapsülü (b) ve tohumu (c)

3.1.6. Araştırmada Kullanılan Sulama Sisteminin Özellikleri

Denemede kullanılan yüzeyaltı damla sulama sistemi için denetim biriminde; kum çakıl filtre, disk filtre, manometre, su sayacı, vanalar ve bağlantı parçaları; gübre tankı ve gübre enjeksiyon sistemi yer almaktadır. Yüzeyaltı damla sulama iletim sisteminde polietilen (PE) borulardan oluşan ana hat, manifold ve lateraller toprak altına gömülmüştür.

Yüzeyaltı damla sulama sisteminde lateraller toprak yüzeyinin 20, 30, 40 cm altına yerleştirilmiştir. Lateraller, çizel ile açılan izlerin temizlenmesiyle oluşturulan arkların içine gömülmüştür. Bu sistemde ana hat ve manifold borular da deneme alanında açılan arkların içerisine yerleştirilmiştir. Manifold çıkışlarına hava tahliye vanası monte edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Deneme alanına yüzeyaltı damla sulama sisteminin kurulumu

3.1.7. Araştırmada Kullanılan Cihazlar ve Özellikleri

3.1.7.1. Termal kamera (İnfrared termometre) cihazı

Araştırmada termal görüntüler, 8-14 μm spektrum aralığında ölçüm yapan, $32^\circ \times 23^\circ/0.1$ m lense, 160x120 piksel çözünürlüğünde dedektöre, 3.3 mrad geometrik çözünürlüğe ve $\leq 0.08^\circ\text{C}$ termal hassasiyete sahip Testo 871 Model termal kamera yardımıyla elde edilmiştir. Termal kamera cihazı ile yüzey ve örtü sıcaklığı

ölçümlerinde kullanılmıştır.

3.1.7.2. Nötronmetre cihazı

Toprak su içeriği ölçümlerinde CPN 503 DR Hydroprope model nötron prop cihazı kullanılmıştır. Cihaz temel olarak yüksek enerji nötron kaynağı içeren bir prop ve bir yavaş nötron tarayıcı kullanarak toprakta ve diğer materyallerde yeraltındaki nemi ölçmektedir. Fonksiyonların seçimi için içerisinde bir mikro işlemciye, 24 kb veri depolama hafızasına, 16 değişik toprak çeşidi için veri depolama ve gösterme özelliğine sahiptir. Test zamanı, hafızalama formatı ve ölçüm birimleri kullanıcı tarafından seçilebilmektedir.

3.1.7.3. Net radyometre cihazı

Net radyasyon ölçümleri Kipp&Zonen NR Lite2 radyometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz toplam net radyasyonu (net kısa dalga radyasyonu+net uzun dalga radyasyonu) ölçmektedir. Taşınabilir bir biçimde kullanıma uygundur. 200 nm – 100 µm dalga spektral bölgede ölçüm almaktadır. İşletme sıcaklığı -40°C ile 80 °C arasındadır.

3.2. Yöntem

Çalışmada YAD sulama sisteminde uygun lateral derinliğinin belirlenmesi için lateraller toprak yüzeyinden itibaren farklı derinliklerde (20, 30 ve 40 cm) gömülmüştür. Ayrıca damlatıcılardan çıkan suyun toprak içerisindeki hareketi izlenip değerlendirilmiştir. Bu amaçla nötronmetre ve gravimetrik yöntemlerle toprak nem değerleri takip edilmiştir. Araştırmada ölçülen nem değerleri ile HYDRUS-2D\3D yazılımında tahmin edilen toprak nem değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı derinliklerde bulunan damlatıcıların etrafında oluşan su dağılım deseni haritaları irdelenmiştir.

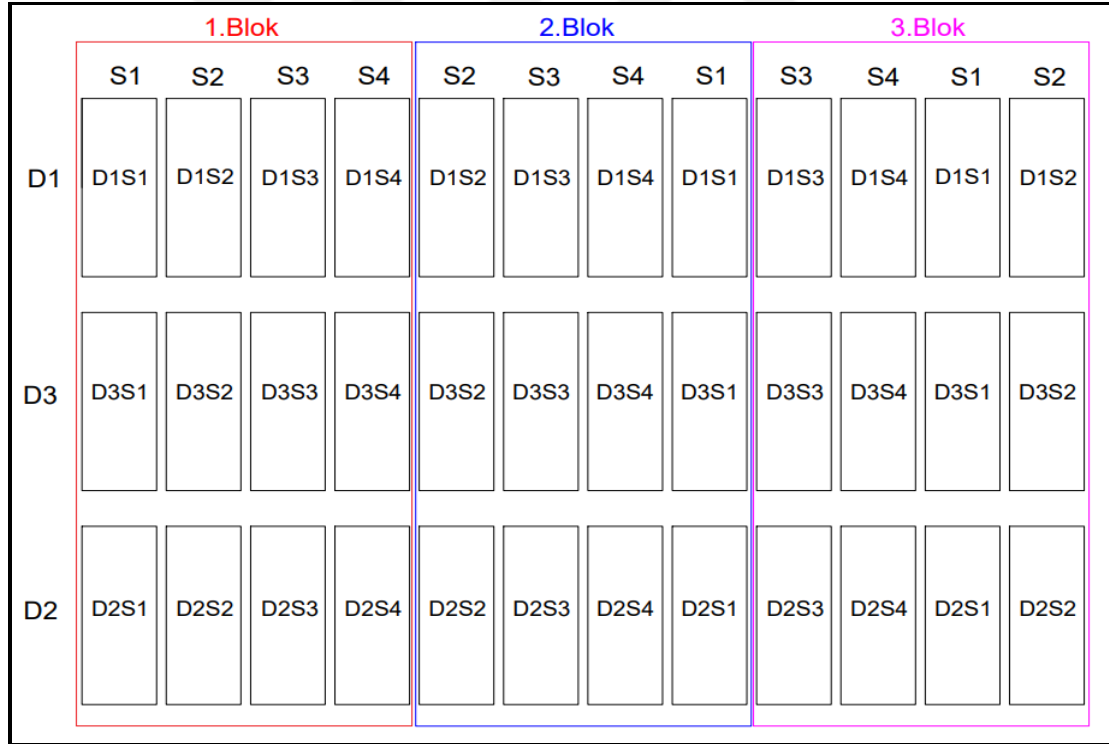
3.2.1. Tarla Deneme Tekniği ve Deneme Konuları

Çalışma Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Aksu Yerleşkesi Uygulama arazisinde tesadüf blokları bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekrarlı arazi denemesi olarak 2 yıl yürütülmüştür. Bitki materyali olarak susam bitkisi kullanılmıştır. Çalışmada farklı lateral derinlikleri alt faktör konuları (20, 30 ve 40 cm) ve farklı su düzeyleri (%100, %70, %40 ve yağışa dayalı üretim) ise ana

faktör konularını oluşturmuştur. Sulama konularının açıklaması Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Araştırma konuları ve açıklamaları

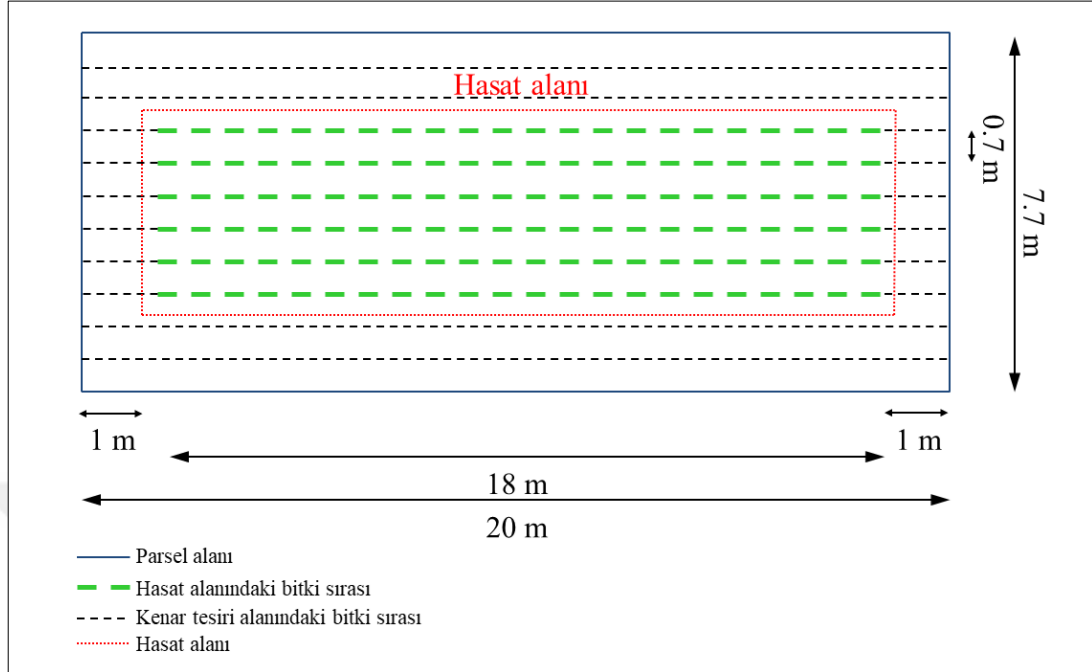
Lateral Derinliği (cm)	Konular	Açıklamalar
D ₁ (20 cm)	S ₁ (%100) S ₂ (%70) S ₃ (%40) S ₄ (%0)	0-90 cm toprak derinliğindeki elverişli nemin % 40'ı (MAD = %40) tüketildiğinde tarla kapasitesi düzeyine ulaştırılacak miktarda sulama suyu uygulanması S ₁ konusunun % 70'i kadar sulama suyu uygulanması S ₁ konusunun % 40'ı kadar sulama suyu uygulanması Yağışa dayalı üretim
D ₂ (30 cm)	S ₁ (%100) S ₂ (%70) S ₃ (%40) S ₄ (%0)	0-90 cm toprak derinliğindeki elverişli nemin % 40'ı (MAD = %40) tüketildiğinde tarla kapasitesi düzeyine ulaştırılacak miktarda sulama suyu uygulanması S ₁ konusunun % 70'i kadar sulama suyu uygulanması S ₁ konusunun % 40'ı kadar sulama suyu uygulanması Yağışa dayalı üretim
D ₃ (40 cm)	S ₁ (%100) S ₂ (%70) S ₃ (%40) S ₄ (%0)	0-90 cm toprak derinliğindeki elverişli nemin % 40'ı (MAD = %40) tüketildiğinde tarla kapasitesi düzeyine ulaştırılacak miktarda sulama suyu uygulanması S ₁ konusunun % 70'i kadar sulama suyu uygulanması S ₁ konusunun % 40'ı kadar sulama suyu uygulanması Yağışa dayalı üretim



Şekil 3.4. Deneme deseni planı

Denemede parsel boyutları ekimde 6.8 x 7.7 m (52 m²) hasatta 3.5 x 4.7 m (16.45 m²) olarak seçilmiştir (Şekil 3.5). Parseller ve bloklar arasına da meydana gelebilecek konveksiyon akımını engellemek için tüm alana bitki ekimi yapılmıştır.

Sadece birinci sulamada her konuya eşit miktarda sulama suyu uygulanmıştır. Diğer tüm sulamalarda konulu sulama yapılmıştır.



Şekil 3.5. Bir parselin hasat alanı ve boyutları

3.2.2. Araştırmanın Yürütülmesinde İzlenen Tarımsal İşlemler

Deneme süresince uygulanan bazı tarımsal işlemler ve uygulama tarihleri Tablo 3.5’de verilmiştir. İlkbaharda toprak pullukla işlenmiş ve deneme yeri mevcut yabancı otlardan temizlenmiştir. Ekimden önce diskaro ve sürge çekilerek tohum yatağı hazırlanmıştır. Ekim öncesinde yüzeyaltı damla sulama sisteminin montajı tamamlanmıştır. Deneme yeri topraklarının laboratuvarında yapılan verimlilik analizi sonuçlarına göre deneme alanı için $10 \text{ kg da}^{-1} \text{ N}$ ve $6 \text{ kg da}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ gübreleme programı uygulanmıştır. Tohumlar 2019 yılında 10 Mayıs, 2020 yılında ise 19 Mayıs tarihlerinde mibzer ile sıra arası 70 cm, sıra üzeri 10 cm olacak şekilde sıraya ekilmiştir.

Tablo 3.5. Araştırmada uygulanan tarımsal işlemler ve uygulama tarihleri

Deneme Yılı	Tarih	Yapılan Uygulama
2019	30.04.2019	Arazi sürümü
	06-08.05.2019	Sulama sistemi kurulumu
	9.05.2019	Deneme alanına gübre uygulaması ve parselasyon yapılması.
	10.05.2019	Bitki ekimi vetoprak örneklerinin alınması
	15.05.2019	Damla sulama sistemi ile çıkış suyunun verilmesi
	17-19.05.2019	Nötron tüplerinin araziye çakılması
	25.05.2019	Bitkide seyreltme yapılması ve yabancı otların temizlenmesi
	31.05.2019	İlk konulu sulamanın yapılması
	04.08.2019	Son konulu sulamanın yapılması
	2.09.2019	1. Hasat (yağışa dayalı üretim konuları)
	11.09.2019	2. Hasat (S ₃ üretim konuları)
	17.09.2019	3. Hasat (S ₂ üretim konuları)
	22.09.2019	4. Hasat (S ₁ üretim konuları)
2020	7.05.2020	Arazi sürümünün yapılması
	10.05.2020	Deneme alanına gübre uygulanması ve parselasyon yapılması
	19.05.2020	Bitki ekiminin yapılması vetoprak örneklerinin alınması
	23.05.2020	Damla sulama sistemi ile çıkış suyunun verilmesi
	2.06.2020	Bitkide seyreltme yapılması ve yabancı otların temizlenmesi
	3.06.2020	İlk konulu sulamanın yapılması
	15.08.2020	Son konulu sulamanın yapılması
	13.09.2020	1. Hasat (yağışa dayalı üretim konuları)
	16.09.2020	2. Hasat (S ₃ üretim konuları)
	23.09.2020	3. Hasat (S ₂ üretim konuları)
	28.09.2020	4. Hasat (S ₁ üretim konuları)



Ekim işlemi



Toprak örneklerinin alınması ve tartım aşaması



İlaçlama işlemi



Gübreleme işlemi



Probların bitki sırasına akılması



Kalibrasyon işlemi



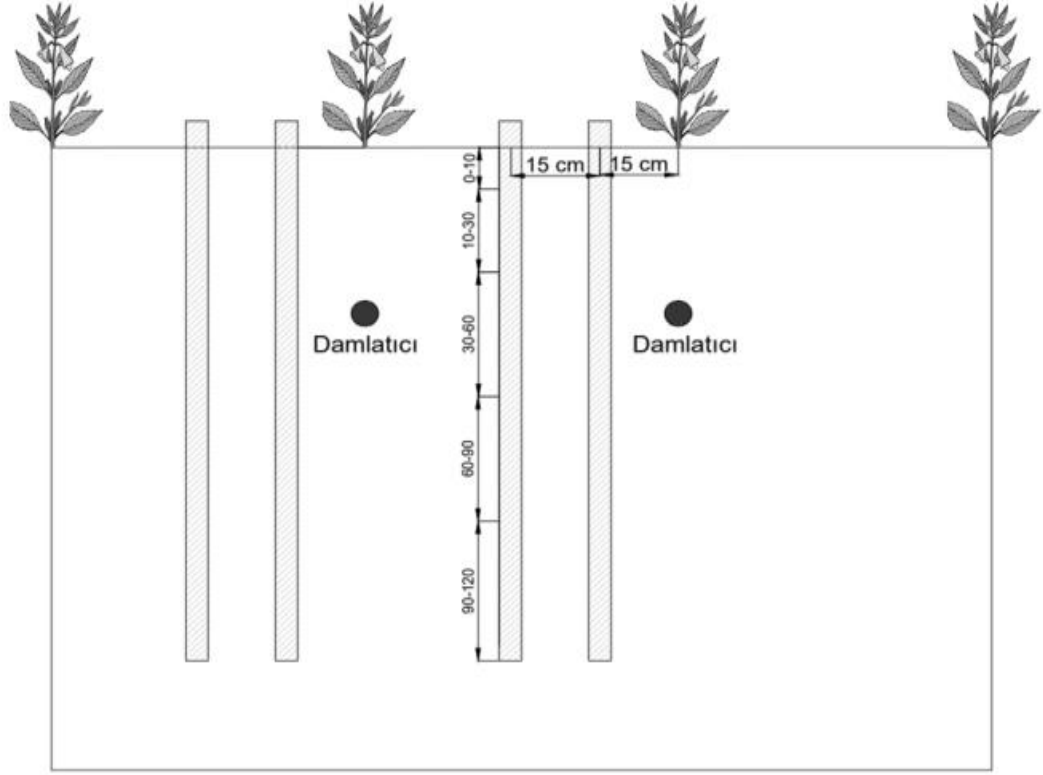
Nötron metre ile ölçüm aşaması

3.2.3. Araştırmada Gerekli Verilerin Ölçüm ve Temin Yöntemleri

3.2.3.1. Toprak su içeriği ölçümü

Toprak profilinde hacimsel su içeriği nötron metre cihazı ile izlenmiştir. Nötron ölçüm tüpleri her 30 cm de bir 120 cm toprak derinliğine kadar, toprak su içeriğini ve yanal su akışını izlemek için, 15 cm aralıklar ile 2 adet olacak şekilde araziye yerleştirilmiştir (Şekil 3.6). 0-30 cm toprak katmanındaki nem değerinin doğru bir şekilde ifade edilebilmesi için gravimetrik yöntem ile toprak nem değeri tespit edilmiştir. Nötron metre cihazının deneme alanı için kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon işlemi için 4x4 m boyutlarında iki adet parsel oluşturulduktan sonra parselin birine, 120 cm'lik toprak profili doygun hale gelene kadar su uygulanarak saturasyon koşulları oluşturulmuştur. Diğer parsel ise herhangi bir su uygulaması yapılmamış olup kuru koşullar oluşturulmuştur. Böylece yüksek (ıslak) ve düşük (kuru) toprak su içeriği koşulları elde edilerek her bir parsel 3' er adet nötron borusu yerleştirilmiştir. Her bir borudan 30 cm toprak derinliklerinde dörder adet bozulmamış toprak örneği alınmıştır. Kalibrasyon amacıyla, hacime dayalı belirlenen toprak su düzeylerine karşın nötron metre sayım oranları istatistiksel biçimde değerlendirilerek farklı toprak katmanları için ayrı regresyon denklemleri elde edilmiştir.

Gravimetrik yöntem ile toprak nem içeriğinin belirlenmesinde, etkili kök bölgesinin her 30 cm'lik katmanı için toprak örnekleri alınmıştır. Bunun için burgu aleti kullanılmış olup alınan örnekler nemin buharlaşması engellenecek şekilde kaplara konulmuştur. Yaş ağırlıkları hassas terazi ile tartılmıştır. Daha sonra örnekler etüvde 105 °C'de 24 saat sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra tekrar tartılmıştır. Böylelikle toprağın nem değeri tespit edilmiştir.



Şekil 3.6. Deneme parsellerinde nötron tüplerinin konumu



Şekil 3.7. Deneme parsellerinde nötron tüplerinin konumu

3.2.3.2. Örtü ve yüzey sıcaklığı ölçümü

Termal görüntüler 8-14 μm spektrum aralığında ölçüm yapan, $32^\circ \times 23^\circ/0.1$ m lense, 160x120 piksel çözünürlüğünde dedektöre, 3.3 mrad geometrik çözünürlüğe ve $\leq 0.08^\circ\text{C}$ termal hassasiyete sahip termal kamera yardımıyla elde edilmiştir. Termal görüntüler ile elde edilen kanopi sıcaklıkları her iki sulamada bir 11:00 ile 14:00 saatleri arasında yapılmıştır. Termal kamera bahsedilen bu saatler içerisinde arazi denemesindeki bitki sıra üzerine dik ve paralel olmak üzere dört yönden görüş alanında bitki ve toprağı göz önünde bulunduracak şekilde konumlandırılmıştır.

Böylelikle, S1 konularındaki bitkiler ıslak referansı, kurutulmuş bitkiler kuru referansı belirlemek için kanopi sıcaklıklarının ölçüm değerleri kullanılmıştır. Ölçümler her sulama konusunun her bir tekerrüründe gerçekleştirilmiştir. Ortalama kanopi sıcaklığı görüntü içerisindeki toprak gibi diğer öğeler ayrıldıktan sonra sadece bitki için hesaplanmıştır. Ölçümlerde aletin emissivite değeri bitki yüzeyi olduğu için 0.95 alınmıştır (Jones, 2002: vd.). Islak ve kuru toprak yüzeyleri referans yüzey olarak kullanılmıştır (Leinonen ve Jones, 2004).

3.2.3.3. Net radyasyon ölçümü

Net radyometre bitkilerin en üst aksamından yaklaşık 50 cm yukarıda olacak biçimde kabarcıklı düzeç dikkate alınarak konumlandırılmış ve denemenin her parselinde ölçüm alınmıştır. Ayrıca, kuru ve su ile doyurulmuş çıplak toprak yüzeylerinde net radyasyon ölçümleri yapılmıştır.

3.2.4. Araştırma Kapsamında Yapılan Hesaplamalar

3.2.4.1. Sulama suyunun hesaplanması

Tüm konulara ekimden hemen sonra YÜD sulama ile çıkış suyu verilmiştir. Çıkıştan itibaren tüm parsellerdeki eksik nem tarla kapasitesine getirilerek eşitlenmiştir. Elverişli nemin %40'ı tüketildiğinde konulu sulama uygulamalarına başlanmıştır. Sulamalardan önce tüm deneme parsellerinden 3 tekrarlı toprak örnekleri alınarak gravimetrik yöntem ile eksik nem değerleri hesaplanmıştır. Tüm konulara eksik nem elverişli nemin %40'ına ulaşıldığı anda kontrol konuları $D_1S_1 = \%100$, $D_2S_1 = \%100$ ve $D_3S_1 = \%100$ tarla kapasitesine, diğer konulara ise belirlenen oranlarda (%70 ve %40) kısıntı uygulanarak sulamalar yapılmıştır. Ayrıca uygulanacak sulama suyu alanın belirli bir kısmına verileceği için örtü yüzdesi (P_c) değerine bölünerek hesaplama yapılmıştır.

$$dn = \frac{(TK-SN)}{100} \times R_y \times D \times P_c \times \gamma_t \quad (3.1)$$

Burada; dn, net sulama suyu miktarı (mm); TK, tarla kapasitesi (%); SN, solma noktası (%); R_y , elverişli nemin tüketilmesine izin verilen miktarı (%); D, etkili kök derinliği (mm); P_c örtü yüzdesi (%) ve γ_t toprağın birim hacim ağırlığıdır ($g\ cm^{-3}$).

3.2.4.2. Referans bitki su tüketiminin hesaplanması

Bu çalışmada referans bitki su tüketimi çim bitkisi (ET_o) ve uzun boylu bitki (yonca) (ET_r) için ayrı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda FAO Penman Monteith yöntemi kullanılmıştır (Allen vd., 1998 ve ASCE EWRI, 2005). Hesaplamalar saatlik ve günlük olarak yapılmıştır.

3.2.4.3. Toprak su bütçesine göre bitki su tüketiminin hesaplanması

Çalışmada tüm sulama suyu uygulamaları sırasında örtü yüzdesi (P_c) değerleri 100'den daha düşük gerçekleşmiştir. Allen vd. (1998)'e göre, bir sulama alanının tamamını temsil eden sulama suyunun alanın belirli bir kısmına verilmesi durumunda bu miktar toprak su bütçesi hesabında P_c değerine bölünerek dikkate alınmalıdır. Bu yaklaşıma göre, P_c 'nin 100'ün altında olduğu durumlarda ıslanan toprak bölgesinde ölçülen toprak su içeriğine dayalı olarak hesaplanan ET_c 'nin (ET_{cTPS}), tüm alanı temsil etmesi için bir dönüştürme işlemine gereksinim görülmüştür. Denemede ET_{cTPS} değerleri tüm alanı temsil etmek üzere P_c 'ye dayalı olarak tekrar düzeltilmiştir. İlk olarak bitki su tüketimi toprak su bütçesinden yararlanılarak her iki toprak su ölçümü arasında kalan zaman dilimi için Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır (Jensen, 1990: vd.; Allen, 1998: vd.; Evet, 2002).

$$ET_c = I + P \pm \Delta S - DP - RO \quad (3.2)$$

Burada; ET , bitki su tüketimi (mm); I , uygulanan sulama suyu (mm); P , yağış (mm); ΔS , etkili kök bölgesindeki toprak suyu değişimi (mm); DP , derine sızma (mm); RO , yüzey akışı (mm)'dir. Burada 90 cm kök derinliği altındaki toprak nemi (90-120 cm) izlenerek derine sızma kayıpları belirlenmiştir.

3.2.4.4. Evaporasyonun (E) hesaplanması

Günlük evaporasyon (E) değeri, günlük hesaplanan ET_c değerinden günlük T_r değeri çıkartılarak bulunmuştur. Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanan ET_c değerindeki buharlaşma değerlerinin oranları Eşitlik 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır (Blonquist, 2006: vd.).

$$E = ET \times e^{-k \times LAI} \quad (3.3)$$

Eşitlikte; k , güneş radyasyonu için bir katsayısı (0.39); LAI , bitkinin yaprak

alan indeksi (toplam yaprak alanının yapraklar tarafından örtülen alana oranı) ($m^2 m^{-2}$); ET, bitki su tüketimi (mm); E, toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşmadır.

3.2.4.5. Transpirasyonun (T_r) hesaplanması

Çalışmada günlük transpirasyon (T_r) değerleri ET değerlerinden E değerleri çıkarılarak bulunmuştur (Blonquist, 2006: vd.).

$$T_r = ET - E \quad (3.4)$$

Eşitlikte; ET, bitki su tüketimi (mm); E, toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşma; T_r , bitki yüzeyinden meydana gelen terleme değerini ifade etmektedir.

3.2.4.6. Buhar basıncı açığının (VPD) hesaplanması

Bitkinin su stresine karşı göstereceği etkiyi belirlemede önemli bir parametre olan buhar basıncı açığı (VPD), bitki su stres indeksi (CWSI)'nin hesaplanmasında belirleyici olarak kullanılmaktadır. VPD (kPa) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Deneme süresince hava sıcaklığı ve bağıl nem deneme arazisinde kurulu olan meteoroloji ölçüm aletinden elde edilmiştir (Ward ve Elliot, 1995; Allen, 1998: vd.).

$$VPD = e_s - e_a \quad (3.5)$$

$$e_s = \exp \frac{16.78T - 116.9}{T + 273.3} \quad (3.6)$$

$$e_a = e_s \frac{RH}{100} \quad (3.7)$$

Eşitlikte; e_s , doymuş buhar basıncı (kPa); e_a , gerçek buhar basıncı (kPa); T, hava sıcaklığı ($^{\circ}C$) ve RH, nispi nem (%)'dir.

3.2.4.7. Bitki su stres indeksinin (CWSI) hesaplanması

Bitkinin ihtiyaç duyduğu suyun zamanında karşılanması gerekmektedir. Toprak içerisinde yeterli miktarda su bulunmadığı zaman bitki fizyolojisi olumsuz yönde etkilenmektedir. Farklı sulama yöntemlerinde bitki verim ve kalitesi açısından bitki stres düzeyleri belirlenmelidir. Bitki su stres indeksi hesaplanmasında Idso vd. 1981'de belirtilen deneysel yöntemden yararlanılmıştır. Bu amaçla su stresi oluşturulmayan S1 konusuna ilişkin ölçümler ile belirlenen bitki örtüsü sıcaklığı atmosfer sıcaklığı farkı ($T_c - T_a$) ve atmosferin buhar basıncı açığı (VPD) değerlerinin

doğrusal regresyonu ile alt baz hattı (LL), su uygulanmayan S4 konusundan ve kurutulmuş bitkilerden alınan ölçümlerden yararlanılarak üst baz hattı (UL) belirlenerek temel grafik elde edilmiştir. Bitki su stres indeksi (CWSI) değerleri anılan grafikten yararlanılarak Eşitlik (3.8) ile hesaplanmıştır.

$$CWSI = [(T_c - T_a) - (LL)] / [(UL) - (LL)] \quad (3.8)$$

Eşitlikte; T_c ve T_a sırası ile bitki örtüsü ve hava sıcaklığı değerleridir. LL değeri hesaplamanın yapıldığı T_c ve VPD'ye ilişkin temel grafikteki alt limit, UL ise üst limit değerini ifade etmektedir.

3.2.4.8. Su verim ilişkilerinin hesaplanması

Su stresi nedeniyle meydana gelen birim bitki su tüketimi azalışına karşılık verimde meydana gelen azalmayı belirlemek için aşağıda verilen su üretim fonksiyonu eşitliği kullanılmıştır. Son yıllarda bu ilişkileri belirlemek için birçok model geliştirilmiştir. Bunlar içerisinde Stewart eşitliği en yaygın kullanılan modellerden birisidir (Stewart, 1976: vd.; Doorenbos ve Kassam, 1979). Bu model oransal su tüketimi eksikliği ile oransal verim azalışı arasındaki ilişkiye dayanmaktadır.

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \quad (3.9)$$

Eşitlikte; Y_a , su kısıntısı koşullarında gerçek verim; Y_m ; tam sulama koşulunda en yüksek verim; ET_a , su kısıntısı koşullarında gerçek su tüketimi; ET_m , tam sulama koşulunda en yüksek su tüketimi; k_y , su verim tepki etmenini göstermektedir.

3.2.4.9. Su kullanım üretkenliğinin hesaplanması

Farklı sulama konuları ve su kısıntılarının verimliliğini değerlendirmek için su kullanım üretkenliğinden yararlanılmıştır. Farklı sulama konularına göre toplam su kullanım üretkenliği (WUE) ve sulama suyu kullanım üretkenliği (IWUE) olmak üzere iki şekilde aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmıştır (Howel, 1990: vd.).

$$WUE = \frac{YLD}{ET_a} \quad (3.10)$$

Eşitlikte; YLD, susam verimi ($kg \ ha^{-1}$); ET_a , mevsimlik gerçek bitki su tüketimi (mm) değerlerini ifade etmektedir.

$$IWUE = \frac{YLD}{I} \quad (3.11)$$

Eşitlikte; I, mevsimlik sulama suyu miktarı (mm) olarak ifade edilmektedir.

3.2.4.10. Yaprak alan indeksinin (YAI) hesaplanması

Yaprak alan indeks (YAI) hesabı için 7 gün aralıkla bitki örnekleme yapıldı ve yaprak alan indeksi (LAI) tahmin edilmiştir.

$$LAI = \text{toplam yaprak alanı/taç iz düşüm alanı} \quad (3.12)$$

Eşitlikten de anlaşılacağı üzere önce her bir parselden seçilen üç susam bitkisinin kapladığı iz düşüm alanı ölçülmüş daha sonra bitkideki yaprakların alanı tespit edilerek oranlanmıştır.

3.2.5. HYDRUS-2D\3D Yazılımı ile Sayısal Modelleme

3.2.5.1. HYDRUS-2D\3D modelinin kalibrasyonu

HYDRUS-2D\3D yazılımı ile sayısal modellemenin kalibrasyon işleminde model girdi parametreleri ve karşılaştırma için ölçülen toprak nem değerleri kullanılmıştır. Çalışmada ekimden sonraki 19.gün ile 95. gün (28 Mayıs-12 Ağustos 2019) arasındaki sulama dönemi toprak nem içeriği verileri kullanılmıştır. Model kalibrasyonu için verilerin elde edildiği arazi toprak bünyesi; 0-30 cm killi tın (CL), 30-60 cm killi tın (CL), 60-90 cm tın (L) ve 90-120 cm tın (L) olarak sınıflandırılmıştır. Model değerlendirmeleri için kullanılan toprak nem içeriği değerleri nötron metre cihazı ile ölçülmüştür.

3.2.5.2. Su akış denklemine ait girdiler

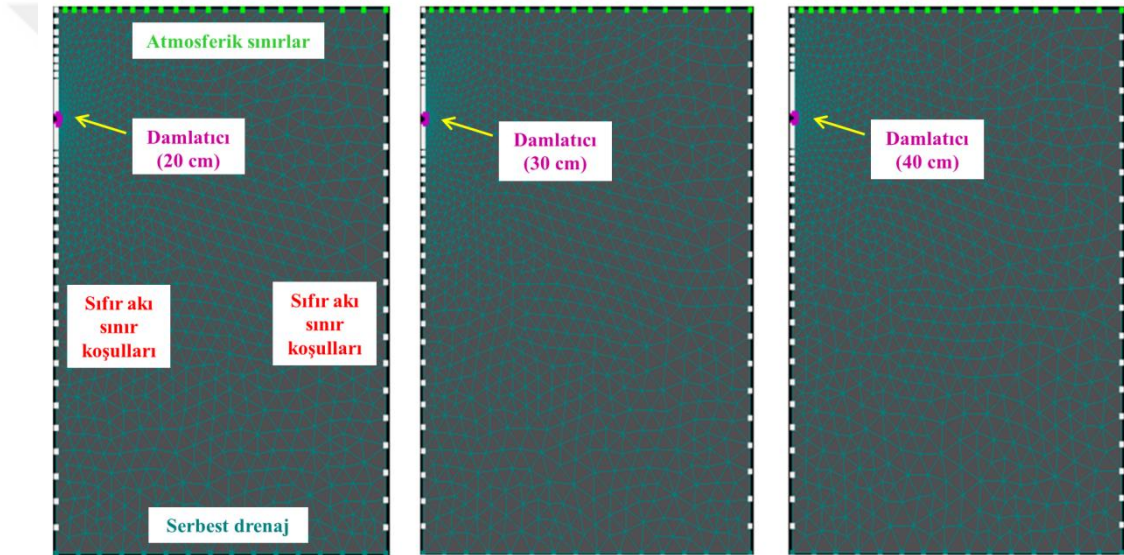
Yüzeyaltı damla (YAD) sulama sisteminde farklı lateral derinliklerinde bulunan damlatıcıların toprak profili boyunca oluşturdukları nem dağılım desenleri, HYDRUS-2D\3D yazılımı kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir (Simunek, 2008: vd.). HYDRUS-2D\3D yazılımı iki ve üç boyutlu değişken doymuş su akışını, ısı hareketini ve çözünen maddelerin taşınmasını simüle edebilmektedir. Program, doymuş su akışı için Richards denklemini sayısal olarak çözmektedir. Bu çalışmada su akışı ve dağılımı iki boyutlu bir süreç olarak, farklı derinliklerdeki laterallere ait damlatıcılar kaynak alınarak simüle edilmiştir.

Model toprakta su akışını tanımlamak için Richards eşitliğine göre hesaplama yapılmaktadır (Eşitlik 3.13).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S(h) \quad (3.13)$$

Eşitlikte; θ , hacimsel su içeriğini; t , zamanı; h , basınç yükünü; K , hidrolik iletkenliği; K_{ij} , boyutsuz hidrolik iletkenlik tensörünü; S , kökler tarafından su alımını; x ise yersel koordinatları ifade etmektedir.

Çalışmada simülasyon için suyun taşınım (akış) alanı dikdörtgen olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.8). Sayısal modelleme sürecinde su akış alanının genişliği 0.50 m, derinliği ise 1.20 m olarak belirlenmiştir. Şekil 3.8'de gösterildiği gibi, varsayılan simetrik profilin sadece bir tarafı simüle edilmiştir.



Şekil 3.8. HYDRUS-2D/3D simülasyonları için kullanılan sınır koşulları

Susam bitki sırası, alanın kenarında, lateral hattı boyunca yer almaktadır. Yüzeyaltı damla (YAD) sulama borusu, dikdörtgen alanın kenarında, toprak yüzeyinden 0.20, 0.30 ve 0.40 m altına yerleştirilmiştir. Taşıma alanı, 6114 üçgen sonlu elemana (3150 düğüm) ayrıştırılmıştır. Sayısal modelleme sırasında gözlem noktaları (düğümleri) Şekil 3.9'da gösterildiği gibi problemin konumlarına denk gelecek şekilde lateral hattından 0.20 ve 0.40 m ve toprak yüzeyinden 0.15, 0.30, 0.45, 0.60, 0.75, 0.90 ve 0.105 m uzaklıklara atanmıştır.

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m}, & h < 0 \\ \theta_s, & h \geq 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

$$K(h) = K_s S_e^1 [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2 \quad (3.15)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad m = 1 - 1/n \quad (3.16)$$

Eşitlikte; θ_s , doymun su içeriği ($m \cdot m^{-3}$); θ_r = hacimsel olarak kalıcı su içeriği ($m \cdot m^{-3}$); α ($metre^{-1}$), $n > 1$, n ve α = şekil parametreleri ve m : $1 - 1/n$; h , basınç yükünü (m) ifade etmektedir.

3.2.5.3. Başlangıç ve sınır koşullarına ait girdiler

Hydrus-2D\3D yazılımı ile sayısal modelleme için sınır koşulları Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Üst su akışı sınır koşulunda zamanla değişken atmosferik sınır koşulu kullanılmıştır. Atmosferik sınır koşulu yağış, buharlaşma (E) ve potansiyel terleme (T) koşullarını kapsamaktadır. Toprak yüzeyi -10000 cm H_2O basınç yüksekliği eşik değerinin (h_{CritA}) altında olduğunda suyun potansiyel buharlaşma oranlarında buharlaştığı varsayılmıştır. Toprak profilinin altında serbest drenaj sınır koşulu kullanılmıştır. Bu sınır koşulu, alt sınır boyunca bir birim gradyan olduğunu varsaymaktadır. Çünkü bu bölgede taban suyunun, kök bölgesi toprak su dinamiklerini etkilemeyecek kadar derin olduğu bilinmektedir.

Lateral hattı üzerindeki damlatıcı, değişken akış sınırı koşulu olarak kullanılmıştır. Değişken akış sınırındaki su akışı, nominal 2.1 L h^{-1} debi akış hızı, lateral sulama hattı çevresi ve damlatıcı aralığı temel alınarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$\text{su akışı (cm h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{damlatıcı debisi (L h}^{-1}\text{)}}{\text{damla sulama borusu çevresi (cm) x damlatıcı aralığı (m)}} \times 10 \quad (3.17)$$

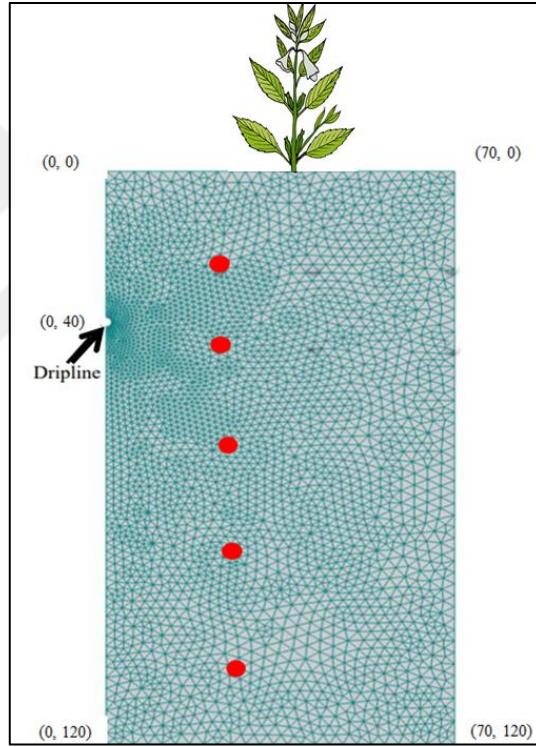
Su uygulaması sırasında, damla sulama laterali hattı sınır akışı 2.97 cm h^{-1} 'lik sabit su akışı ve sulama sonrasında sıfır akış sınırı sayısal simülasyonlar sırasında tanımlanmıştır. Modellemenin yapılacağı toprak alanının her iki tarafında, sulama sırasında ve sonrasında yanal yüzeylerden su giriş ve çıkışının olması nedeniyle sıfır akış sınırı uygulanmıştır (Skaggs, 2004: vd.).

Ayrıca HYDRUS-2D\3D yazılımı ile sayısal modelleme sırasında ek olarak, başlangıç toprak nem içeriği, yağış, sulama ve mekansal kök dağılımı verilerini gerektirmektedir. İlk toprak nem içeriği değerleri, gravimetrik yöntem ile belirlenmiştir. 20, 30 ve 40 cm lateral derinliği konularında başlangıç toprak nem içeriği değerleri, toprak yüzeyi ile 1.20 m derinlik arasında bulunan her 30 cm'de bir

örnek olacak şekilde toprak nem içeriği değerleri, simülasyon aşamasına başlanmadan bir saat önce ölçülen toprak nem içeriği değerleri kullanılmıştır (Tablo 3.6). İlk toprak nem içeriği, hem yatay hem de dikey boyutlarda olacak şekilde tespit edilmiştir.

Tablo 3.6. Prob konumlarında ölçülen başlangıç toprak nem değerleri

Katman	Prob ölçüm derinliği (cm)	Toprak nem içeriği ($m^3 m^3$)
1	0-30	0.17
2	30-60	0.19
3	60-90	0.21
4	90-120	0.22



Şekil 3.9. Simülasyonu yapılan toprak profiline ait mesafe değerleri

3.2.5.4. Toprak fiziksel özelliklerine ait girdiler

Deneme alanında toprak profilinden bozulmamış toprak örneklerinde tarla kapasitesi (TK) ve birim hacim ağırlığı değerleri belirlenmiştir. Bozulmuş toprak örnekleme ile tekstür, solma noktası (SN) ve ilk sulamaya başlamadan önceki nem değerleri 120 cm toprak katmanına kadar her 0-30 cm derinlik için hesaplanmıştır. Bozulmamış örnekler 60 mm yüksekliğe ve 5.3 mm iç çapa sahip paslanmaz çelik

silindirler kullanılarak alınmıştır. Bozulmuş toprak örneklerinde Gee ve Bauder'in hidrometre metodu kullanılarak toprak tekstür bileşenleri (kil, silt ve kum yüzdeleri) ve tekstür sınıfı belirlenmiştir. Bozulmamış örneklerin doymuş hidrolik iletkenlikleri (Ks) permeametre (permeabilite aleti) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. -33 ve -1500 kPa basınçta toprak su tutma potansiyeli basınç kabı kullanılarak TK ve SN değerleri tespit edilmiştir. Bu ölçülen toprak özellikleri Van Genuchten-Mualem denklemi parametrelerini hesaplamak için Rosetta modelinde girdi olarak kullanılmıştır. HYDRUS-2D\3D yazılımı ile sayısal modellemeler sırasında toprak nem karakteristik eğrisinin tanımlanmasında kullanılan toprak hidrolik parametreleri; $\theta_r, \theta_s, \alpha, n$, lve Ks'dir (Tablo 3.7).

Toprak örnekleri 1 ila 1500 kPa arasında değişen ardışık olarak daha yüksek basınçlar uygulanmıştır. Tüm veriler (hem 0-0.15 hem de 0.15-0.30 m) van Genuchten modeline (van Genuchten, 1980) uyarlanmıştır.

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (3.18)$$

Çalışmada, tahmin edilen ile ölçülen nem içeriği arasındaki Hata Kareler Toplamı (HKT), hazırlanarak (Walsh ve Diamond, 1995), Van Genuchten (θ_r, α, n) şekil parametreleri belirlenmiştir.

Tablo 3.7. HYDRUS-2D\3D programında kullanılan toprak parametre değerleri

Derinlik (cm)	Bünye	θ_r (cm cm ⁻³)	θ_s (cm cm ⁻³)	α (1 cm ⁻¹)	n	Ks (cm day ⁻¹)	I
0-30	CL	0.07	0.36	0.005	1.09	0.48	0.5
30-60	CL	0.07	0.36	0.005	1.09	0.48	0.5
60-90	L	0.08	0.43	0.010	1.23	1.68	0.5
90-120	L	0.078	0.43	0.036	1.56	24.96	0.5

3.2.5.5. Kök dağılımı ve kök su alımı girdileri

Susam, kazık köklü bir bitkidir. Kökler, genel olarak 40-50 cm derinlere ve 15-70 cm yanlara doğru yayılmaktadır. Toprak yapısına ve su durumuna göre, kökler 100-150 cm derinlere kadar ulaşabilmektedir (Arioğlu, 2007).

HYDRUS-2D\3D yazılımı ile sayısal modellemelerde kök su alımı, potansiyel terleme, Feddes vd. (1978) tarafından su stres fonksiyonu ve varsayılan kök dağılımı temel alınmıştır. HYDRUS-2D yazılımında kök su alımı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$S(x, z) = \frac{\alpha(x, z)b(x, z)L_t T_p}{\omega_c} \quad (3.19)$$

Eşitlikte; S, bitki su alımı nedeniyle birim hacimdeki topraktan birim zamanda alınan su hacmi ($L T^{-1}$); α , su stresi nedeniyle kök suyu alımını mümkün olan maksimum değerlerinden azaltan su stresi işlevi (L^{-1}); b, normalize edilmiş su alım dağılımı ($L^2 L^{-2}$); L_t , terleme süreci ile ilişkili toprak yüzeyinin ıslak yarıçapını (L) ifade etmektedir.

Susam bitkisine yönelik stres tepki fonksiyonu için Feddes parametreleri, HYDRUS-2D yazılımı içerisinde yer alan veri tabanından elde edilmiştir. Feddes parametresi PO, köklerin topraktan su almaya başladığı basınç yükseklik (h_1) değeri, -10 cm olarak tanımlanmıştır. PO_{opt} , köklerin mümkün olan en yüksek oranda su aldığı basınç yükseklik (h_2) değeri, -25 cm olarak tanımlanmıştır. P2H, köklerin maksimum oranda su alamadığı sınırlayıcı basınç yükseklik (h_3) değeri, -200 cm olarak tanımlanmıştır. Potansiyel terleme oranı, $r_2 L$ değeri, 0.1 $cm\ gün^{-1}$ 'e eşit olduğunda, basınç yükseklik değeri h_3 , (P2L) -800 cm olarak yazılıma tanımlanmıştır. P3, kök su alımının durduğu basınç yükseklik (h_4) değeri, -8000 cm olacak şekilde tanımlanmıştır. h_3 değeri ise aşağıdaki doğrusal enterpolasyona göre belirlenmiştir:

$$\begin{aligned} h_3 &= P2H + \frac{P2L - P2H}{0.5 - 0.1} (0.5 - T_p) & \text{için } 0.1 < T_p < 0.5 \\ h_3 &= P2L & \text{için } T_p \leq 0.1 \\ h_3 &= P2H & \text{için } T_p \geq 0.5 \end{aligned} \quad (3.20)$$

Simüle edilmiş su stres fonksiyonu için h değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$\alpha(x, z) = \begin{cases} 1, & (h \geq h_4 \text{ veya } h \leq h_1) \\ \frac{h_1 - h}{h_1 - h_2}, & (h_2 < h < h_1) \\ 1, & (h_3 \leq h \leq h_2) \\ \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} (h_4 < h < h_3) \end{cases} \quad (3.21)$$

Yüzeyaltı damla sulama yönteminde susamın kök dağılımını tanımlamak için Vrugt modeli (Vrugt, 2001: vd.) kullanılmıştır:

$$b(x, z) = \left(1 - \frac{z}{z_m}\right) \left(1 - \frac{x}{x_m}\right) e^{-\left(\frac{p_z}{z_m} |z^* - z| + \frac{p_r}{x_m} |x^* - x|\right)} \quad (3.22)$$

rm= yatay yönde maksimum kök uzunluğu

zm= dikey yönde maksimum kök uzunluğu

z* ve r*= maksimum kök yoğunluğunun olduğu yatay ve dikey uzunluk

pz ve pr= Simetrik olmayan kökü tanımlayabilen ampirik parametreler

Yazılımda kök dağılımı sonlu mesh düğümlerine ayrılarak normalize edilmiştir (≤ 1). 20 cm lateral derinliğinde kök ölçümlerinin yokluğu nedeniyle yanal kök genişliği 0.30 m'ye ve maksimum derinlik 0.40 m'ye eşit olarak tanımlanmıştır. 30 cm lateral derinliğinde, yanal kök genişliği 0.24 m'ye ve maksimum derinlik 0.56 m'ye ve 40 cm lateral derinliğinde ise yanal kök genişliği 0.20 m'ye ve maksimum derinlik 0.73 m olarak yazılımda tanımlanmıştır. 20 Temmuz 2019 tarihinden sonraki simülasyon süreci için kök gelişiminin durduğu yani gelişmediği ve stabil bir kök sisteminin olduğu varsayılmıştır. Kök dağılımının simüle işlemi için yazılıma girilen parametreler Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da verilmiştir.

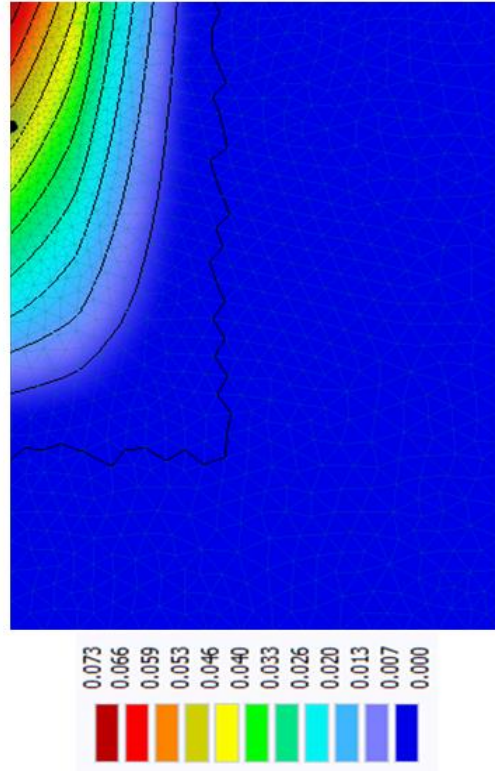
Tablo 3.8. Modelde kullanılan kök parametre değerleri

Lateral Derinliği (cm)	Deneme Konuları	Z _{max} (cm)	R _{max} (cm)	Z* (cm)	R* (cm)
20	S ₁	50	40	22	18
	S ₂	45	30	20	15
	S ₃	40	20	18	10
	S ₄	35	10	16	7
30	S ₁	50	40	20	20
	S ₂	45	35	20	20
	S ₃	25	20	15	10
	S ₄	20	15	15	10
40	S ₁	50	40	20	20
	S ₂	40	32	20	20
	S ₃	20	20	15	10
	S ₄	20	15	15	10

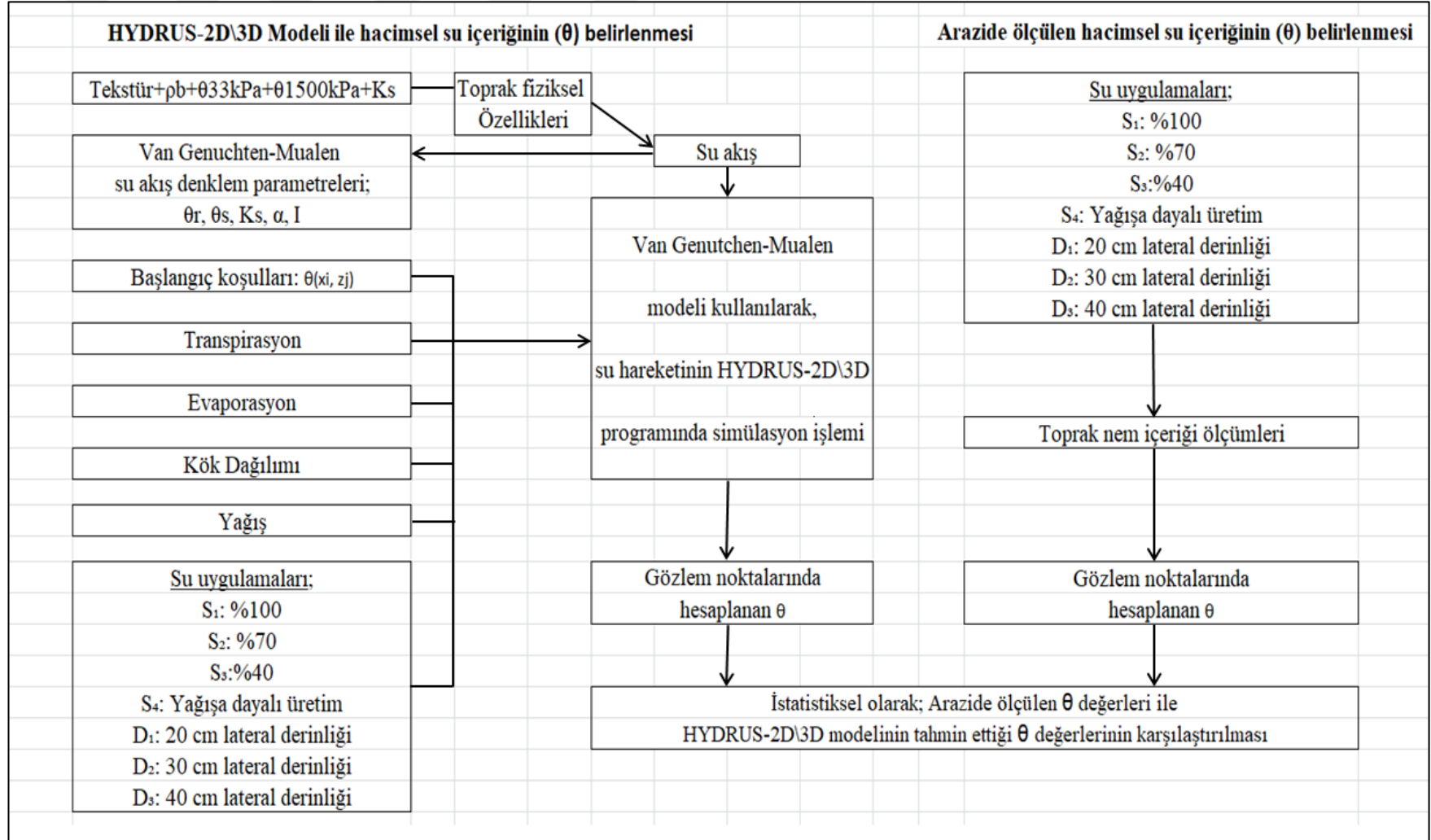
Çalışmada ilk olarak, programa her bir lateral derinliği için ayrı kök parametreleri tanımlanmıştır. Ancak kök dağılımının simüle sonuçları göz önüne alındığında, farklı lateral derinlikleri için farklı kök parametrelerinin programa girilmesinde sonuçların etkilenmediği tespit edilmiştir. Bu bağlamda her bir derinliğe ait kök parametrelerinin ortalama değerleri alınarak giriş yapılmıştır (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. Modelde kullanılan kök parametre değerleri

Deneme Konuları	$Z_{\max}$ (cm)	$R_{\max}$ (cm)	Z^* (cm)	R^* (cm)
S ₁	50	40	22	18
S ₂	45	30	20	15
S ₃	40	20	18	10
S ₄	35	10	16	7



Şekil 3.10. Hydrus-2D\3D yazılımı için kullanılan normalleştirilmiş kök dağılımı



Şekil 3.11. Arazi ve modelleme aşamasında iş akış şeması

3.2.5.1. HYDRUS-2D\3D Yazılımı ile Yapılan Sayısal Modellemenin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Sayısal modellemenin değerlendirilmesi dört farklı istatistiksel ölçüt ile yapılmıştır. Belirleme katsayısı (R^2) Eşitlik 3.19, tahmin hatasının standart sapması (RMSE) Eşitlik 3.20, ortalama mutlak hata (MAE) Eşitlik 3.21 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.23)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (3.24)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|}{N} \quad (3.25)$$

Eşitliklerde; y_i , ölçülen toprak nem değeri ($m^3 m^{-3}$); $\hat{y}_i$, tahmin edilen toprak nem değeri ($m^3 m^{-3}$); $\bar{y}$, ölçülen toprak nem ortalaması değeri ($m^3 m^{-3}$); N, gözlem sayısını ifade etmektedir.

3.2.6. Tohumda Yapılan Kalite Analiz ve Yöntemleri

3.2.6.1. Yağ oranının hesaplanması

Toplam tohum yağ oranı, tahıl ve tahıl ürünleri Toplam Yağ Tayini TS 4967'ye göre yapılmıştır. Tam olarak kurutulmuş ve ince bir şekilde parçalanmış, gerektiğinde öğütülmüş materyal bir yağ çözgeni ile Soxhlet aygıtında sürekli olarak ekstrakte edilmiştir. Toplanan ekstraktaki çözücünün tümü uçurulduktan sonra geriye kalan yağ tartılmıştır. Soxhlet ekstraksiyon balonu etüvde kurutularak sabit tartıma getirilmiş, darası alınarak not edilmiştir. Eğer materyal kuru ise doğrudan, değilse $105^\circ C$ 'de kurutma dolabında kurutulduktan sonra öğütülüp ekstraksiyon kartuşuna 5-10 g örnek tartılmıştır. Kartuş soxhlet ekstraksiyon balonuna yerleştirilip üzerine yaklaşık 140 ml petrol eteri ilave edilerek cihaza yerleştirilmiştir. Petrol eteri $40-60^\circ C$ 'de 30 dakika kaynadıktan sonra $150^\circ C$ ekstraksiyon sıcaklığında 126 dakika süre ile devamlı ekstraksiyon yapılmıştır. Analiz bittikten sonra balon $100^\circ C$ 'de yaklaşık 1 saat etüvde tutulduktan sonra etüvden çıkarılan balon desikatöre koyulup soğuyan cam balon tartılarak yağ miktarlarının belirlenmesi aşağıdaki denklem yardımı ile yapılmıştır.

$$\% \text{ Yağ} = \frac{(M_2 - M_1)}{M} \times 100 \quad (3.26)$$

Eşitlikte; M_1 , sabit tartıma getirilmiş balonun ağırlığı (g); M_2 , balonda son tartımda bulunan toplam yağ miktarı (g); M , alınan örneğin ağırlığını (g) ifade etmektedir.

3.2.6.2. Yağ asidi kompozisyonunun hesaplanması

Yağ asidi kompozisyonu William (1993) tarafından belirtilen yöntemle göre kapilar kolon gaz Kromatografi cihazı kullanılarak yapılmıştır. 0.1g yağ örneği üzerine 0.2 ml 2N metanollü KOH çözeltisi dökülüp vorteks cihazı kullanılarak karıştırılmıştır. Daha sonra üzerine 2 ml n-Heptan ilave edilip tekrar vorteks cihazı ile karıştırılmasından 5 dakika sonra üst faza alınmıştır. Örnek gaz kromatografisi (Agilent 7890A) cihazına 1 µl olarak 40:1 seyreltme oranı ile enjekte edilmiştir. Bileşenlerin ayrımı için kapilar kolon (HP 5MSCapillary; 30.0 m x 0.25 mm x 0.25 µm) kullanılmıştır. Kolon bitiminde bir ayraç (splitter) yardımıyla FID ve kütle spektrometresi dedektörüne (Agilent 5975C) akış 1:1 oranında olacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Analizde taşıyıcı gaz olarak 0.8 ml dakika⁻¹ akış hızında helyum kullanılmıştır. Enjektör sıcaklığı 250°C'de tutulmuş kolon sıcaklık programı - 100°C'de 5 dakika, 200°C'ye 5°C dakika⁻¹ (20 dakika), 200°C 20 dakika, 200°C'den 280°C'ye 20°C dakika⁻¹ (4 dakika) ve 280°C'de 6 dakika toplamda 55 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Kütle detektörü için tarama aralığı (m z⁻¹) 35-450 atomik kütle ünitesi ve elektron bombardımanı iyonizasyon enerjisi 70 eV'dir. Yağ asitlerinin teşhisinde WILEY ve NIST kütüphanelerinin verileri esas alınmıştır. Yağ asitlerinin oranlarında ise FID dedektörünün verileri kullanılmıştır.

3.2.7. Bitki ve Tohumda Yapılan Analiz ve Yöntemleri

3.2.7.1. Bitki boyu (cm)

Her parselde işaretlenmiş 3 bitkide toprak yüzeyi ile tepe noktası arasında kalan mesafe ölçülmüştür. Ölçümler haftada bir kez yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

3.2.7.2. Bitki başına verim (kg bitki⁻¹)

Deneme parsellerinden elde edilen verim değerlerinin parsellerdeki bitki

sayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Ölçümler her bir yıl için o yıla ait hasat döneminde yapılmıştır.

3.2.7.3. Verim (kg da^{-1})

Deneme parsellerinden hasat edilen tohumlar tartılarak kaydedilmiştir. Bunun için her iki yılda da kenar tesirleri dışında kalan sıralardan bitki hasadı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra birim alana (dekar) verim hesabına dönüştürülmüştür.

3.2.8. Arazi Denemesinin İstatistiksel Değerlendirilmesi

Deneme süresince parsellerden elde edilen verim ve verim öğelerinin istatistiksel analizleri Yurtsever (2011)'e göre yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

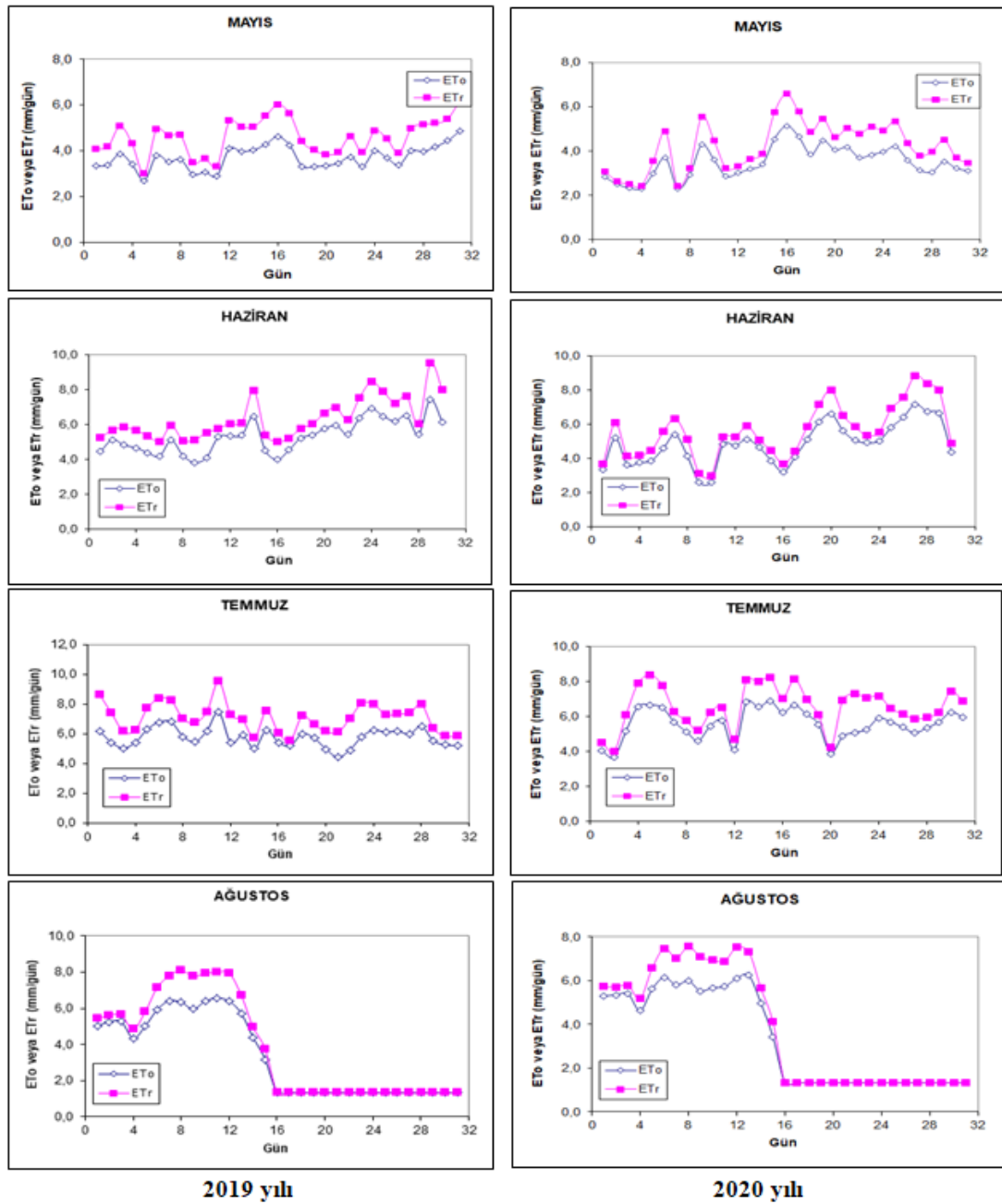
4.1. Arazi Çalışmalarına İlişkin Bulgular

4.1.1. Referans bitki su tüketimi bulguları

Bu çalışmada referans bitki su tüketimi çim bitkisi (ET_o) ve uzun boylu bitki (yonca) (ET_r) için ayrı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda FAO Penman Monteith yöntemi ile günlük olarak hesaplanmıştır (Allen, 1998: vd. ve ASCE EWRI, 2005). Penman-Monteith eşitliği ile hesaplanan 2019 ve 2020 yılı bitki yetiştirme sezonuna ait referans bitki su tüketimi değerlerinin aylar bazındaki (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos) grafikleri Şekil 4.1’de yer almaktadır. Susam yetiştirme dönemlerine ait referans bitki çim (ET_o) için hesaplanan değerler Tablo 4.1’de verilmiştir. Yıllara göre ET_o değerleri sırasıyla 474 mm ve 488 mm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. Deneme sezonu boyunca aylık referans bitki su tüketimi (ET_o , mm ay⁻¹) değerleri

Aylar	Yıllar	
	2019	2020
Mayıs	115	91
Haziran	159	139
Temmuz	179	172
Ağustos	20	86
Toplam	474	488



Şekil 4.1. Deneme yıllarına ait aylık referans bitki su tüketimideğerlerine ait grafikler

4.1.2. Toprak su bütçesi ve bitki su tüketimi bulguları

Toprak su bütçesi hesabına göre belirlenen bitki su tüketim değerleri (ET_{CTPS}), tüm alanı temsil etmesi için örtü yüzdesi (P_c) değerleri ile düzenlenerek ET_c değerleri bulunmuştur. Araştırma süresince her iki yıla ait ET_c değerleri, ET_0 değerleri, yağış miktarları ve her bir konuya uygulanan sulama suyu değerleri Tablo 4.3’de verilmiştir. Buna ilişkin susam bitkisinin deneme süresince toplam yetiştirme sezonu 116-136 gün arasında değişmiştir (Tablo 4.2). Bunun sebebi, bitkinin sürekli çiçek açması yani fizyolojisi ve farklı oranlarda su uygulanmasıdır. Buna ilişkin olarak

bitkinin hasat fizyolojisine uygun olacak şekilde sulamalar sonlandırılmıştır. İlk sulama ile tüm konulara eşit miktarda sulama suyu uygulanmıştır. Daha sonra konu uygulamalarına başlanmıştır.

Tablo 4.2. Deneme konularına göre hasat tarihleri

Yıl	Ekim Tarihi	Hasat Edilen Konu	Hasat Tarihi	ESGG
2019	10 Mayıs	S ₄	2 Eylül	116
		S ₃	11 Eylül	125
		S ₂	17 Eylül	131
		S ₁	22 Eylül	136
2020	19 Mayıs	S ₄	13 Eylül	118
		S ₃	16 Eylül	121
		S ₂	23 Eylül	128
		S ₁	28 Eylül	133

Konu uygulamalarına ilk yıl 31 Mayıs 2019 tarihinde başlanılırken, ikinci yıl da ise 4 Haziran 2020 tarihinde başlanmıştır. Buna göre 2019 yılında 20 cm lateral derinliğinde S₁, S₂, S₃ ve S₄ deneme konularına toplam olarak sırasıyla 356, 253, 150 ve 13 mm sulama suyu; 30 cm lateral derinliğinde S₁, S₂, S₃ ve S₄ deneme konularına toplam olarak sırasıyla 270, 193, 116 ve 13 mm sulama suyu; 40 cm lateral derinliğinde S₁, S₂, S₃ ve S₄ deneme konularına toplam olarak sırasıyla 266, 190, 114 ve 13 mm sulama suyu uygulanmıştır (Ek 1). 2020 yılında ise 20 cm lateral derinliği S₁, S₂, S₃ ve S₄ deneme konularına toplam olarak sırasıyla 321, 229, 137 ve 15 mm sulama suyu; 30 cm lateral derinliğinde S₁, S₂, S₃ ve S₄ deneme konularına toplam olarak sırasıyla 256, 184, 111 ve 15 mm sulama suyu; 40 cm lateral derinliğinde S₁, S₂, S₃ ve S₄ deneme konularına toplam olarak sırasıyla 248, 178, 108 ve 15 mm sulama suyu uygulanmıştır (Ek 2). Deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde, toprak su içeriği değişimleri Ek-3’de yer almaktadır.

Toprak su bütçesi hesaplamalarına göre susam bitkisine ait ET_c değerleri ilk yılda 143-431 mm arasında değişirken ikinci yılda bu değerler 141-390 mm arasında değişim göstermiştir. Özellikle 20 cm lateral derinliği S₁ konusundaki sulama suyu miktarı her iki yılda da fazla bulunmasının sebebi, lateral derinliğinin az olmasından kaynaklı toprak yüzeyine su çıkışlarının olmasıdır. Bu sebeple 20 cm lateral derinliğinde buharlaşma fazla olduğu için yapılan sulama sayısı da diğer derinliklere göre fazla olmuştur (Tablo 4.4).

Tablo 4.3. Deneme konularına göre sulama yağış ve bitki su tüketimi bulguları

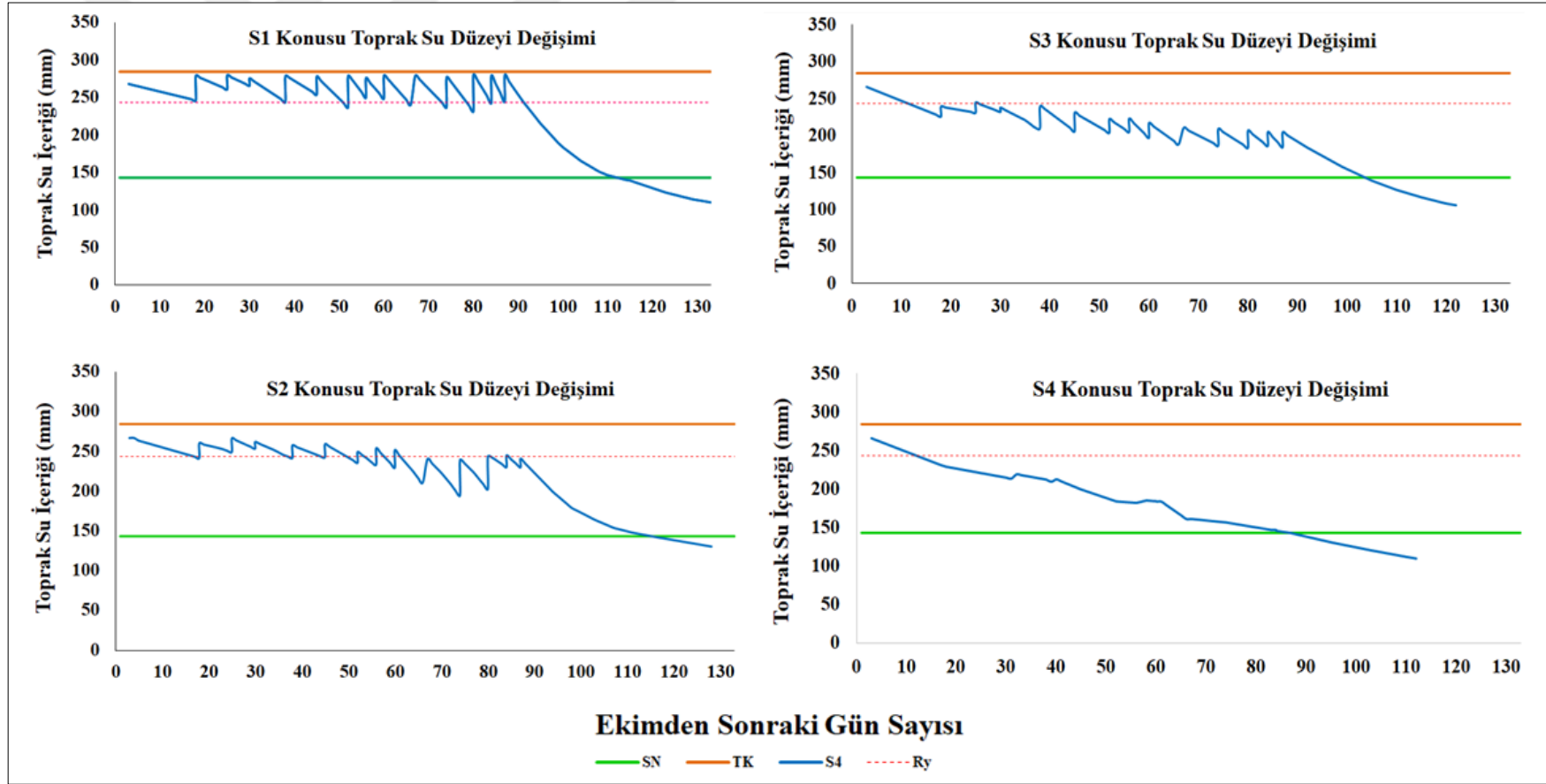
Yıl	Lateral Derinliği (cm)	Deneme Konuları	Sulama Suyu (mm)	Yağış (mm)	ET _c (mm)	ET _o (mm)
2019	20	S ₁	356.0	12.6	431	474
		S ₂	253.0		285	
		S ₃	150.0		257	
		S ₄	12.6		151	
	30	S ₁	270.0	12.6	312	474
		S ₂	192.8		283	
		S ₃	115.6		206	
		S ₄	12.6		147	
	40	S ₁	266.0	12.6	288	474
		S ₂	190.0		283	
		S ₃	114.0		272	
		S ₄	12.6		143	
2020	20	S ₁	321.0	8	390	488
		S ₂	229.1		288	
		S ₃	137.2		204	
		S ₄	14.7		154	
	30	S ₁	256.0	8	294	488
		S ₂	183.6		276	
		S ₃	111.2		192	
		S ₄	14.7		141	
	40	S ₁	248.0	8	273	488
		S ₂	178.0		259	
		S ₃	108.0		240	
		S ₄	14.7		143	

Nötron metre yardımıyla ölçümü yapılan, sulama konularına ait toprak nem içeriği grafikleri Şekil 4.2'den Şekil 4.7'ye kadar olan kısımda yer almaktadır. Grafikler incelendiğinde ilk yıl ve ikinci yıla ait her bir konuya uygulanan sulama suyu miktarları yer almaktadır.

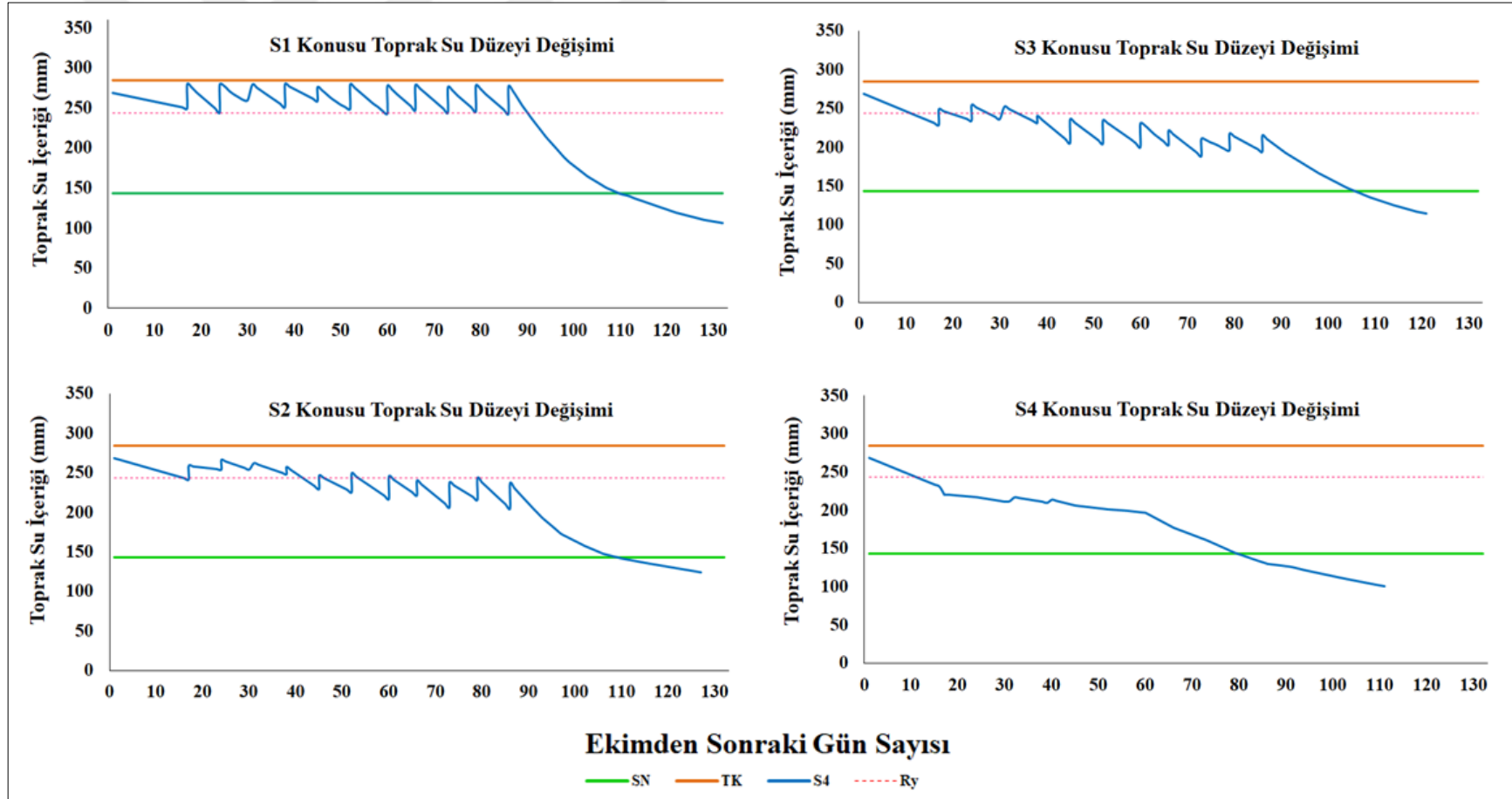
Tablo 4.4. Denemede konulu sulama başlangıç, bitiş tarihleri ve sulama sayıları

Yıl	Derinlik (cm)	İlk Konulu Sulama	Son Konulu Sulama	Sulama Sayısı (adet)
2019	20	31 Mayıs	4 Ağustos	13
	30			11
	40			10
2020	20	3 Haziran	15 Ağustos	12
	30			10
	40			10

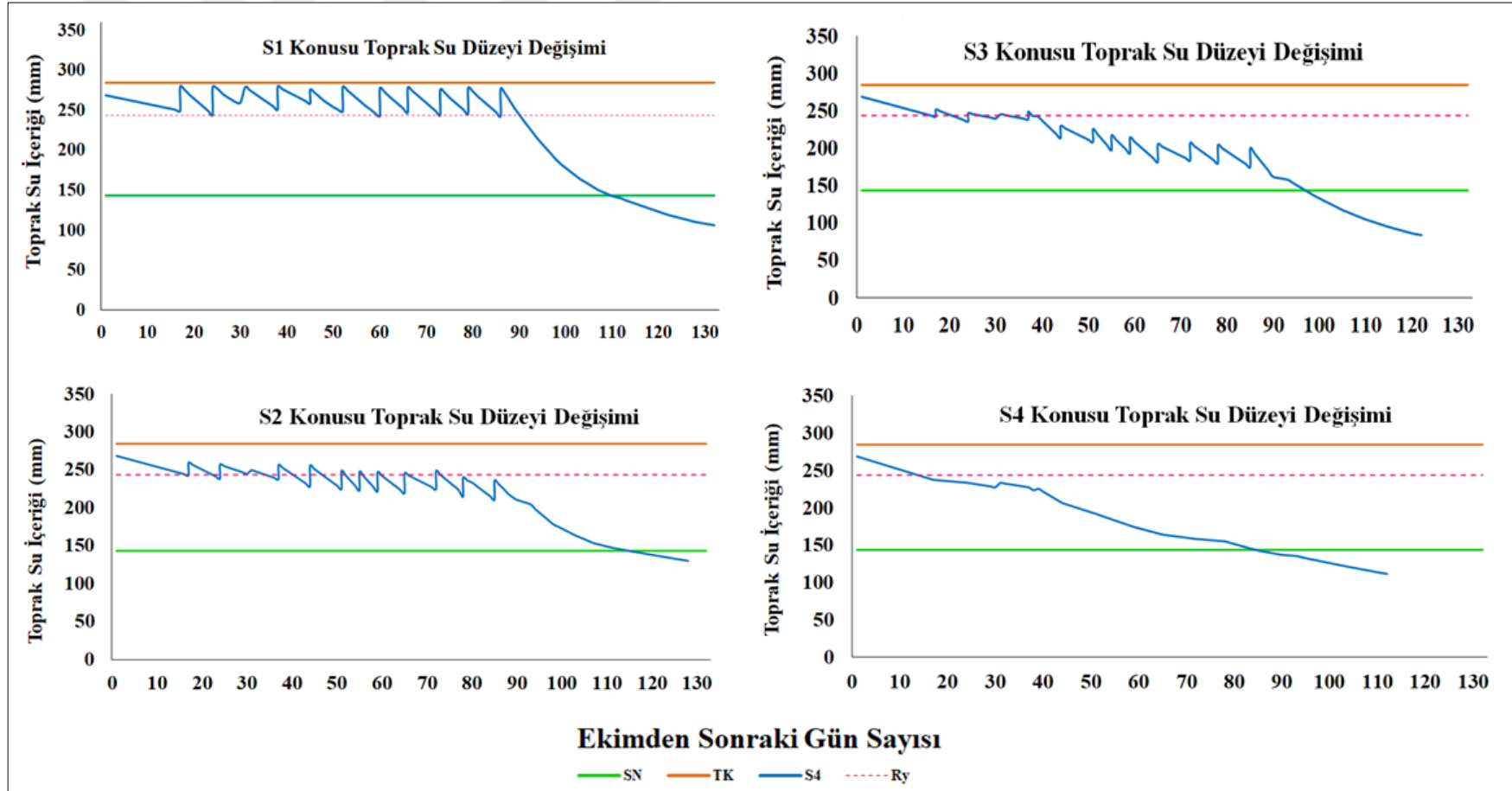
Uçan vd. (2007) çalışmalarında karık sulama ile susam bitkisi için sulama suyu değerini 528.2 – 643.2 mm; Gaafar vd. (2019) YÜD sulama yöntemi herhangi bir su kısıtı uygulaması yapılmadan susam için 558 mm, YAD sulama yöntemi ile 763 mm; Elshamly vd. (2013) tarla koşullarında yağmurlama sulama yöntemi ile farklı su kısıtının uygulandığı çalışmada, susam bitkisinin sulama suyu miktarını 561.4 - 737.1 mm olarak hesaplamıştır.



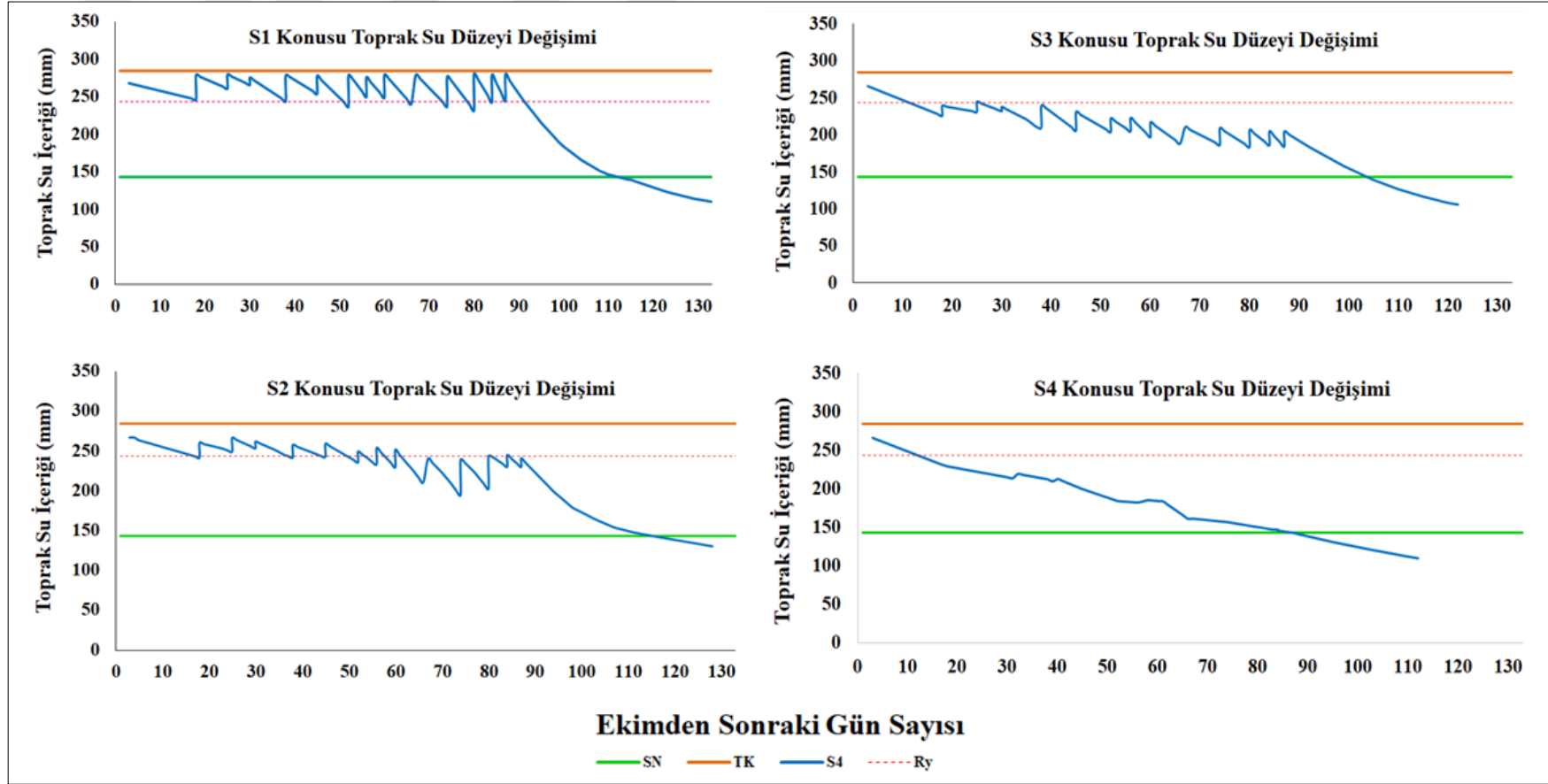
Şekil 4.2. 20 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2019 yılındaki toprak su içeriği grafikleri



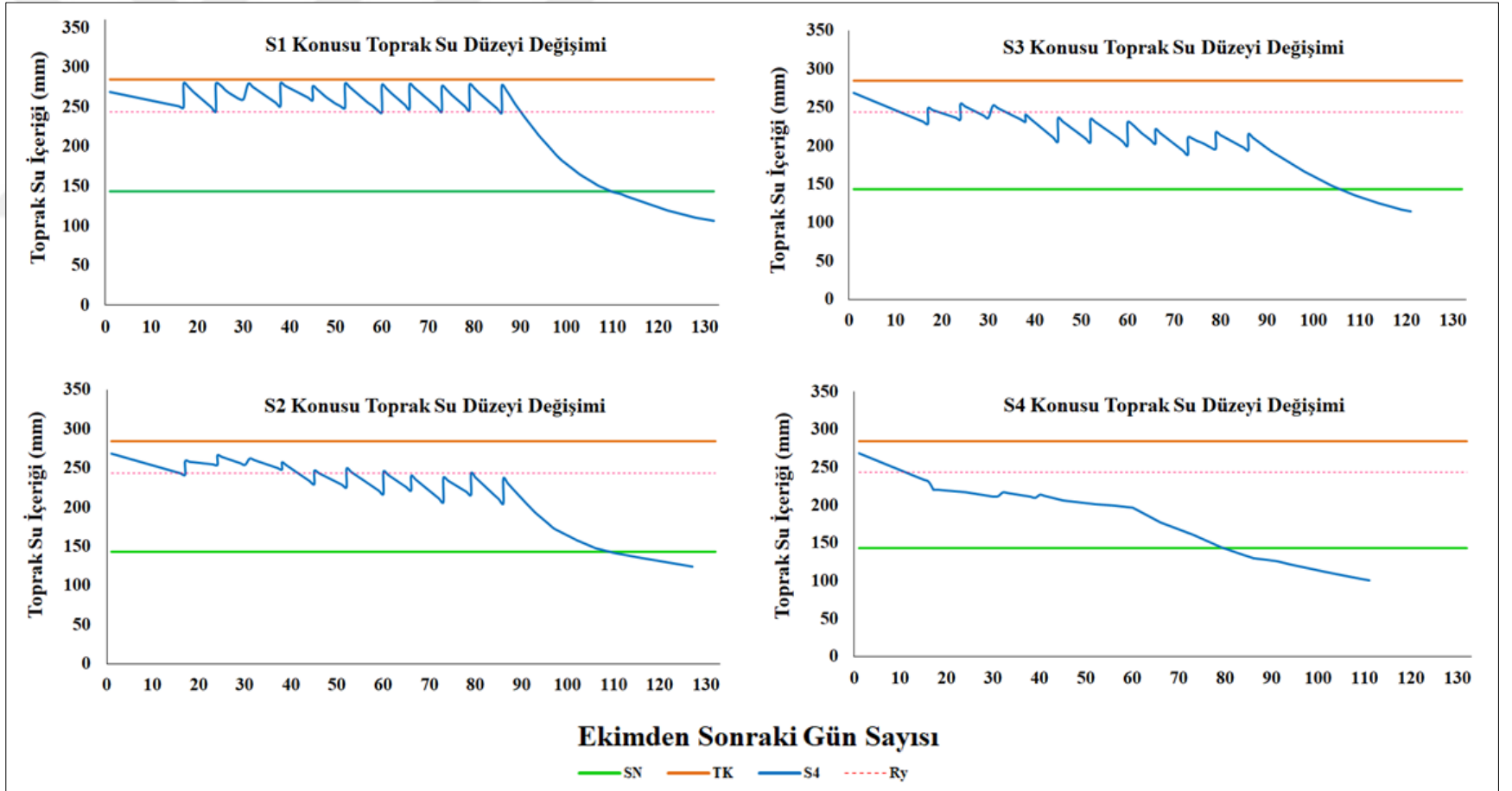
Şekil 4.3. 30 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2019 yılındaki toprak su içeriği grafikleri



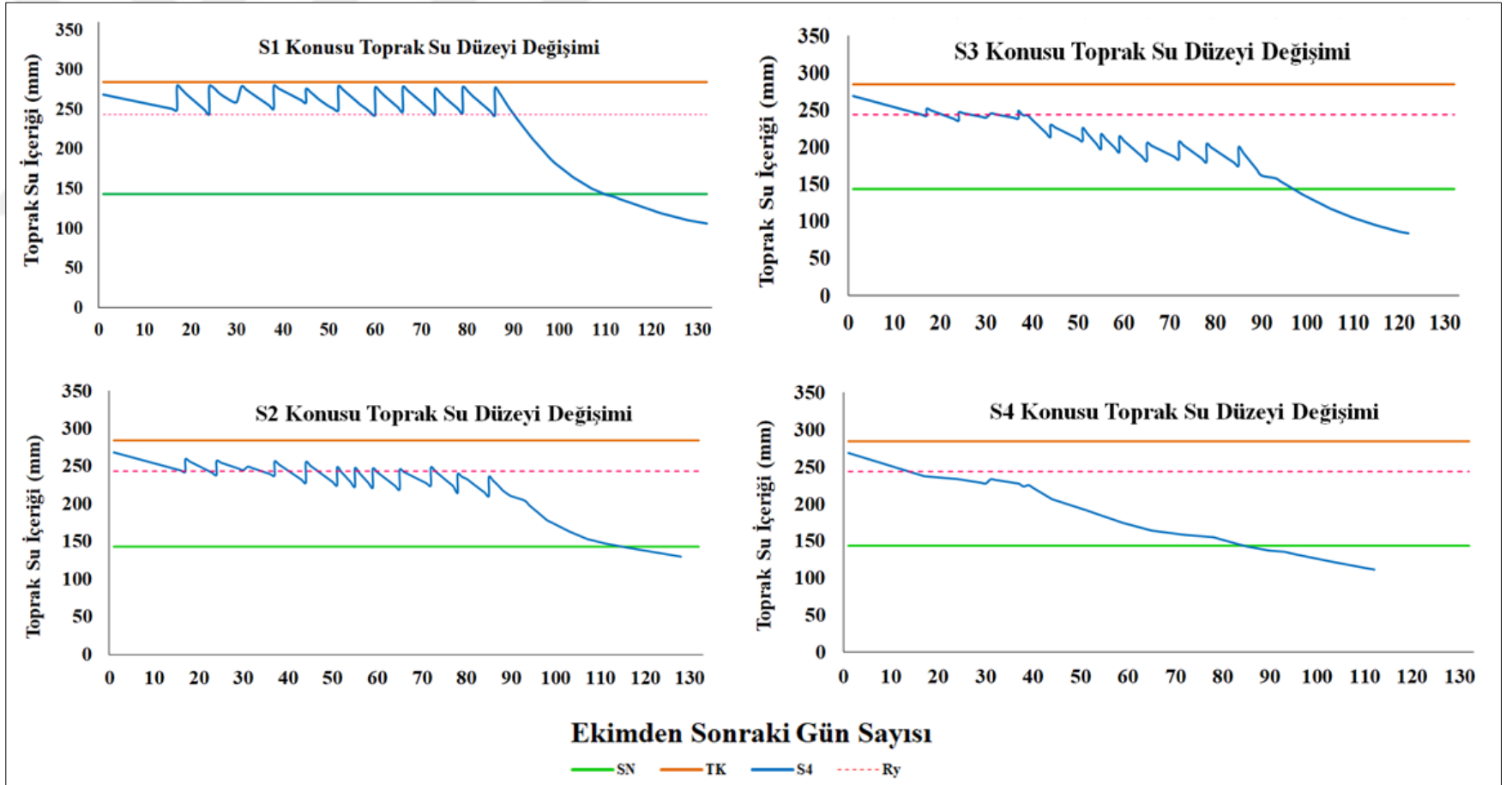
Şekil 4.4. 40 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2019 yılındaki toprak su içeriği grafikleri



Şekil 4.5. 20 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2020 yılındaki toprak su içeriği grafikleri



Şekil 4.6. 30 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2020 yılındaki toprak su içeriği grafikleri



Şekil 4.7. 40 cm lateral derinliğindeki deneme konularında 90 cm toprak derinliğinde 2020 yılındaki toprak su içeriği grafikleri

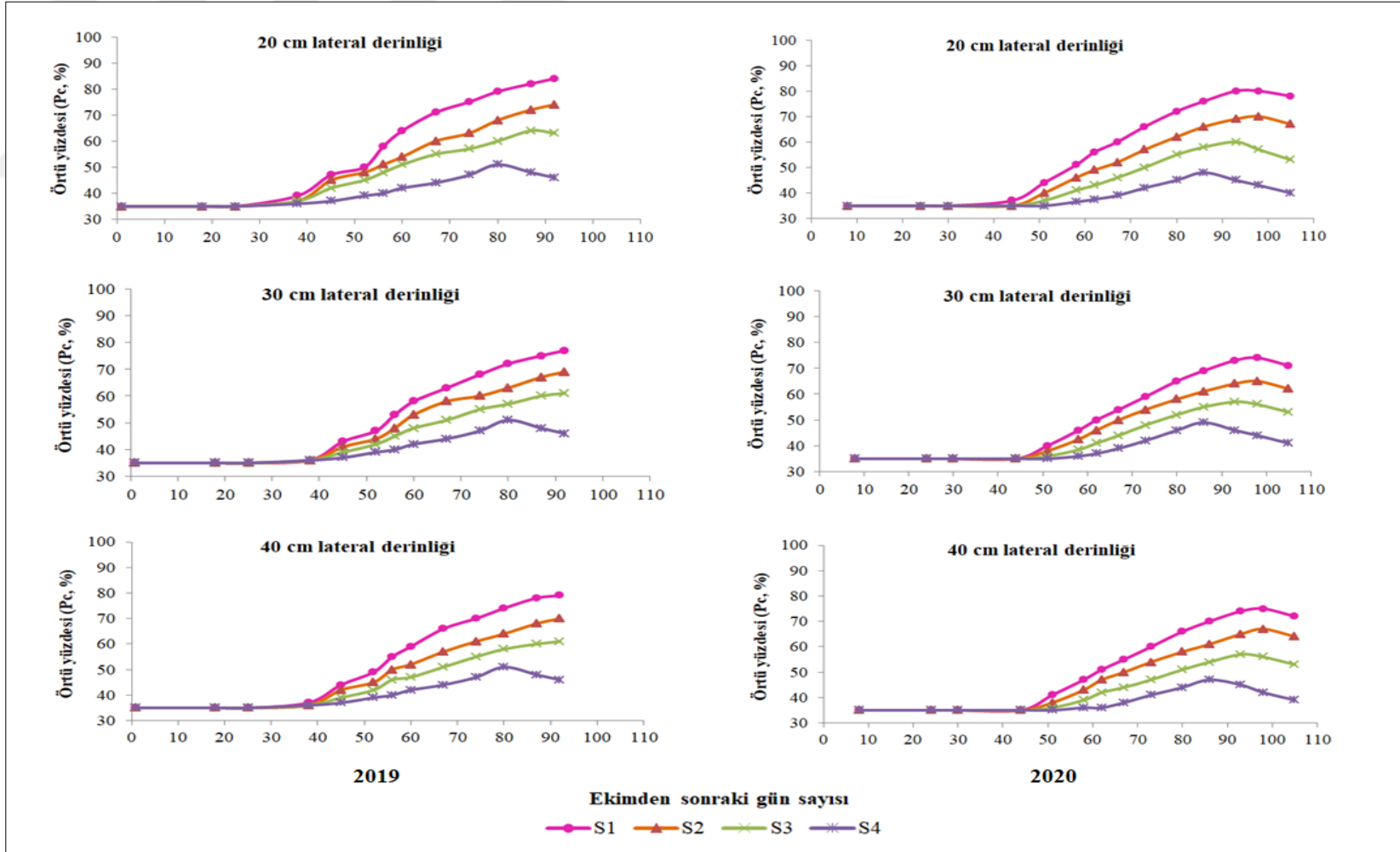
4.1.1. Örtü yüzdesi bulguları

Sulama suyunun hesaplanmasında, ilk sulamanın yapıldığı zaman örtü yüzdesi % 35'in altında olduğundan, örtü yüzdesi değeri % 35 olarak kabul edilmiştir. Örtü yüzdesi (P_c) değerleri % 35'i geçtiğinde ise gerçek ölçülen değerleri hesaplamada kullanılmıştır (Keller ve Bliesner, 1990).

Örtü yüzdesi (P_c) değeri sıra bitkilerinde gölgelenen alan genişliğinin iki bitki sırası arasındaki mesafeye (bitki sıra aralığı, 70 cm) oranlanması ile hesaplanmıştır. Örtü yüzdesi (P_c) değerleri, her sulama öncesi seçilen 3 bitkide ölçümler sonucu belirlenmiştir. Ayrıca ölçümler her zaman aynı bitki üzerinde yapılmıştır. Her iki yıl için deneme konularında ölçülen P_c değerleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekil 4.8'den de anlaşılacağı üzere, ikinci yıl bitkilerin gelişimi birinci yıla göre daha zayıf olmuştur. Bunun başlıca sebebi, ikinci yıl hava ve toprak sıcaklık değerleri Mayıs ve Haziran aylarında ortalama olarak ilk yıla göre daha düşük seyretmiştir.

Örtü yüzdesi (P_c) değeri, birinci yıl 20 cm lateral derinliğinde yer alan S_1 konusunda %84 olarak en yüksek değere ulaşmıştır. Toprak yüzeyinden 20 cm derinliğe yerleştirilen lateraller ile yapılan sulamada bitki kökleriyle erken dönemden itibaren toprak nemine daha kolay ulaşabilmektedir. Bu avantaj bitkinin örtü yüzdesinin fazla olmasına neden olmuştur.

Bitki örtüsü, bitki su tüketiminde önemli parametrelerden birisidir. Örtü yüzdesi (P_c) değeri arttıkça bitkiden gerçekleşecek terleme miktarı artacaktır (Çetin, 2013: vd.).



Şekil 4.8. Lateral derinliklerine göre konuların örtü yüzdesi değişim grafikleri

4.1.2. Yaprak alan indeksi bulguları

Araştırmada yaprak alan indeksi (YAI)'ne yönelik, yaprak örnekleme zamanı ve sayısı Tablo 4.5'de ve çalışmada yapılan ölçümler sonucu hesaplanan YAI değerlerine ait grafikler Şekil 4.9'da verilmiştir. Arazi koşullarında her iki yıl için, 20 cm lateral derinliğinde tam sulama konusu olan S₁ konusunun en yüksek (8.2 ve 8.1 m² m⁻²), yağışa dayalı üretim parseli olan 30 cm lateral derinliğinde S₄ konusu ise en düşük (0.35 m² m⁻²) YAI değerine sahip olduğu çalışmada tespit edilmiştir.

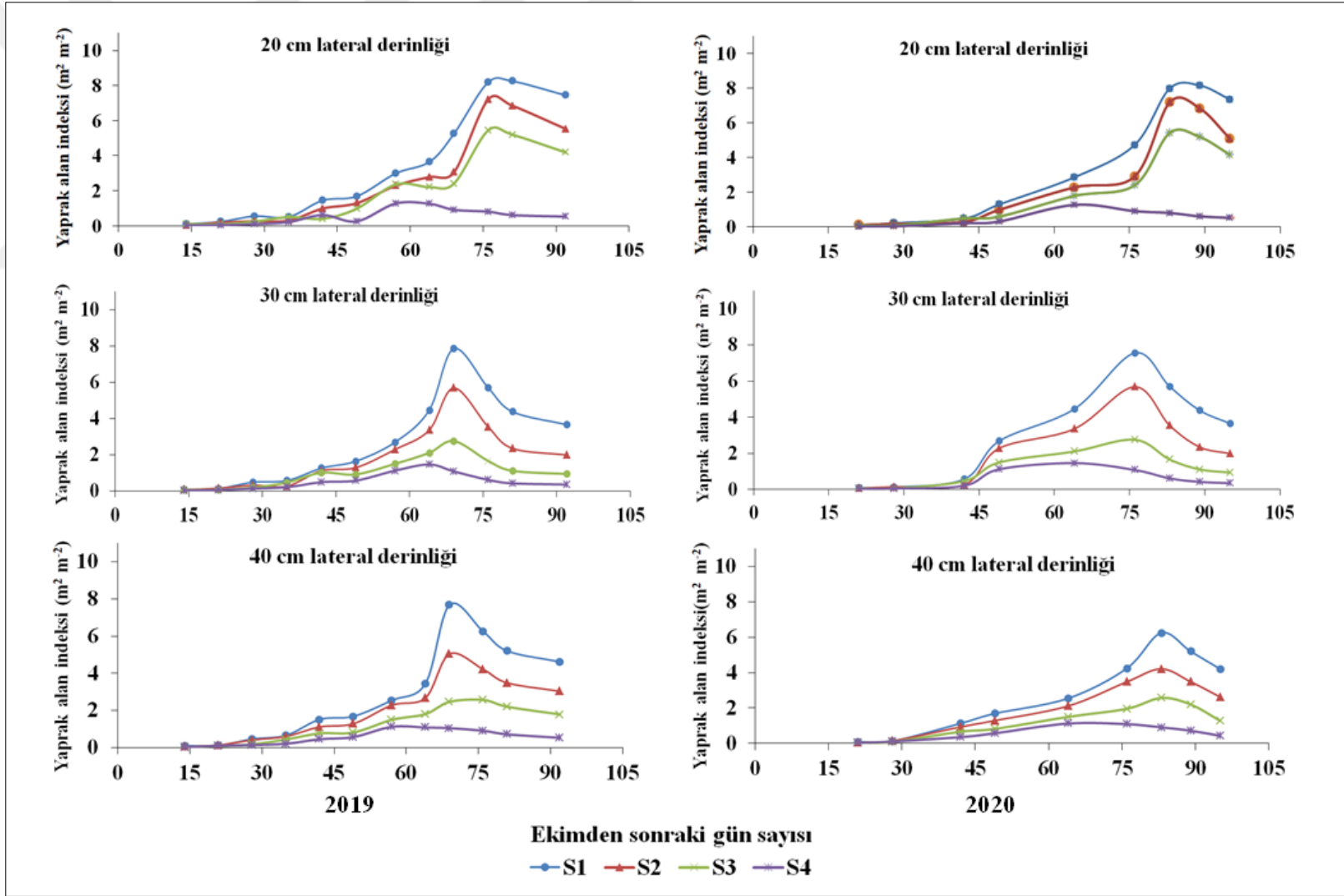
Tablo 4.5. Denemede yaprak örnekleme tarihleri

Yıl	Örnekleme No	Örnekleme Tarihi	ESGS
2019	1	28 Mayıs	15
	2	4 Haziran	22
	3	11 Haziran	29
	4	18 Haziran	36
	5	25 Haziran	43
	6	2 Temmuz	50
	7	10 Temmuz	58
	8	17 Temmuz	65
	9	22 Temmuz	71
	10	29 Temmuz	78
2020	1	4 Haziran	17
	2	11 Haziran	24
	3	25 Haziran	38
	4	2 Temmuz	45
	5	17 Temmuz	60
	6	29 Temmuz	72
	7	5 Ağustos	79
	8	11 Ağustos	85
	9	17 Ağustos	91

El Nadi (1969), su kullanımı ile vejetatif büyümenin doğru orantılı olduğunu çalışmasında belirtmiştir. Şekil 4.9'daki sonuçlar, suyun kökler tarafından kolay alındığı ve en yüksek sulama miktarının uygulandığı 20 cm S₁ konusunda, toplam yaprak alanı yani LAI değerini en yüksek bulunmuştur. Yaprak alan indeksi (LAI) değerleri, sezon ortasında maksimuma ulaşmakta, ardından yaprak yaşlanması sebebiyle, aktif yaprak sayısında azalma meydana gelmektedir.

Farah (1969) yapmış olduğu çalışmasında, su kıtlığının hücre bölünmesi ve yaprak üretimi üzerinde olumsuz etkiye neden olarak, yaprak alanının azaldığını belirtmiştir. Farah (1981), Finch-savage ve Elston (1982) ve Karamanos (1978), artan su stresinin yaprak yaşlanmasına sebep olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, Brady vd. (1974) su stresinin olgun yaprakların hormonal dengesini değıştirdiğini ve böylece yaprak yaşlanmasını artırdığını tespit etmişlerdir.

Ribeiro vd. (2018) çalışmalarında dört farklı susam çeşidinin, farklı büyüme dönemlerinde YAI değerini $5.1-3.4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$; Mamatha vd. (2017) susama farklı kükürt miktarı uygulaması sonucunda YAI değerini $1.71-1.89 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$; Tanko vd. (2020) susam YAI değerini $4.3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak hesaplamışlardır. Bir bitkinin yaprak alanı, çeşidine, yaprak sayısı ve büyüklüğüne ve bitkideki kalıcılığına bağlıdır. Genellikle yaprak alanı maksimuma çıkar ve doğal yaşlanma nedeniyle daha sonrasında azalır (Carvalho 2012: vd.).



Şekil 4.9. Deneme konularına ait yaprak alan indeks değerlerinin grafikleri

4.1.3. Evaporasyon ve transpirasyon bulguları

Toprak yüzeyinden olan buharlaşma sulamadan hemen sonra yüksek ancak ilk başlangıç ıslanma periyodundan sonra toprak yüzeyi kurudukça hızla azalır. Toprak yüzeyinin bir bölümünün bitki örtüsü ile kaplandığı durumundaki ET_c toprak yüzeyinin tamamen kaplandığı koşuldan daha düşüktür (Ferere, 1981; Allen, 1998: vd.).

Bitkilerin bulunduğu ortamlarda evaporasyon ve transpirasyon eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir ve hesaplamada bunları ayırt etmenin kolay bir yolu bulunmamaktadır. Bu yüzden YAI değerlerinden yararlanılarak Eşitlik 3.12 yardımıyla evaporasyon değerleri hesaplanmıştır. Bitkilerin henüz toprak yüzeyini kaplamadığı dönemlerde evaporasyon ile kayıp edilen su transpirasyona göre daha fazla iken bitkinin tümü ile toprak yüzeyini kapladığı bir ortamda transpirasyon ile kayıp edilen su evaporasyondan çok daha fazladır (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Diğer bir husus evaporasyon ile toprak yüzeyine çok yakın konumdaki su kayıp edilebilirken transpirasyon ile bitkinin kök derinliği kadar toprak profilinde tutulan su atmosfere ulaşabilmektedir.

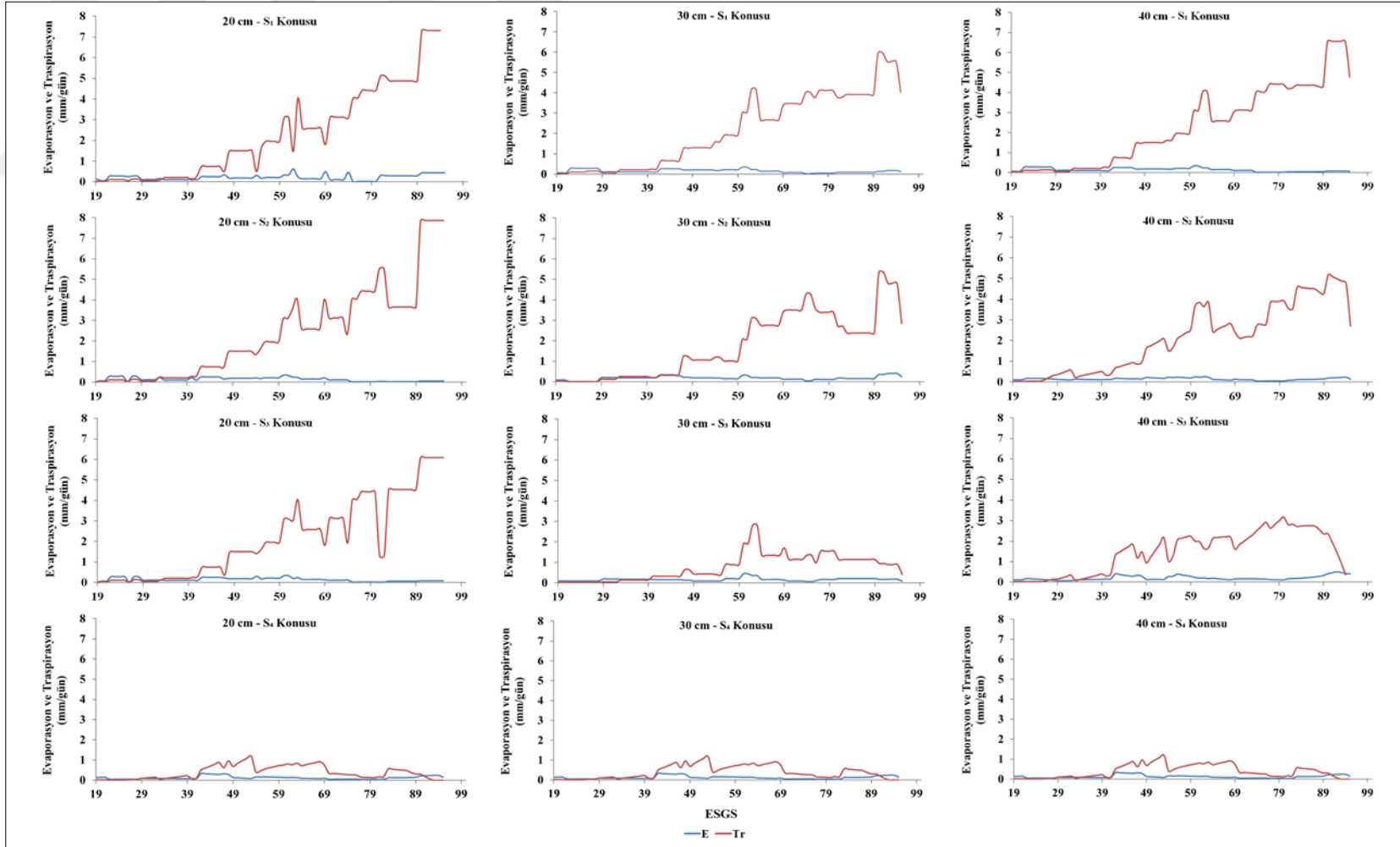
Şekil 10-11, büyüme periyodu için, potansiyel buharlaşma, E_p ve terleme, T_p , günlük değerlerinin zamansal dağılımını göstermektedir. Potansiyel terleme (T_p) S_1 konusu için, Mayıs ayında ortalama 0.56 mm gün^{-1} iken Ağustos ayında 7.3 mm gün^{-1} 'e kadar yükselmiştir. Potansiyel buharlaşma (E_p) değeri 0.06 mm gün^{-1} 'den 0.62 mm gün^{-1} 'e yükselmiştir. S_2 konusunda, T_p 0.02 mm gün^{-1} 'den 7.8 mm gün^{-1} 'e yükselmiştir. Potansiyel buharlaşma (E_p) değeri 0.06 mm gün^{-1} 'den 0.33 mm gün^{-1} 'e yükselmiştir. S_2 konusundaki T_p değerinin S_1 konusundan daha düşük çıkmasının sebebi zamanla bitki alt yapraklarının sararıp dökülmesi, dolayısı ile YAI değerlerinde azalma olmasından kaynaklanmaktadır. S_3 konusunda, T_p değeri 0.02 mm gün^{-1} 'den 6.1 mm gün^{-1} 'e yükselmiştir. Potansiyel buharlaşma (E_p) değeri ise 0.06 mm gün^{-1} 'den 0.31 mm gün^{-1} 'e kadar çıkmıştır. Yağışa dayalı üretimin yapıldığı konuda ise T_p değeri 0.02 mm gün^{-1} 'den 1.76 mm gün^{-1} 'e ulaşmıştır. Potansiyel buharlaşma (E_p) değeri ise 0.06 mm gün^{-1} 'den 0.29 mm gün^{-1} 'e kadar çıkmıştır. Çalışmada, toprak buharlaşmasının dönem içerisinde oldukça küçük değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Ghazouani vd. patlıcan bitkisi için optimum lateral derinliğini bulmak için yapmış oldukları çalışmada, potansiyel terlemenin Mart başında yaklaşık 0.5 mm gün⁻¹'den 4.0 mm gün⁻¹'e yükseldiğini, potansiyel buharlaşmanın 0.1 mm gün⁻¹ ile 0.8 mm gün⁻¹ arasında değiştiğini ve tüm periyot boyunca hemen hemen sabit kaldığını belirtmişlerdir.

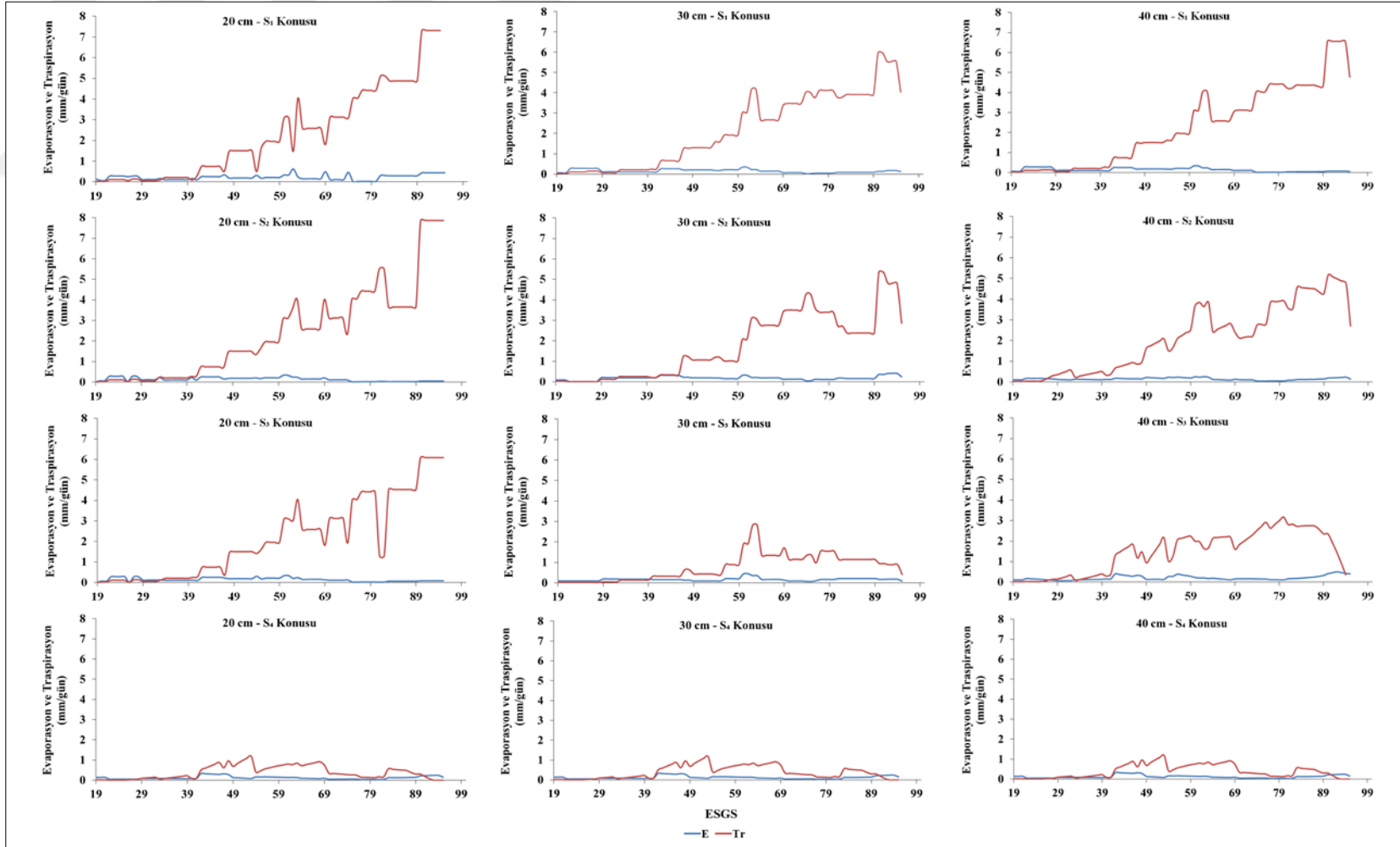
Ghazouani vd. çalışmalarında, patates bitkisinin gelişmesiyle T_p değerinin artma eğiliminde olduğunu ve 2012'de 4.5 mm gün⁻¹, 2014'te 2.8 mm gün⁻¹ ve 2015'te 3.2 mm gün⁻¹ olarak tespit etmişlerdir. Sezon sonunda T_p değerlerindeki düşmenin sebebini K_{cb} 'deki düşüşlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Fatichi ve Pappas çalışmalarında, farklı iklim özelliklerini kapsayan 79 saha için, su ve karbon değişimlerinin simülasyonlarını oluşturmuşlardı. Terlemenin toplam evapotranspirasyona oranının ($T_r:ET$) değişkenliğini araştırmışlardır. Yaprak alan indeksindeki değişikliklerin su ve karbon akışlarını etkileyebildiklerini ve bu etkileşimin bitki örtüsü büyümesini değiştirebileceğinin belirtmişlerdir. $T_r:ET$ 'nin yağıştan etkilenmediğini doğrularken, YAI ile mevsimsel olarak ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Aggarwal vd. pamuk ve buğday için toprak koruma uygulamalarının toprak su dengesi ve bitki kök gelişimine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, maksimum kök yoğunluğunun olduğu dönemde YAI değerinin en yüksek değere ulaştığını, bunun da yüksek T_p 'ye yol açtığını ifade etmişlerdir.



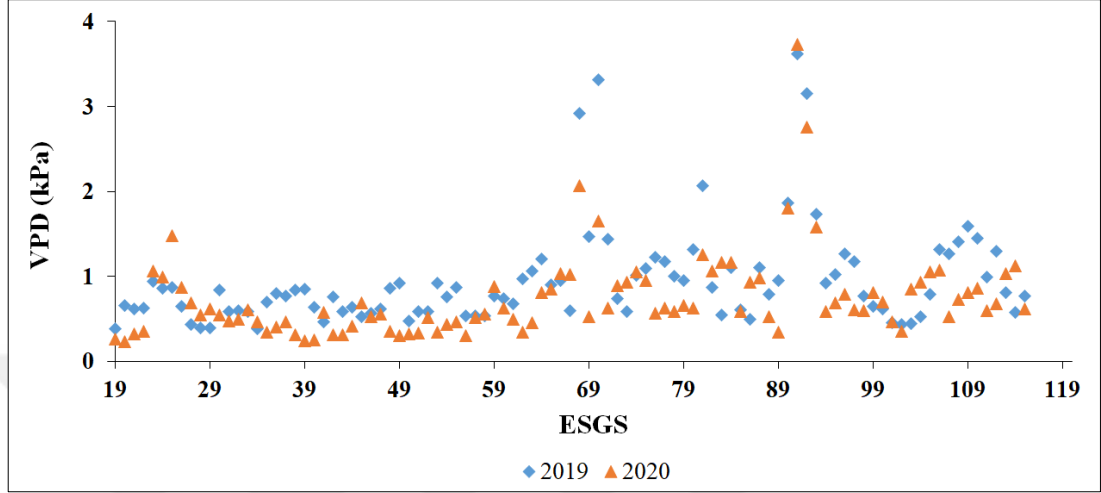
Şekil 4.10. Deneme 2019 yılı konularına ait evaporasyon ve transpirasyon grafikleri



Şekil 4.11. Denemede 2020 yılı konularına ait evaporasyon ve transpirasyon grafikleri

4.1.4. Buhar basıncı açığı bulguları

Araştırmada bitki gelişim periyodu boyunca ölçülen hava sıcaklığı ve oransal nem değerleri kullanılarak her iki yıla ait hesaplanan buhar basıncı açığı (VPD) değerlerinin değişimleri Şekil 4.12’ de gösterilmiştir.



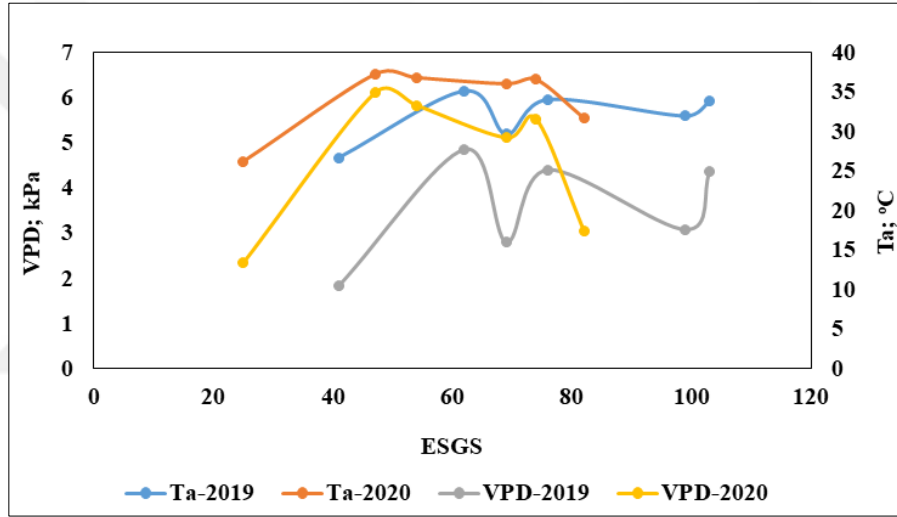
Şekil 4.12. Susam gelişim periyodu boyunca buhar basıncı açığı (VPD) değişimi

4.1.5. Bitki su stres indeksi bulguları

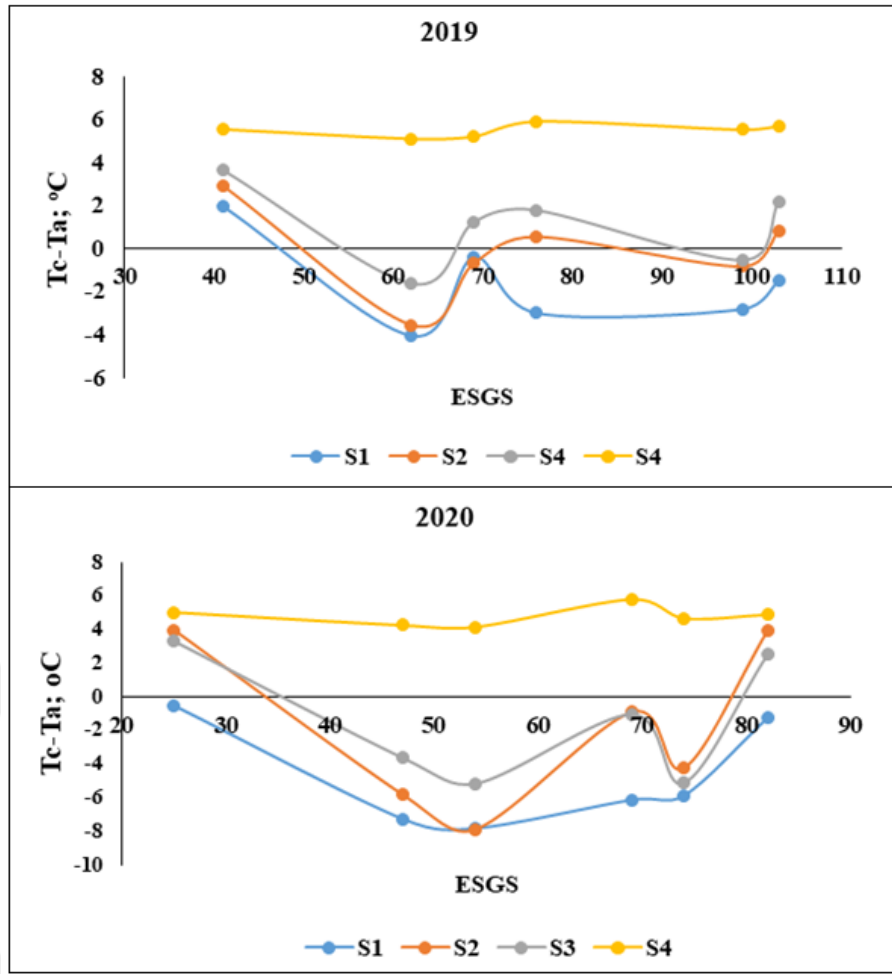
Bitki örtü sıcaklığı ölçümleri infrared termometre yardımıyla bitki yetiştirme sezonu boyunca, 2019 yılında 20 Haziran, 11, 18, 17 ve 21 Ağustos tarihlerinde toplam 5 kez; 2020 yılında ise 14, 28 Haziran, 10, 22 Temmuz ve 1, 10 Ağustos tarihlerinde olmak üzere toplam 6 kez yapılmıştır. Bulutlu günlerde ölçüm yapılmamıştır. Örtü sıcaklığı ve ortam sıcaklığı farkı ve CWSI değerlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için 2019 ve 2020 yılı susam yetiştirme dönemleri süresince hava sıcaklığı ve hesaplanan VPD değerlerinin değişimleri Şekil 4. 13’de verilmiştir.

Farklı lateral derinliklerinde en iyi susam kalite ve verim değerleri 40 cm derinliğe yerleştirilen damla sulama lateral derinliğinde en iyi sonuçlar elde edilmiştir. 2019 ve 2020 yılı susam bitkisinin örtü yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığı arasındaki fark ekimden sonra gün sayısına karşı zamansal olarak dağılımı Şekil 4.14’te verilmiştir. Lateral derinliği 40 cm yerleştirilen damla sulama sisteminde elde edilen tam sulama S₁ ve yağışa dayalı üretimin yapıldığı S₄ konuları için ayrı ayrı ölçüm değerleri kullanılarak CWSI temel grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.15). Ayrıca S₁ konusunda T_c-T_a değerleri negatif seyretmektedir. T_c-T_a değerleri en

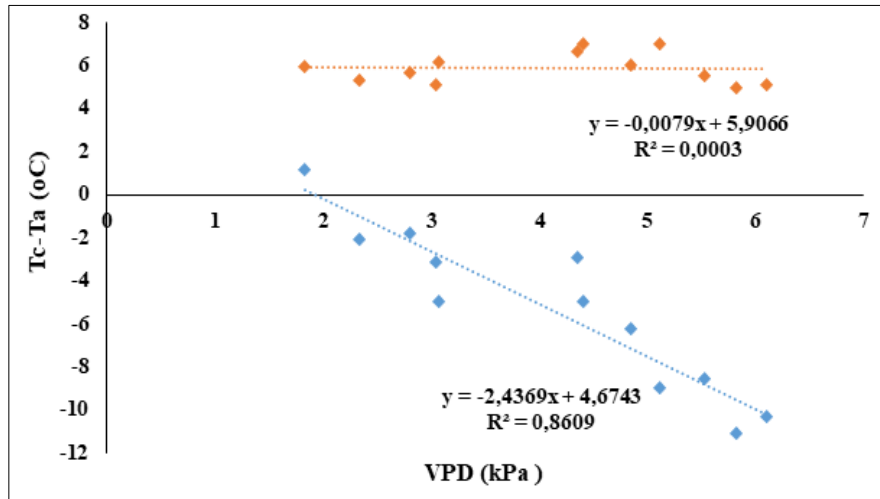
yüksek S_4 konusunda gerçekleşirken en düşük T_c-T_a değerleri S_1 ve S_2 konularında elde edilmiştir. Sulama suyu uygulanmayan S_4 konusunda ise T_c-T_a değerleri pozitif olarak bulunmuştur. Şekillerden de anlaşılacağı üzere S_1 konusunda bu fark daha düşük çıkarken, yağışa dayalı üretimin yapıldığı S_4 konusunda daha fazla olduğu görülmektedir. Konular arasındaki su kısıtına dayalı olarak farklılıkların ortaya çıkması transpirasyon farklılığından kaynaklanmaktadır. İdeal koşullarda transpirasyon gerçekleştirebilen susam bitkisi için S_1 ve S_2 konusunda T_c-T_a değeri negatif ve potansiyelin altına düştükçe T_c-T_a artar ve su stresine göre pozitif değerlere yükselebilmektedir. Antalya koşullarında susam için temel grafikte üst limit 5.9°C 'dir. Alt limit 40 cm lateral derinliği için $T_c - T_a = -2.436\text{VPD} + 4.6743$ ($r^2=0.86$, $P<0.01$), eşitliği ile belirlenmiştir.



Şekil 4.13. Susam gelişim dönemi içerisinde hava sıcaklığı (T_a) ve buhar basıncı açığı (VPD) değişimi



Şekil 4.14. Susam gelişim dönemi boyunca Tc-Ta değişimi



Şekil 4.15. Susam için, bitki su stres indeksi (CWSI) temel grafiği

Antalya koşullarında birçok bitki için CWSI çalışmaları yapılmıştır. Pamuk, mısır bermuda çimi gibi bitkilerde CWSI çalışmaları Antalya koşullarında gerçekleştirilmiştir. Susam bitki ile ilgili CWSI çalışmalarına hem ulusal hem de uluslararası çalışmaya rastlanılmamıştır. Antalya ili koşullarında Ödemiş ve Baştuğ (1995) pamuk bitkisinde sulama zamanının belirlenmesi için CWSI belirlenmeye çalışılmıştır. Antalya koşullarında pamuk bitkisinin sulanması için topraktaki nemin %50'si tüketildiğinde ya da CWSI değeri 0.45'e ulaştığında sulama yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Çalışma sonucunda alt baz hattının $T_c - T_a = 0.257 - 0.417 \text{VPD}$. Üst sınır hattı değeri ise 3.9°C olarak bulunmuştur. Antalya koşullarında II. ürün mısır bitkisinde sulama zamanının belirlenmesi ve sulama açısından bazı pratik sonuçlara ulaşılması amacıyla toprak suyu potansiyeli ve bitki su stresi indeksi (CWSI)'nin kullanılabilirliklerinin değerlendirilmesi için 1995 yılında bir tarla denemesi yapılmıştır. Bitki su stresi indeksinin (CWSI) belirlenmesi amacıyla elde edilen temel grafikte, mısır bitkisi için üst sınır hattında taç-hava sıcaklığı değerleri arasında yaklaşık 4.6°C 'lik bir farkın olduğu belirlenmiştir. Alt sınır hattının denklemi de $T_c - T_a = 1.39 - 0.784 \text{VPD}$ olarak elde edilmiştir (Irmak, 1996).

Antalya koşullarında Bermuda çiminde bitki su stres indeksinin belirlenmesinde Asınıfı buharlaşma kabından buharlaşma esasına göre dört farklı sulama kısıtı konusu oluşturulmuştur. Çim bitkisi için temel grafik alt baz denklemi $T_c - T_a = -1.061 \text{VPD} + 0.864$ olarak belirlenmiştir. Antalya koşullarında temel grafiğin üst sınır çizgisi ortalama hava sıcaklığı 40°C olduğunda ortalama olarak $T_c - T_a = 11.22^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur (Emekli ve Baştuğ: 2007).

Antalya koşullarında infrared termometre tekniği kullanılarak Hicaz nar çeşidi nar ağaçlarında bitki su stresi indeksinin değerlendirilmesi ve sulama programlanmasında kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmada A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşma değerleri esas alınmıştır. Çalışmada, stoma iletkenliği ölçümleri ve anılan günlerde hesaplanan CWSI değerleri arasında yakın bir ilişki olduğu ve CWSI değeri arttıkça stoma iletkenliğinin azalma yönünde bir eğilim gösterdiği saptanmıştır. Nar bitkisinin mevsim boyunca ortalama CWSI değerinin 0.20 civarında tutulacak şekilde sulamaların programlanması gerektiği önerilmiştir. Altı günde bir sulanan en yüksek verim ve en düşük CWSI değerinin

elde edildiği, en yüksek CWSI değeri olan 0.40 değerinin ise sulamaların başlatılmasına karar vermek için kullanılabileceği belirlenmiştir (Tekelioğlu, 2016).

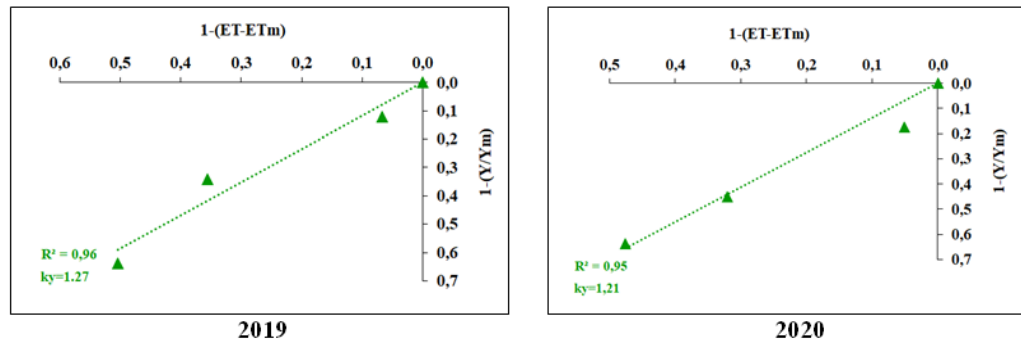
CWSI değerinin söz konusu değere ulaşana kadar oluşacak yığışımlı buharlaşma miktarı ise uygulanacak sulama suyu miktarı olarak önerilmiştir. Sulamaların A sınıfı buharlaşma kabından yapılan buharlaşmaya göre programlanması durumunda ise altı günde bir yığışımlı buharlaşma miktarı kadar su uygulanmasının yeterli olabileceği belirlenmiştir.

Susam bitkisinin su stres indeksi ve sulama programlaması ile ilgili çalışma sayısının sınırlı olması nedeniyle Antalya da yapılan farklı bitkilerde CWSI alışmaları değerlendirilmiş ve temel grafik eğilimleri benzer özellikler göstermiştir.

CWSI tekniği, sulamalar arasındaki bitki stresini ölçmek için bazı önemli avantajlar sağlamaktadır. CWSI ile bitkide herhangi bir tahribat vermeden sulama zamanlaması ve verimi tahmin etmek için kullanılması önemlidir. Bu yüzden su uygulama maliyetlerinin maksimum krın genellikle en yüksek verimle ilişkili olmadığı anlamına geldiği ve gereksiz sulamanın ortadan kaldırılmasının bitkisel üretimini daha ekonomik hale getirdiği su yun kısıtlı olduğu alanlarda önemlidir.

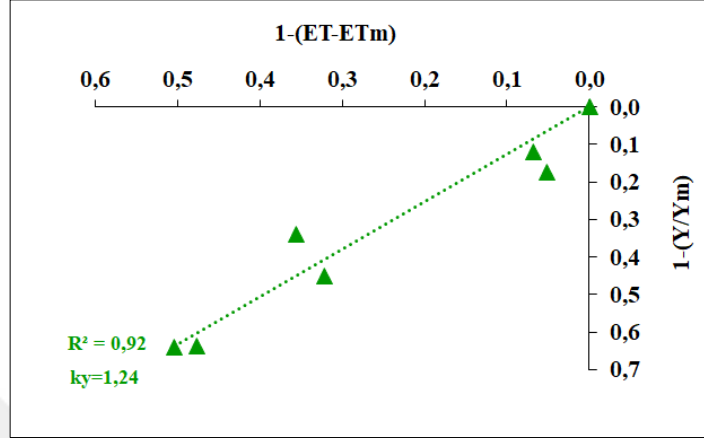
4.1.6. Su verim ilişkisi bulguları

Araştırmada, susam bitkisine ait su verim ilişkisi Stewart eşitliğine göre hesaplanmıştır (şekil 14.16). Buna ilişkin olarak her yıl kendi içerisinde değerlendirilmiş ve sonra tüm yıllar birleştirilerek Antalya koşullarında yetiştirilen susam bitkisine ait su verim ilişkisi tespit edilmiştir.



şekil 4.16. Susam bitkisinin; 2019 ve 2020 yıllarına ait su verim ilişkisi grafikleri

Deneme yetiştirme periyodu için elde edilen k_y değerleri; 2019 yılında 1.27 olarak hesaplanırken, 2020 yılı için 1.21 olarak hesaplanmıştır. Belirleme katsayıları (R^2) ise ilk yılda 0.96 ve ikinci yılda 0.95 olarak tespit edilmiştir. Her iki yıl birlikte değerlendirildiğinde k_y değeri 1.24 olarak belirlenmiştir. Belirleme katsayısının (R^2) ise 0.92 olduğu görülmektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Susam bitkisine ait ortalama su verim ilişkisi grafiği

Bitkinin su stresine toleransı, verim tepki etmeni (k_y) ile yorumlanabilmektedir. Verim tepki etmenini, bitki yetiştirme periyodunda meydana gelen su eksikliğinin bitki verimine etki derecesinin bir ölçüsüdür (Doorenbos ve Kassam, 1979). Eğer $k_y \leq 1$ ise bitki su stresine karşı toleranslı ve eğer $k_y \geq 1$ ise bitki su stresine karşı duyarlıdır, denilmektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, susam bitkisinin su stresine duyarlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca susam bitkisinin büyüme mevsimi boyunca yapılacak su kısıtının, sulu koşullara göre verim kaybı ile karşılaşacağı tespit edilmiştir.

Başbuğ vd. (2016) yaptıkları çalışmada susam bitkisi için k_y değerini 1.2; Uçan vd. (2006) Muganlı-57 çeşidi ile yürüttükleri çalışmada mevsimlik k_y değerini 1.01; Pereira vd. (2017) Brezil'ya koşullarında verim tepki etmenini 0.77; Şimşek vd. (2003) k_y verim tepki faktörü 0.45-1.22 değerler arasında tespit etmişlerdir. Başka bir ifadeyle su tüketiminde, %10'luk bir azalma verimde % 4.5 ve % 12.2 arasında azalmaya sebep olmuştur. Berhane (2020), Batı Tigray'da tarla koşullarında susam bitkisinin verim tepki etmenini 0.83 olarak hesaplamıştır. Araştırmadan elde edilen

sonuçlara göre verim tepki etmeni değerlerinin literatürlerdeki değerlerden farklı olmasının sebebi iklim ve toprak koşulları, sulama yöntemi ve uygulanan sulama suyu miktarları olduğunu söylemek mümkündür.

4.1.7. Su üretkenliği ve sulama suyu kullanım üretkenliği bulguları

Sezon boyunca uygulanan sulama suyu ve verim değerlerinin, susuz konu haricinde, diğer konular için sulama suyu kullanım üretkenliği (IWUE) ve su kullanım üretkenliği (WUE) değerleri hesaplanmış (Tablo 4.6).

Çalışmanın birinci ve ikinci yılında en yüksek su kullanım üretkenliği (WUE), sırasıyla $8.4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ 40 cm lateral derinliği S₂ ve $9.0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ile 40 cm lateral derinliği S₂ konusunda elde edilmiştir. Her iki yıl incelendiğinde 40 cm lateral derinliği S₂ konusunun su kullanım üretkenliği önemli bulunmuştur. En düşük WUE değerleri ise araştırmanın her iki yılında da sırasıyla 4.2 ve $4.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ile 20 cm lateral derinliği S₁ konusunda elde edilmiştir.

Çalışmanın birinci ve ikinci yılında, en yüksek sulama suyu kullanım üretkenliği (IWUE), sırasıyla 12.5 ve $13.1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ile 40 cm lateral derinliğinde S₂ sulama konusundan elde edilmiştir. En düşük IWUE değeri ise, araştırmanın her iki yılında da sırasıyla 5.1 ve $5.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ile 20 cm lateral derinliğinde S₁ sulama konusundan hesaplanmıştır.

Scott vd. (1987), susam bitkisi için ortalama WUE değerinin yaklaşık $6.0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ifade etmiştir. Payero vd. (2005) WUE'nin sırasıyla $2.3-7.4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ arasında değiştiğini belirtirken Karam vd. (2005) WUE'nin $3.9-5.7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ arasında değiştiğini belirlemiştir. Benzer sonuçlara Liu vd. (2003) ve Irmak vd. (2014)'nın çalışmalarında rastlamak mümkündür. Candoğan vd. (2013) tam sulama ve su stresi koşullarında IWUE değerlerinin sırasıyla 7.1 ve $21.7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, Kırnak vd. (2010) tam sulama ve su stresi koşullarında IWUE değerlerini 6.7 ile $4.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Irmak vd. (2014) ise WUE ve IWUE değerlerinin sırasıyla $7.71-8.94 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ve $5.15-10.35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ arasında değiştiğini belirlemiştir.

Tablo 4.6. Deneme konularına ait su kullanım üretkenliği ve sulama suyu kullanım üretkenliği değerleri

Yıl	Derinlik (cm)	Deneme Konuları	I (mm)	ET (mm)	Y (kg ha ⁻¹)	WUE (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	IWUE (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)
2019	20	S ₁	356.0	431.0	18.1	4.2	5.1
		S ₂	253.0	285.0	21.1	7.4	8.3
		S ₃	150.0	257.0	15.9	6.2	10.6
	30	S ₁	270.0	312.0	15.6	5.0	5.8
		S ₂	192.8	283.0	17.9	6.3	9.3
		S ₃	115.6	206.0	12.6	6.1	10.9
	40	S ₁	266.0	288.0	18.4	6.4	6.9
		S ₂	190.0	283.0	23.7	8.4	12.5
		S ₃	114.0	272.0	13.9	5.1	12.2
2020	20	S ₁	321.0	390.0	17.8	4.6	5.6
		S ₂	229.1	288.0	20.8	7.2	9.1
		S ₃	137.2	204.0	15.6	7.6	11.4
	30	S ₁	256.0	294.0	15.2	5.2	6.0
		S ₂	183.6	276.0	17.8	6.4	9.7
		S ₃	111.2	192.0	13.0	6.8	11.7
	40	S ₁	248.0	273.0	18.0	6.6	7.3
		S ₂	178.0	259.0	23.2	9.0	13.1
		S ₃	108.0	240.0	12.7	5.3	11.8

4.1.8. Bitki boyuna ilişkin bulgular

Bitki boyu, bitkinin toprak üstü organlarının en üst noktası ile toprak yüzeyi arasındaki düşey uzaklık dikkate alınarak ölçüm yapılmıştır.

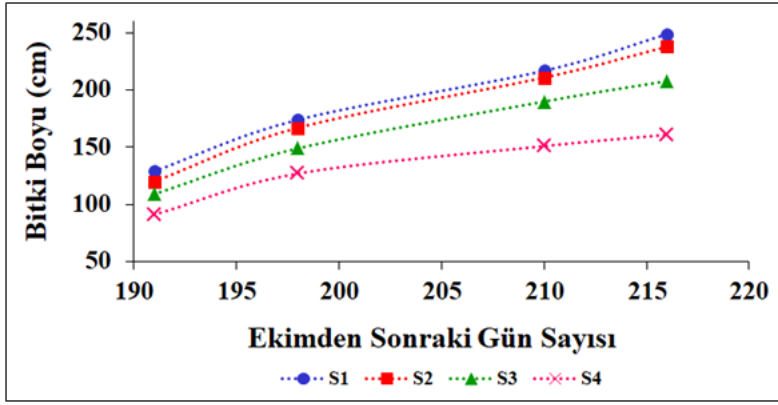
Muganlı-57 susam çeşidine ait, büyüme mevsimi boyunca bitki boy değişimi Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, tüm uygulamalarda en hızlı bitki boyu büyümesi Temmuz ayında gerçekleşmiştir.

Bu tarihten sonra su kısıtının uygulanmadığı S₁ konularında bitki boyu büyümesi daha fazla olmuştur. Ancak sulama uygulamalarında, uygulanan su miktarına bağlı olarak farklılık görülmüştür. Bitki boyunu etkileyen bir diğer faktör ise damlatıcının bulunduğu derinliktir. Bitki 20 cm derinlikte bulunan damlatıcıdan daha kolay su alabildiği için bitki boyu S₁ konusunda en büyük değerine, her iki yılda da ulaşmıştır. En yüksek bitki boyu yüksekliği 2019 yılında 237.5 cm ve 2020 yılında 214.5 cm olarak ölçülmüştür. Birinci yıl bitki boyu ortalama 22 cm daha fazla bulunmuştur. Bunun sebebi sıcaklıklarda meydana gelen dalgalanmalardır. Sonuç olarak çalışmada, sulama suyu miktarındaki artış ile bitki boyunun arttığı görülmüştür.

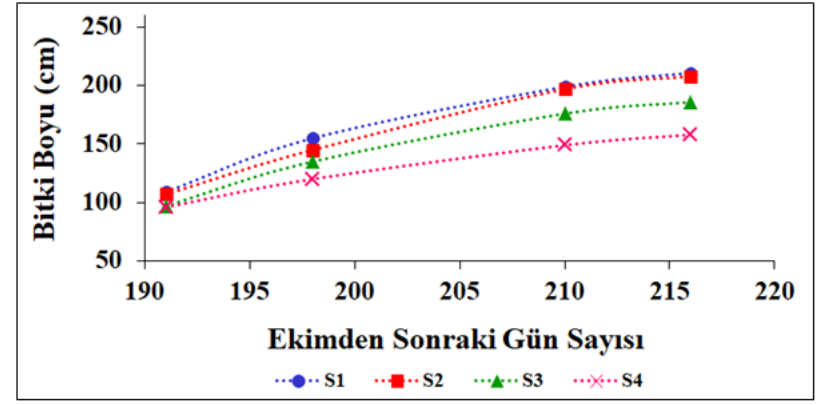
Başbuğ vd. (2020), Muganlı-57 susam bitkisi için, bitki boylarını 2014 ve 2015 yıllarında sırasıyla 108.5–218.3 cm ve 107.5–194.5 cm arasında değiştiğini

belirtmiştir. Kasab vd. (2005) ve Umar vd. (2015), uygulanan farklı sulama miktarlarının susam bitki boyunu önemli ölçüde değiştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sulama suyu miktarlarının artmasıyla bitki boyunun arttığını savunmuşlardır. Arslan vd. (2014), farklı susam çeşitleri için bitki boyu değerlerini 80.0-201.6 cm arasında değiştiğini çalışmalarında belirtmiştir.

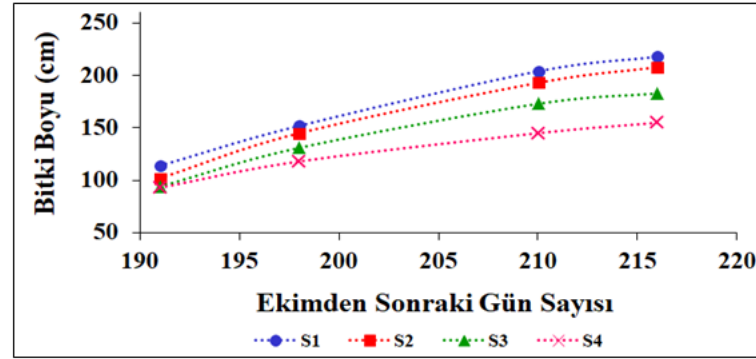




(a)

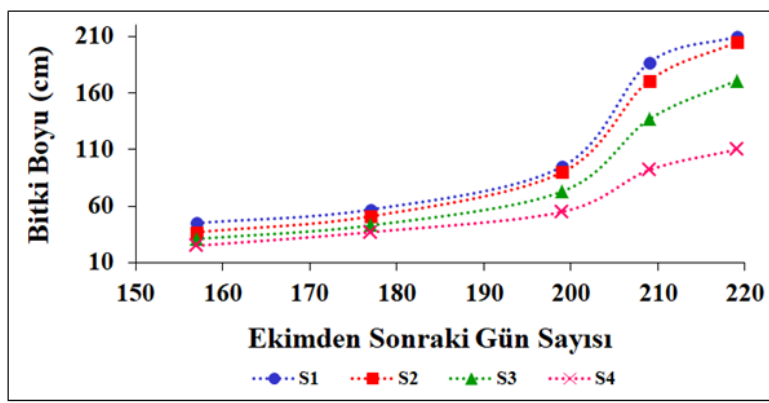


(b)

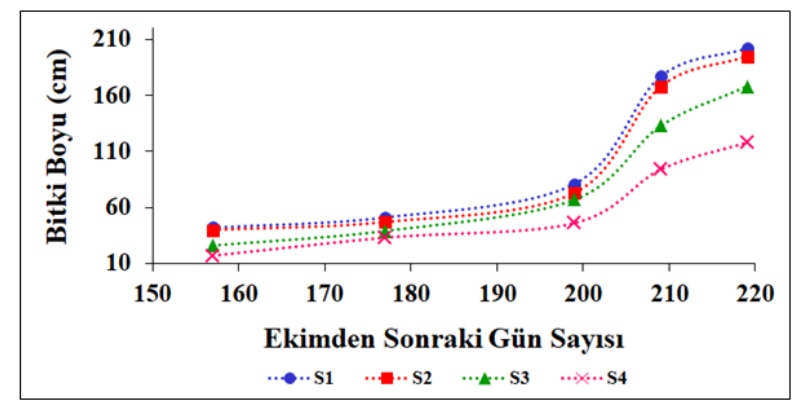


(c)

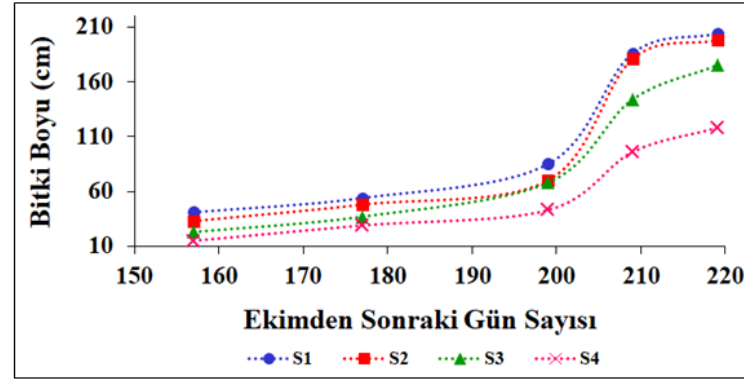
Şekil 4.18. Farklı lateral derinliklerinde sulama suyu miktarının bitki boyu ilişkisi (2019 yılı)



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.19. Farklı lateral derinliklerinde sulama suyu miktarının bitki boyu ilişkisi (2020 yılı)

4.1.9. Bitki verimine ilişkin bulgular

Denemenin 20 cm lateral derinliğine ait S₁, S₂, S₃ ve S₄ konularından sırasıyla 180.7, 210.6, 158.8 ve 86.4 kg da⁻¹, 30 cm lateral derinliğine ait S₁, S₂, S₃ ve S₄ konularından sırasıyla 156.4, 179.2, 125.6 ve 87.8 kg da⁻¹ ve 40 cm lateral derinliğine ait S₁, S₂, S₃ ve S₄ konularından sırasıyla 184.4, 237.0, 138.6 ve 85.6 kg da⁻¹ verim elde edilmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Deneme konularına göre her bir tekerrürde kısısam verim değerleri

Yıl	Derinlik (cm)	Deneme Konuları	Verim (kg da ⁻¹)			
			I. Tekerrür	II. Tekerrür	III. Tekerrür	Ortalama
2019	20	S ₁	180.0	180.8	181.4	180.7
		S ₂	216.7	200.3	215.0	210.6
		S ₃	161.1	156.9	158.3	158.8
		S ₄	88.3	86.1	84.7	86.4
	30	S ₁	152.6	160.0	156.7	156.4
		S ₂	181.9	171.4	184.2	179.2
		S ₃	129.6	126.0	121.1	125.6
		S ₄	88.4	86.1	88.9	87.8
	40	S ₁	180.0	185.8	187.5	184.4
		S ₂	234.7	243.1	233.3	237.0
		S ₃	129.6	152.2	133.9	138.6
		S ₄	84.8	84.9	87.2	85.6
2020	20	S ₁	177.0	178.5	179.5	178.3
		S ₂	210.1	208.4	205.9	208.1
		S ₃	157.8	155.3	154.3	155.8
		S ₄	86.1	85.6	83.6	85.1
	30	S ₁	152.6	151.2	153.4	152.4
		S ₂	181.9	173.7	177.8	177.8
		S ₃	129.6	131.2	128.5	129.8
		S ₄	88.4	85.6	82.5	85.5
	40	S ₁	180.0	181.4	178.8	180.1
		S ₂	234.7	231.7	230.6	232.3
		S ₃	129.6	125.3	127.3	127.4
		S ₄	84.8	85.6	83.2	84.5

Çalışma sonucunda susam bitki fizyolojisi göz önüne alınarak tam su konularında kapsül içerisindeki tohumlarda çimlenme gözlenmiştir (Şekil 4.20). Bu durum S₁ konularında verim kaybına neden olmuştur.



Şekil 4.20. Deneme S₁ konusuna ait kapsüller içerisinde çimlenen tohumlar

Yıllara göre elde edilen verim değerlerinin toplu varyans analizlerinin yapıp yapılamayacağı, homojenliği kontrol edilen verilerin “Standart Sapma” değerine bakılarak karar verilmiştir. Homojenlik testi sonucunda en büyük ve en küçük değerler arasındaki fark 4 kattan az olduğu için verim ve kalite ile ilgili değerler yıllar itibariyle birleştirilerek değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Araştırmadan elde edilen verim değerleri istatistiksel analize tabi tutulmuş, ortalamaların gruplandırılmasında Duncan Testi yapılmıştır. Araştırmada farklı sulama seviyeleri ve farklı lateral derinlikleri ortalama verim üzerindeki etkilerine ilişkin istatistiksel hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 4.8’de deneme konularına ait verim varyans analiz tablosu ve Tablo 4.9’de lateral derinlikleri ve sulama konularının verime ilişkin Duncan gruplandırılması yer almaktadır.

Tablo 4.8. Deneme konularına ait verim varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.T.	K.O.	F	Prob>F (Önemlilik)
Yıl (Y)	1	144.5	144.5	11.6441	0.0143*
Blok (B)	2	10.8303	5.41514	04.364	0.6654
Sulama Düzeyi (SD)	3	144418	48139.3	38791.71	<.0001*
YxSD	3	11.0244	3.67481	0.2961	0.8273
BxSD	6	154.393	25.7322	2.0736	0.1982
YxB	2	23.2608	11.6304	0.9372	0.4424
Lateral Derinliği (LD)	2	7447.48	3723.74	212.5228	<.0001*
YxLD	2	62.2708	31.1354	1.777	0.1854
SDxLD	6	7884.66	1314.11	74.9995	<.0001*
YxSDxLD	6	128.271	21.3786	1.2201	0.3218
YxBxSD&Random (hata1)	6	74.4581	12.4097	0.7083	0.6453
YxBxSxL&Random (hata2)	32	560.69	17.52		
Genel	71	160919.6			<.0001*
CV (%)	2.76				

Varyans analizlerine göre farklı lateral derinlikleri ile uygulanan farklı sulama uygulamalarının verim üzerine 0.001 önem derecesine göre etki ettiği tespit edilmiştir. Analiz sonuçları, en düşük verim performansını yağışa dayalı üretim parselleri olan S₄ konusu göstermiştir. Duncan gruplandırma analizi sonucunda da S₄ konuları aynı grup (g) içerisinde yer almıştır. En yüksek performansı ise 40 cm lateral derinliğinde S₂ konusu gösterirken, en yüksek ikinci performansı ise 20 cm lateral derinliğinde S₂ konusu göstermiştir.

Tablo 4.9. Sulama düzeylerinin verime ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Verim (kg da ⁻¹)
S ₄	85.82 d
S ₃	139.31 c
S ₂	207.52 a
S ₁	172.06 b

Tablo 4.10. Lateral derinliklerinin verime ilişkin Duncan gruplandırması

Derinlik (cm)	Verim (kg da ⁻¹)
40	158.75 a
30	136.80 b
20	157.98 a

Tablo 4.11. Lateral derinliği x Sulama düzeyi konusu interaksiyonunun verime ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Verim (kg da ⁻¹)		
	20	30	40
S ₄	85.73 g	86.65 g	85.08 g
S ₃	157.28 d	127.66 f	132.98 e
S ₂	209.40 b	178.48 c	234.68 a
S ₁	179.53 c	154.41 d	182.25 c

4.1.10. Bitki başına verime ilişkin bulgular

Çalışmada, 2019 ve 2020 yıllarına ait bitki başına verim değerleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Buna ilişkin bitki başına verim değerleri 2019 yılında 0.086 ile 0.237 kg bitki⁻¹ arasında değişirken en yüksek değer 40 cm lateral derinliği S₂ konusunda gerçekleşmiştir. 2020 yılında ise 0.085 ile 0.232 kg bitki⁻¹ arasında değişim göstermiş olup, bitki başına en yüksek verim değeri yine 40 cm lateral derinliği S₂ konusundan elde edilmiştir. Tamamen yağışa dayalı yapılan üretim konusu S₄’detüm lateral derinlikleri için en düşük değerler elde edilmiştir (Tablo 4.12.).

Tablo 4.12. Deneme konularının yıllara göre her bir tekerrürde gerçekleşen bitki başına verim değerleri

Yıl	Derinlik (cm)	Deneme Konuları	Verim (kg bitki ⁻¹)			
			I. Tekerrür	II. Tekerrür	III. Tekerrür	Ortalama
2019	20	S ₁	0.180	0.181	0.181	0.181
		S ₂	0.217	0.200	0.215	0.211
		S ₃	0.161	0.157	0.158	0.159
		S ₄	0.088	0.086	0.085	0.086
	30	S ₁	0.153	0.160	0.157	0.156
		S ₂	0.182	0.171	0.184	0.179
		S ₃	0.130	0.126	0.121	0.126
		S ₄	0.088	0.086	0.089	0.088
	40	S ₁	0.180	0.186	0.188	0.184
		S ₂	0.235	0.243	0.233	0.237
		S ₃	0.130	0.152	0.134	0.139
		S ₄	0.085	0.085	0.087	0.086
2020	20	S ₁	0.177	0.179	0.180	0.178
		S ₂	0.210	0.208	0.206	0.208
		S ₃	0.158	0.155	0.154	0.156
		S ₄	0.086	0.086	0.084	0.085
	30	S ₁	0.153	0.151	0.153	0.152
		S ₂	0.182	0.174	0.178	0.178
		S ₃	0.130	0.131	0.129	0.130
		S ₄	0.088	0.086	0.083	0.086
	40	S ₁	0.180	0.181	0.179	0.180
		S ₂	0.235	0.232	0.231	0.232
		S ₃	0.130	0.125	0.127	0.127
		S ₄	0.085	0.086	0.083	0.085

Araştırmanın bitki başına verim değerlerine ait varyans analizi Tablo4.13’de,konulara ilişkin elde edilen toplam bitki başına düşen verim değerlerine göre Duncan çoklu karşılaştırma gruplandırmaları ise Tablo 4.14’de sunulmuştur. Varyans analizi sonucunda sulama uygulamalarının bitki başına verim üzerine etkileri istatistiksel olarak 0.001 derecesine göre önemlilik arz etmiştir.

Tablo 4.13. Deneme konularına ait bitki başına verim varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.T.	K.O.	F	Prob>F (Önemlilik)
Yıl (Y)	1	0.00014	0.00014	10.001	0.0195*
Blok (B)	2	1.24E-05	6.22E-06	0.4571	0.6534
Sulama Düzeyi (SD)	3	0.14439	0.04813	3536.186	<.0001*
YxSD	3	1.44E-05	4.79E-06	0.352	0.7897
BxSD	6	0.00016	2.62E-05	1.9238	0.2229
YxB	2	0.00002	0.00001	0.7714	0.5033
Lateral Derinliği (LD)	2	0.00743	0.00372	215.5369	<.0001*
YxLD	2	6.61E-05	3.30E-05	1.9162	0.1637
SDxLD	6	0.0079	0.00132	76.3128	<.0001*
YxSDxLD	6	0.00013	2.23E-05	1.2944	0.2879
YxBxSD&Random (hata1)	6	8.17E-05	1.36E-05	0.7894	0.5849
YxBxSxL&Random (hata2)	32	0.00055178	0.000017		
Genel	71	0.16089699			<.0001*
CV (%)			2.75		

S₂ konusu 40 cm lateral derinliğinde Duncan çoklu karşılaştırma testine göre en yüksek bitki başına verim değerine ulaşmıştır. Deneme konularından elde edilen susam verimlerine göre yapılan Duncan testinde birleştirilmiş yıllara göre 40 cm lateral derinliğinde S₂ birinci, 20 cm lateral derinliğinde S₂ ikinci, 20 cm lateral derinliğinde ve 40 cm lateral derinliğinde S₁ ve 30 cm lateral derinliğinde S₂ konuları üçüncü grupta yer almıştır. S₃ konusu tüm derinliklerde farklı gruplarda yer alırken, S₄ konusu tüm lateral derinliklerinde son grupta yer almıştır (Tablo 4.14). Elde edilen sonuçlara göre farklı lateral derinlikleri ile uygulanan farklı sulama suyu oranları konular arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşmasını sağlamıştır.

Tablo 4.14. Farklı lateral derinlikleri ve sulama konularının bitki başına verime ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Lateral Derinliği (cm)		
	20	30	40
S ₄	0.085 g	0.086 g	0.085 g
S ₃	0.157 d	0.127 f	0.133 e
S ₂	0.209 b	0.178 c	0.234 a
S ₁	0.179 c	0.154 d	0.182 c

4.1.11. Kaliteye ilişkin bulgular

4.1.11.1. Yağ miktarı

Araştırmada farklı lateral derinlikleri ile uygulanan farklı sulama miktarlarının yağ üzerindeki etkilerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Tablo 4.15’de ve tekerrürlere göre tohum yağ değerleri ise Tablo 4.16’de verilmiştir. Araştırmada sulama düzeyleri, lateral derinlikleri ve her ikisinin arasındaki interaksiyon değerlendirildiğinde, istatistiksel olarak 0.001 derecesine göre tohum yağ miktarlarında önemlilik arz etmiştir.

Araştırmanın ilk yılında tohum yağ değerleri %50.8-53.9 arasında değişmiştir. Sulama düzeylerine bağlı olarak en yüksek yağ değeri %53.9 ile yağışa dayalı 30 cm lateral derinliğinde S₄ konudan elde edilirken, en düşük ortalama tohum yağ değeri %50.8 ile 40 cm lateral derinliği S₂ sulama konusundan elde edilmiştir. Araştırmanın ikinci yılında tohum yağ değerleri %49.8-53.5 arasında değişim göstermiştir. Sulama

düzeylerine göre en yüksek yağ değeri %53.5 ile 30 cm lateral derinliğinde S₂ konusundan elde edilirken, en düşük ortalama yağ değeri %49.8 ile 40 cm lateral derinliğinde S₃ konusundan elde edilmiştir.

Tablo 4.15. Deneme konularına göre her bir tekerrürdeki tohum yağ oranları

Yıl	Derinlik (cm)	Deneme Konuları	Yağ Oranları (%)			
			I. Tekerrür	II. Tekerrür	III. Tekerrür	Ortalama
2019	20	S ₁	52.0	50.9	50.1	51.0
		S ₂	51.5	52.8	53.1	52.5
		S ₃	51.2	51.4	51.8	51.5
		S ₄	51.1	51.1	51.1	51.1
	30	S ₁	52.7	51.9	53.4	52.7
		S ₂	52.2	53.1	50.8	52.0
		S ₃	51.3	0.0	0.0	17.1
		S ₄	53.5	55.4	52.8	53.9
	40	S ₁	52.8	53.1	50.9	52.3
		S ₂	52.5	48.0	51.8	50.8
		S ₃	52.2	54.1	51.8	52.7
		S ₄	52.0	49.7	50.7	51.8
2020	20	S ₁	49.5	50.3	51.4	50.4
		S ₂	52.5	52.2	50.9	51.9
		S ₃	51.2	50.8	50.6	50.9
		S ₄	50.5	50.5	50.5	50.5
	30	S ₁	51.6	53.5	51.2	52.1
		S ₂	52.9	54.8	52.8	53.5
		S ₃	51.6	52.5	52.2	52.1
		S ₄	52.1	51.3	51.2	51.5
	40	S ₁	49.5	51.4	50.3	50.4
		S ₂	49.1	50.3	51.4	50.3
		S ₃	47.4	50.1	51.9	49.8
		S ₄	52.5	50.9	52.2	51.9

Tablo 4.16. Deneme konularına ait tohum yağ içeriğinin varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.T.	K.O.	F	Prob>F (Önemlilik)
Yıl (Y)	1	144.5	144.5	11.6441	0.0143*
Blok (B)	2	10.8303	5.41514	0.4364	0.6654
Sulama Düzeyi (SD)	3	144418	48139.3	3879.171	<.0001*
YxSD	3	11.0244	3.67481	0.2961	0.8273
BxSD	6	154.393	25.7322	2.0736	0.1982
YxB	2	23.2608	11.6304	0.9372	0.4424
Lateral Derinliği (LD)	2	7447.48	3723.74	212.5228	<.0001*
YxLD	2	62.2708	31.1354	1.777	0.1854
SDxLD	6	7884.66	1314.11	74.9995	<.0001*
YxSDxLD	6	128.271	21.3786	1.2201	0.3218
YxBxSD&Random (hata1)	6	74.4581	12.4097	0.7083	0.6453
YxBxSxL&Random (hata2)	32	560.69	17.52		
Genel	71	160919.6			<.0001*
CV (%)			2.76		

Tablo 4.17. Farklı lateral derinliklerinin susam tohum yağ içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Derinlik (cm)	Palmitik asit değeri
40	50.80 b
30	52.60 a
20	51.20 b

Tablo 4.18. Lateral derinliği x Sulama düzeyi konusu interaksiyonuna ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Lateral Derinliği (cm)		
	20	30	40
S ₄	50.8 cd	51.8 bc	52.1 b
S ₃	51.1 bcd	52.4 b	50.1 d
S ₂	52.1 b	53.8 a	50.5 cd
S ₁	50.7 cd	52.4 b	50.4 d

4.1.11.2. Yağ asitleri

Araştırmada farklı lateral derinliklerinde uygulanan farklı sulama suyu seviyelerinin yağ asitleri üzerindeki etkilerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Tablo 4.19’de ve ortalama yağ asidi değerleri ise Tablo 4.20’de verilmiştir. Araştırmanın her iki yılında da palmitik asit değerleri %8.9-9.2, stearik asit değerleri %4.7-5.2, oleik asit değerleri %42.5-45.4 ve linoleik asit değerleri %39.4-42.4 arasında değişim göstermiştir.

Baydar ve Turgut (2000), tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada Muganlı-57 susam çeşidinde oleik asit oranı 41.98, linoleik asit oranı 41.64 olarak belirlenmiştir. Baydar vd. (1999), tarafından Muganlı-57 susam çeşidinde sabit yağ oranı %59.47 olarak belirlenmiştir. Baydar (2005) tarafından farklı susam çeşitlerinde sabit yağ oranının %43.2 ile %49.3 arasında, palmitik asit oranının %9.4 ile %8.1 arasında, stearik asit oranının %5.6 ile %6.1 arasında, oleik asit oranının 41.3 ile %48.4 arasında, linoleik asit oranının %36.6 ile %43.1 arasında değiştiği bildirilmiştir.

Tablo 4.19. Deneme konularına göre kalite özelliklerine ait analiz sonuçları

Yıl	Derinlik (cm)	Deneme Konuları	PİA	POA	SA	OA	LİA	LNA	AA	11-EA
2019	20	S ₁	9.1	0.1	4.7	43.4	41.6	0.3	0.5	0.2
		S ₂	9.1	0.1	4.8	42.5	42.4	0.3	0.5	0.2
		S ₃	9.2	0.1	4.8	43.3	41.5	0.3	0.5	0.2
		S ₄	9.1	0.1	4.9	43.1	41.7	0.3	0.5	0.2
	30	S ₁	9.0	0.1	5.0	43.9	41.0	0.3	0.5	0.2
		S ₂	9.0	0.1	5.1	44.3	40.4	0.3	0.5	0.2
		S ₃	8.9	0.1	5.0	44.2	40.8	0.3	0.5	0.2
		S ₄	9.1	0.1	4.9	42.7	42.1	0.3	0.5	0.2
	40	S ₁	9.0	0.1	5.2	45.3	39.5	0.3	0.5	0.2
		S ₂	9.2	0.1	4.9	43.3	41.5	0.3	0.5	0.2
		S ₃	9.0	0.1	5.1	45.4	39.4	0.3	0.5	0.2
		S ₄	8.9	0.1	5.2	44.3	40.6	0.3	0.5	0.2
2020	20	S ₁	9.1	0.1	4.7	43.4	41.6	0.3	0.5	0.2
		S ₂	9.1	0.1	4.8	42.5	42.4	0.3	0.5	0.2
		S ₃	9.2	0.1	4.8	43.3	41.5	0.3	0.5	0.2
		S ₄	9.1	0.1	4.9	43.1	41.7	0.3	0.5	0.2
	30	S ₁	9.0	0.1	5.0	43.9	41.0	0.3	0.5	0.2
		S ₂	9.0	0.1	5.1	44.3	40.4	0.3	0.5	0.2
		S ₃	8.9	0.1	5.0	44.2	40.8	0.3	0.5	0.2
		S ₄	9.1	0.1	4.9	42.7	42.1	0.3	0.5	0.2
	40	S ₁	9.0	0.1	5.2	45.3	39.5	0.3	0.5	0.2
		S ₂	9.2	0.1	4.9	43.3	41.5	0.3	0.5	0.2
		S ₃	9.0	0.1	5.1	45.4	39.4	0.3	0.5	0.2
		S ₄	8.9	0.1	5.2	44.3	40.6	0.3	0.5	0.2

Araştırmanın ilk ve ikinci yılında farklı lateral derinliklerinde uygulanan farklı sulama seviyeleri palmitoleik, linolenik, arasidik ve 11-eikosenoik asit hariç diğer tüm yağ asitleri (palmitik, stearik, oleik ve linoleik asit) üzerine istatistiksel olarak 0.001 derecesine göre önemli bulunmuştur.

Palmitik asit

Sulama düzeylerine bağlı olarak en yüksek palmitik asit değeri %9.11 ile S₂ sulama konusundan elde edilirken, en düşük ortalama palmitik asit değeri %8.99 ile S₃ konusundan elde edilmiştir (Tablo 4.20). Lateral derinlikleri incelendiğinde YAD sulama yönteminde, 20 cm lateral derinliğinde ortalama %9.13 palmitik asit değeri elde edilirken, 30 ve 20 cm lateral derinliğinde ortalama %8.99 palmitik asit değeri elde edilmiştir (Tablo 0.7). Sulama düzeyixlateral derinliği interaksyon değerleri incelendiğinde ise en yüksek palmitik asit değerleri 40 cm lateral derinliğinde S₂ ve 20 cm lateral derinliği S₃ konularında tespit edilmiştir. En düşük değerler ise 30 cm lateral derinliği S₃ ve 40 cm lateral derinliği S₄ konularında gerçekleşmiştir.

Tablo 4.20. Deneme konularına ait tohum palmitik asit içeriğinin varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.T.	K.O.	F	Prob>F (Önemlilik)
Yıl (Y)	1	1.80E-31	1.80E-31	0	1
Blok (B)	2	0.00091	0.00045	1.9818	0.2184
Sulama Düzeyi (SD)	3	0.14233	0.04744	207.0222	<.0001*
YxSD	3	0	0	0	1
BxSD	6	0.00075	0.00012	0.5434	0.7616
YxB	2	0.00272	0.00136	5.9455	0.0377*
Lateral Derinliği (LD)	2	0.33653	0.16827	632.6475	<.0001*
YxLD	2	1.10E-30	5.30E-31	0	1
SDxLD	6	0.36902	0.0615	231.2411	<.0001*
YxSDxLD	6	0	0	0	1
YxBxSD&Random (hata1)	6	0.00138	0.00023	0.8616	0.5333
YxBxSxL&Random (hata2)	32	0.008511			
Genel	71	0.86215			<.0001*
CV (%)	0.18				

Tablo 4.21. Sulama düzeylerinin tohum palmitik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Palmitik asit değeri
S ₄	9.02 b
S ₃	8.99 c
S ₂	9.11 a
S ₁	9.03 b

Tablo 4.22. Lateral derinliklerinin tohum palmitik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Derinlik (cm)	Palmitik asit değeri
40	8.99 b
30	8.99 b
20	9.13 a

Tablo 4.23. Lateral derinliği x Sulama düzeyi konusu interaksyonunun tohum palmitik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Lateral Derinliği (cm)		
	20	30	40
S ₄	9.12 b	9.10 c	8.85 g
S ₃	9.16 a	8.85 g	8.95 f
S ₂	9.13 b	9.03 d	9.17 a
S ₁	9.13 b	8.98 e	8.98 e

Stearik asit

Sulama düzeylerine bağı olarak en yüksek stearik asit değeri %7.89 ile S₂ sulama konusundan elde edilirken, en düşük ortalama stearik asit değeri %4.95 ile S₁ konusundan elde edilmiştir (Tablo 4.24). Lateral derinlikleri incelendiğinde yüzeyaltı damla sulama yönteminde, 20 cm lateral derinliğinde ortalama %4.81 stearik asit değeri elde edilirken, 30 cm lateral derinliğinde ortalama %4.99 ve 40 cm lateral derinliğinde ortalama %5.05 stearik asit değeri elde edilmiştir (Tablo 4.25). Sulama düzeyixlateral derinliği interaksiyon değerleri incelendiğinde ise en yüksek stearik asit değerleri 40 cm lateral derinliğinde S₄ ve S₁ konularında %5.17 ve %5.15 olarak tespit edilmiştir. En düşük değer ise 20 cm lateral derinliği S₁ konusunda %4.69 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.24. Deneme konularına ait tohum stearik asit içeriğinin varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.T.	K.O.	F	Prob>F (Önemlilik)
Yıl (Y)	1	1.80E-31	1.80E-31	0	1
Blok (B)	2	0.00091	0.00045	1.9818	0.2184
Sulama Düzeyi (SD)	3	0.14233	0.04744	207.0222	<.0001*
YxSD	3	0	0	0	1
BxSD	6	0.00075	0.00012	0.5434	0.7616
YxB	2	0.00272	0.00136	5.9455	0.0377*
Lateral Derinliği (LD)	2	0.33653	0.16827	632.6475	<.0001*
YxLD	2	1.10E-30	5.30E-31	0	1
SDxLD	6	0.36902	0.0615	231.2411	<.0001*
YxSDxLD	6	0	0	0	1
YxBxSD&Random (hata1)	6	0.00138	0.00023	0.8616	0.5333
YxBxSxL&Random (hata2)	32	0.008511			
Genel	71	0.86215			<.0001*
CV (%)	0.18				

Tablo 4.25. Sulama düzeylerinin tohum stearik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Stearik asit değeri
S ₄	4.99 a
S ₃	4.97 a
S ₂	7.89 b
S ₁	4.95 a

Tablo 4.26. Lateral derinliklerinin tohum stearik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Derinlik (cm)	Stearik asit değeri
40	5.05 a
30	4.99 b
20	4.81 c

Tablo 4.27. Lateral derinliği x Sulama düzeyi konusu interaksiyonunun tohum stearik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Lateral Derinliği (cm)		
	20	30	40
S ₄	4.93 c	4.88 cd	5.17 a
S ₃	4.84 d	5.04 b	5.05 b
S ₂	4.78 e	5.05 b	4.86 d
S ₁	4.69 f	5.00 b	5.15 a

Oleik asit

Sulama düzeylerine bağlı olarak en yüksek oleik asit değeri %44.31 ile S₂ ve %44.20 ile S₁ sulama konusundan elde edilirken, en düşük ortalama oleik asit değeri %43.35 ile S₄ konusundan elde edilmiştir (Tablo 4.28). Lateral derinlikleri incelendiğinde yüzeyaltı damla sulama yönteminde, 20 cm lateral derinliğinde ortalama %43.09 oleik asit değeri elde edilirken, 30 cm lateral derinliğinde ortalama %43.78 ve 40 cm lateral derinliğinde ortalama %44.57 oleik asit değeri elde edilmiştir (Tablo 4.29). Sulama düzeyi x lateral derinliği interaksiyon değerleri incelendiğinde ise en yüksek oleik asit değerleri 40 cm lateral derinliğinde S₃ konusunda %45.44 ve S₁ konusunda %45.28 olarak tespit edilmiştir. En düşük değer ise 20 cm lateral derinliği S₂ konusunda %42.52 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.28. Deneme konularına ait tohum oleik asit içeriğinin varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.T.	K.O.	F	Prob>F (Önemlilik)
Yıl (Y)	1	3.20E-27	3.20E-27	0	1
Blok (B)	2	0.00148	0.00074	0.3268	0.7333
Sulama Düzeyi (SD)	3	14.0868	4.69561	2076.681	<.0001*
YxSD	3	0	0	0	1
BxSD	6	0.00314	0.00052	0.2318	0.9508
YxB	2	0.0037	0.00185	0.8182	0.4851
Lateral Derinliği (LD)	2	26.3235	13.1617	4846.051	<.0001*
YxLD	2	2.20E-29	1.10E-29	0	1
SDxLD	6	15.9494	26.5824	978.7417	<.0001*
YxSDxLD	6	0	0	0	1
YxBxSD&Random (hata1)	6	0.01357	0.00226	0.8325	0.5538
YxBxSxL&Random (hata2)	32	0.086911			
Genel	71	56.46851			<.0001*
CV (%)			0.12		

Tablo 4.29. Sulama düzeylerinin tohum oleik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Oleik asit değeri
S ₄	43.35 c
S ₃	44.31 a
S ₂	43.39 c
S ₁	44.20 b

Tablo 4.30. Lateral derinliklerinin tohum oleik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Derinlik (cm)	Oleik asit değeri
40	44.57 a
30	43.78 b
20	43.09 c

Tablo 4.31. Lateral derinliği x Sulama düzeyi konusu interaksyonunun tohum oleik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Lateral Derinliği (cm)		
	20	30	40
S ₄	43.07 ı	42.74 j	44.26 d
S ₃	43.33 h	44.15 e	45.44 a
S ₂	42.52 k	44.34 c	43.30 h
S ₁	43.43 g	43.89 f	45.28 b

Linoleik asit

Sulama düzeylerine bağlı olarak en yüksek linoleik asit değeri %41.48 ile S₄ ve %41.46 ile S₂ sulama konusundan elde edilirken, en düşük ortalama linoleik asit değeri %40.60 ile S₃ konusundan elde edilmiştir (Tablo 4.32). Lateral derinlikleri incelendiğinde yüzeyaltı damla sulama yönteminde, 20 cm lateral derinliğinde ortalama %41.82 linoleik asit değeri elde edilirken, 30 cm lateral derinliğinde ortalama %41.10 ve 40 cm lateral derinliğinde ortalama %40.25 linoleik asit değeri elde edilmiştir (Tablo 4.33). Sulama düzeyi x lateral derinliği interaksyon değerleri incelendiğinde ise en yüksek linoleik asit değerleri 20 cm lateral derinliğinde S₂ konusunda %42.42 ve 30 cm lateral derinliğinde S₄ konusunda %42.13 olarak tespit edilmiştir. En düşük değer ise 40 cm lateral derinliği S₃ konusunda %39.44 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.32. Deneme konularına ait tohum linoleik asit içeriğinin varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	S.D.	K.T.	K.O.	F	Prob>F (Önemlilik)
Yıl (Y)	1	8.10E-28	8.10E-28	0	1
Blok (B)	2	0.00014	6.81E-05	0.0386	0.9624
Sulama Düzeyi (SD)	3	12.5749	4.19162	2374.482	<.0001*
YxSD	3	0	0	0	1
BxSD	6	0.002	0.00033	0.1886	0.969
YxB	2	0.00048	0.00024	0.1345	0.8767
Lateral Derinliği (LD)	2	29.9205	14.9602	9918.39	<.0001*
YxLD	2	5.60E-30	2.80E-30	0	1
SDxLD	6	18.273	3.0455	2019.115	<.0001*
YxSDxLD	6	0	0	0	1
YxBxSD&Random (hata1)	6	0.01059	0.00177	1.1703	0.3464
YxBxSxL&Random (hata2)	32	0.048267			
Genel	71	60.82979			<.0001*
CV (%)	0.09				

Tablo 4.33. Sulama düzeylerinin tohum linoleik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Linoleik asit değeri
S ₄	41.48 a
S ₃	40.60 c
S ₂	41.46 a
S ₁	40.68 b

Tablo 4.34. Lateral derinliklerinin tohum linoleik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Derinlik (cm)	linoleik asit değeri
40	40.25 c
30	41.10 b
20	41.82 a

Tablo 4.35. Lateral derinliği x Sulama düzeyi konusu interaksiyonunun tohum linoleik asit içeriğine ilişkin Duncan gruplandırması

Konular	Lateral Derinliği (cm)		
	20	30	40
S ₄	41.74 c	42.13 b	40.57 h
S ₃	41.53 e	40.83 g	39.44 j
S ₂	42.42 a	40.44 ı	41.54 e
S ₁	41.61 d	40.98 f	39.45 j

4.2. Model çalışmalarına ilişkin bulgular

4.2.1. Toprak su içeriği simülasyon bulguları

Çalışmada üç farklı lateral derinliğindeki konulara ait yetiştirme mevsimi boyunca toprak nem içeriğinin değişimi Şekil 4.21-4.22-4.23’de gösterilmiştir. Bu değerler ekimden hasata kadar HYDRUS-2D\3D simülasyonun sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Birinci sezon 115 gün, ikinci sezon 118 gün sürmüştür. Çalışmada, 2019 yılında, farklı sulama suyu miktarları ortalama 25-50 mm arasında değişim gösterirken; 2020 yılında sulama suyu derinlikleri ortalama 28-43 mm arasında değişim göstermektedir.

Toprak nem içeriği ölçüm değerleri, sulama ile hızla artış gösterirken su alımı (bitki tarafından) ve yeniden topraktaki su dağılımının bir sonucu olarak bir sonraki sulama olayına kadar kademeli olarak azaldığı görülmüştür. Alt katman (60-90 cm), üst katmana göre daha az kil içerdiği için hidrolik iletkenlik değeri daha yüksektir. Bu sebeple katmanlar arasında toprak nem değişim değerlerinde dalgalanmalar daha büyüktür.

Ayrıca, HYDRUS-2D\3D modeli, her üç lateral derinliğinde de lateral hattından 0.15 m uzaktaki toprak nem içeriğinin tahmini, lateral hattından 0.30 m uzaktaki toprak nem içeriğinin tahminine göre daha başarılı olmuştur. Model 0.30 m uzaklıktaki, özellikle kök bölgesindeki toprak nem içeriğini simüle edemediği sonucuna varılmıştır.

Kök bölgesindeki farklılıklar temel olarak kök dağılımı ve su stresi azaltma işlevi hakkında doğrudan ölçülen verilerin eksikliğine bağlanabilir. Çalışmada kök bölgesindeki toprak nem içeriği değerleri daha düşük tahmin edilmiştir. Bunun nedeni, maksimum yoğunluğun gerçek köklenme derinliğinin modellenen köklenme derinliğinden daha sıkı olmasıdır. Susamın kök bölgesini deneysel olarak karakterize etmek, kök bölgesinde modellenen ve ölçülen toprak nem içeriği arasındaki uyumun artmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, sapmalar, Feddes’in azaltma parametrelerinin mevcut veri tabanından seçilmiştir. Yazılımda susam çeşitleri arasındaki farklılıklar dikkate alınmamıştır.

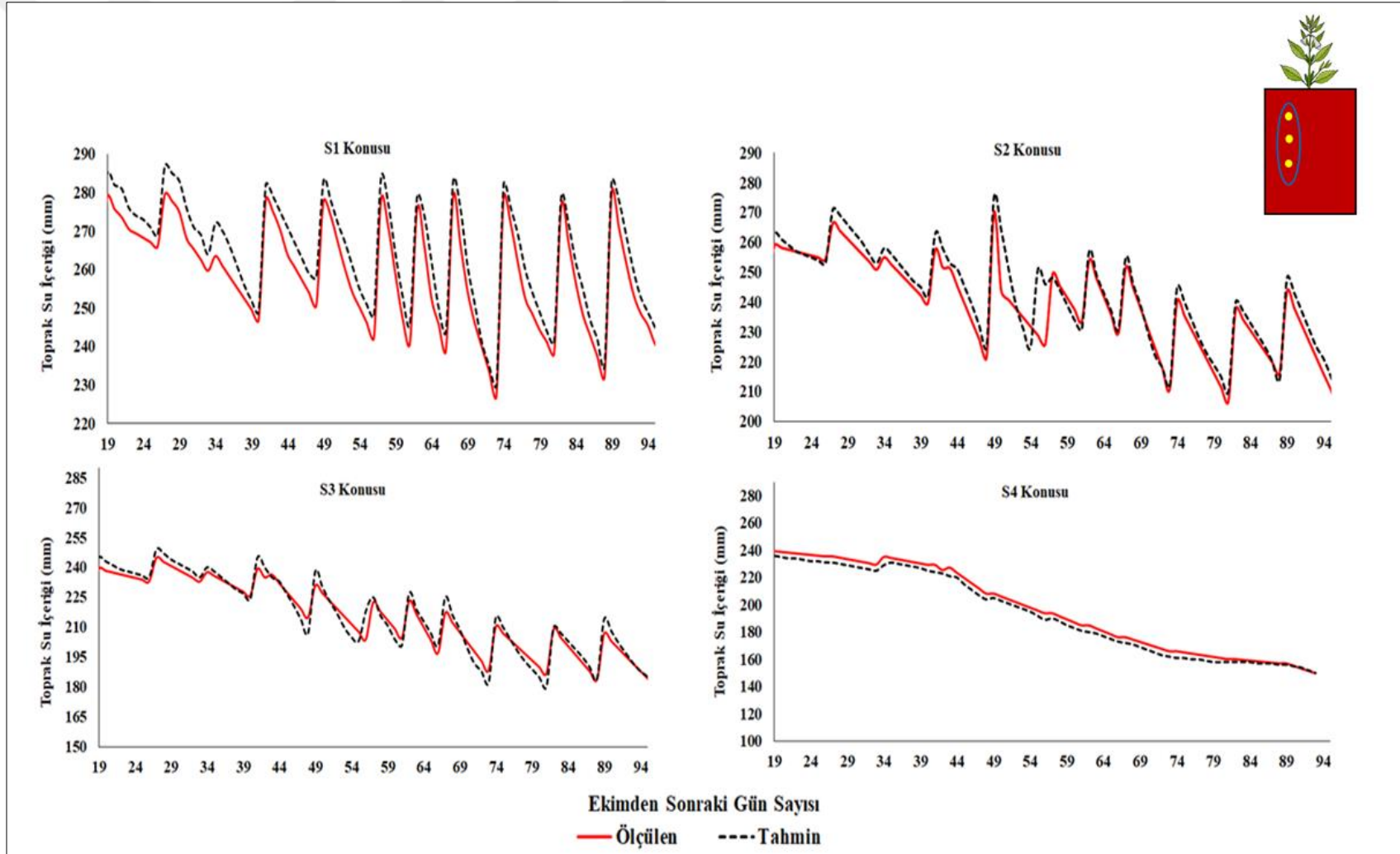
Sistemde lateral hattına en yakın konumlar, simüle edilen ve ölçülen toprak nem içeriği arasında lateral hattından en uzak konumlara göre daha iyi uyum

sağlamıştır. Örneğin, lateral hattından 0.15 m uzaklıktaki toprak nem içeriğinin, 0.014 ile 0.035 m³ m⁻³ değerler arasında değişim göstermiştir. Lateral hattından 0.30 m uzaklıkta toprak nem içeriği değerleri 0.016 ile 0.047 m³ m⁻³ arasında değişmektedir. Toprak nem içeriğinin bu şekilde sapmaları, yüksek kil fraksiyonu (düşük hidrolik iletkenlik) nedeniyle modeldeki sulama suyunun lateral hattından 0.30 m'ye kadar az iletilmesinden kaynaklanmaktadır.

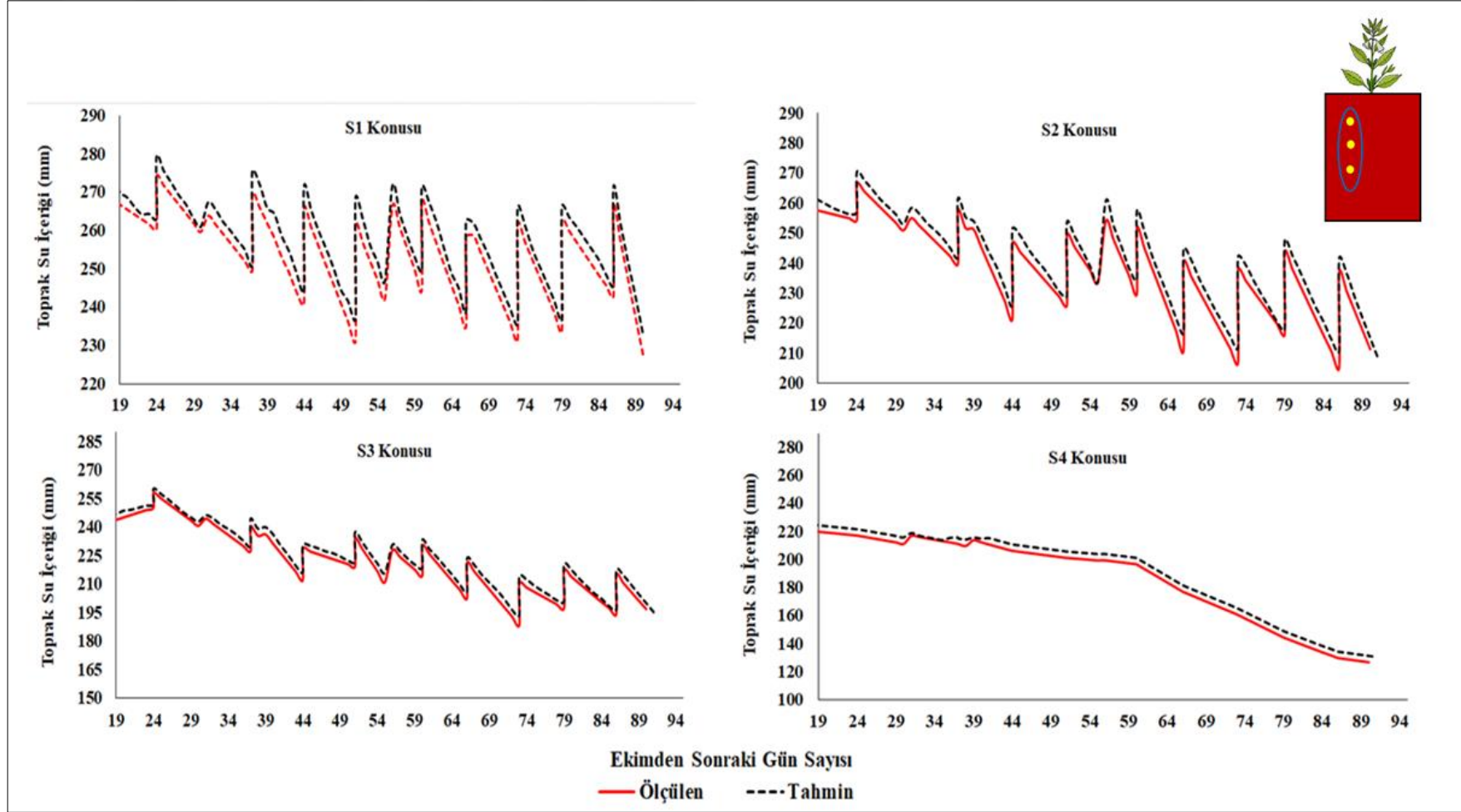
Toprak nem içeriği değerleri 0.15 m derinlikte ME değerleri pozitif ve 0.30 m derinlikte negatif olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç modelin toprak nem içeriğini 0.15 m derinlikte fazla ve 0.30 m derinlikte eksik tahmin ettiğini belirtmektedir. 0.15 m derinlikte toprak nem içeriğinin fazla tahmin edilmesi, lateral derinlerinin farklı olmasına ve topraktan daha az buharlaşmanın olmasına bağlanabilir. Damlatıcıların toprak yüzeyinden 20 cm altında bulunduğu konumda, S₁ sulama konularında sulama süresine bağlı olarak toprak yüzeyine su çıkışlarının olduğu gözlenmiştir. Bu da ME değerlerinin pozitif bulunmasına sebep olmuştur.

0.45 m derinlikte toprak nem içeriğinin olduğundan az tahmin edilmesi, modellenen köklenme derinliğinin gerçek köklenme derinliğinden daha derin olmasından kaynaklanmaktadır.

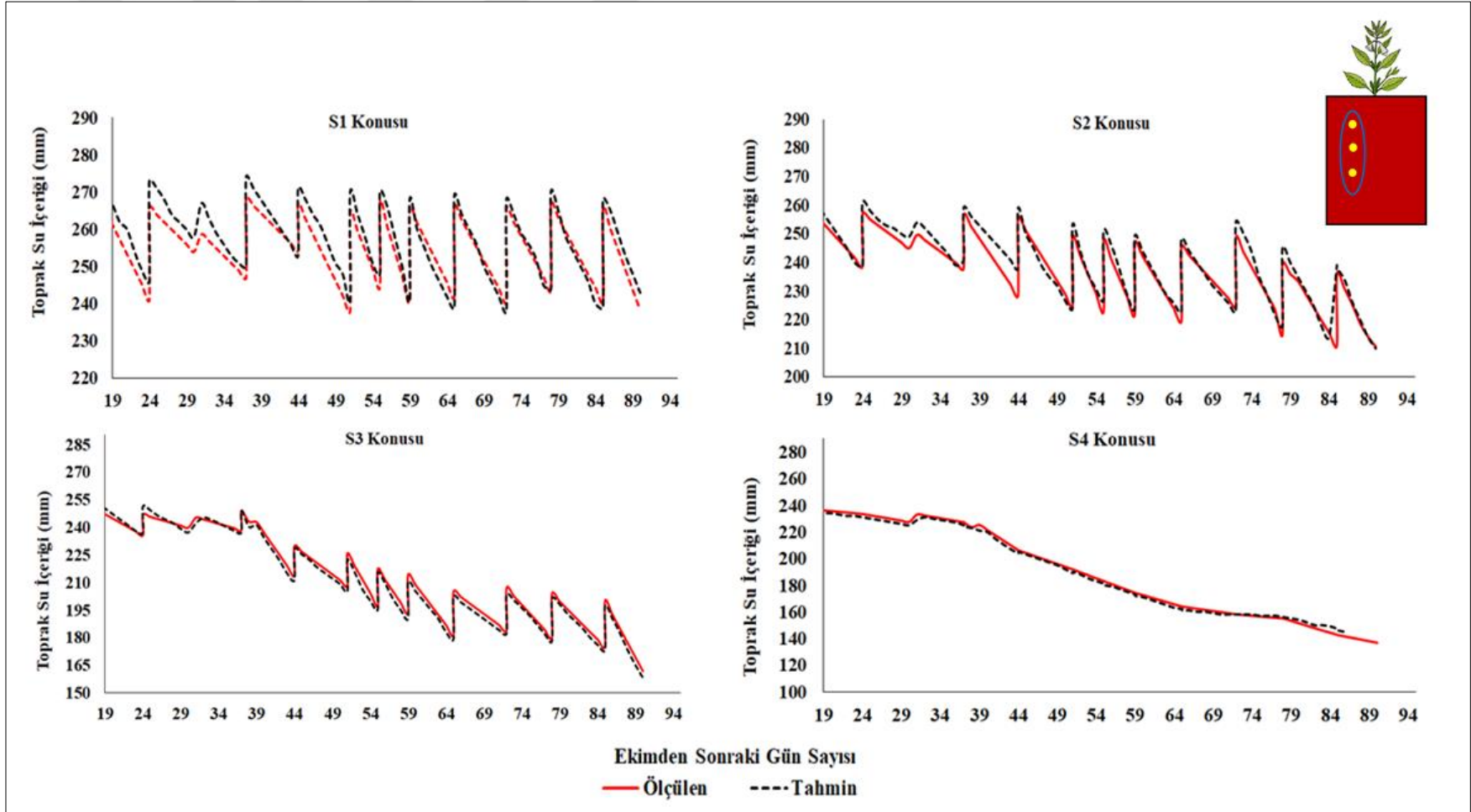
Douh vd.'nin yapmış olduğu çalışmada ürün gelişme döneminde T_r değeri artma eğiliminde olmuştur. 2012 yılında 4.5 mm gün⁻¹, 2014 yılında 2.8 mm gün⁻¹ ve 2015 yılında ise 3.2 mm gün⁻¹ değerinde olduğu belirtilmiştir. Sezon sonunda, T_r'de gözlemlenen düşüş, K_{cb}'deki düşüşlerden ve sıcaklıktan kaynaklanmakta olduğu vurgulanmıştır.



Şekil 4.21. 20 cm lateral derinliğindeki deneme konularına ait ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği grafikleri (2020 yılı)



Şekil 4.22. 30 cm lateral derinliğindeki deneme konularına ait ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği grafikleri (2020 yılı)



Şekil 4.23. 40 cm lateral derinliğindeki deneme konularına ait ölçülen ve tahmin edilen toprak nem içeriği grafikleri (2020 yılı)

4.2.2. Sulama öncesi, sulama esnası ve sulama sonrası toprak nem dağılımına ilişkin bulgular

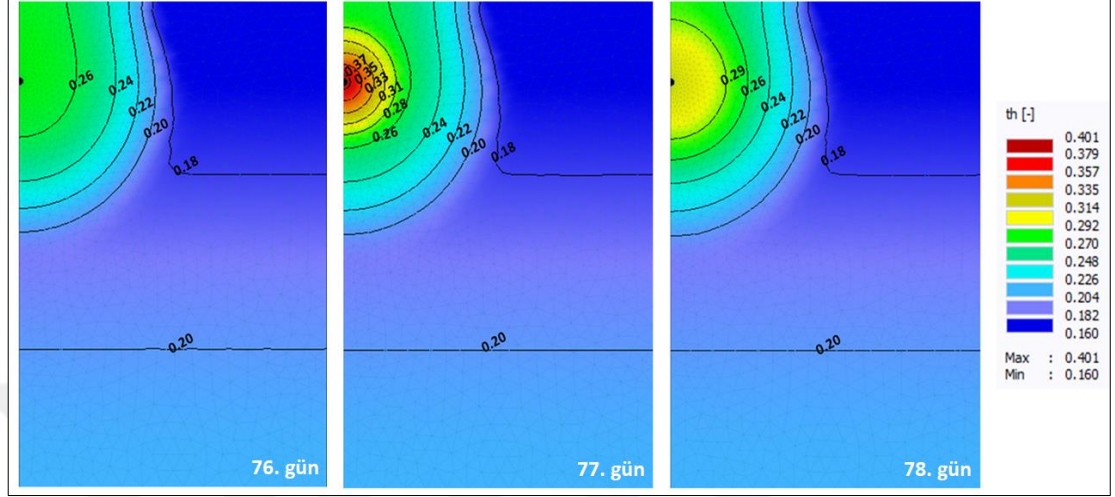
Toprağın sulama sonrası kök bölgesinde ne kadar su tuttuğunu incelemek ve derine sızmanın olup olmadığını anlamak için, en uzun sulamanın (4 saat, 20 dakika) yapıldığı gün farklı toprak derinliğinde ve damlatıcı çevresinde toprak nem içeriği değerleri ölçülmüştür. Ayrıca lateral hattına dikey yönde olacak şekilde toprak profilleri açılarak 15 cm aralıklarda gridlemeler yapılacak şekilde toprak örnekleme işlemi ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Toprak nem dağılımının incelendiği profiller

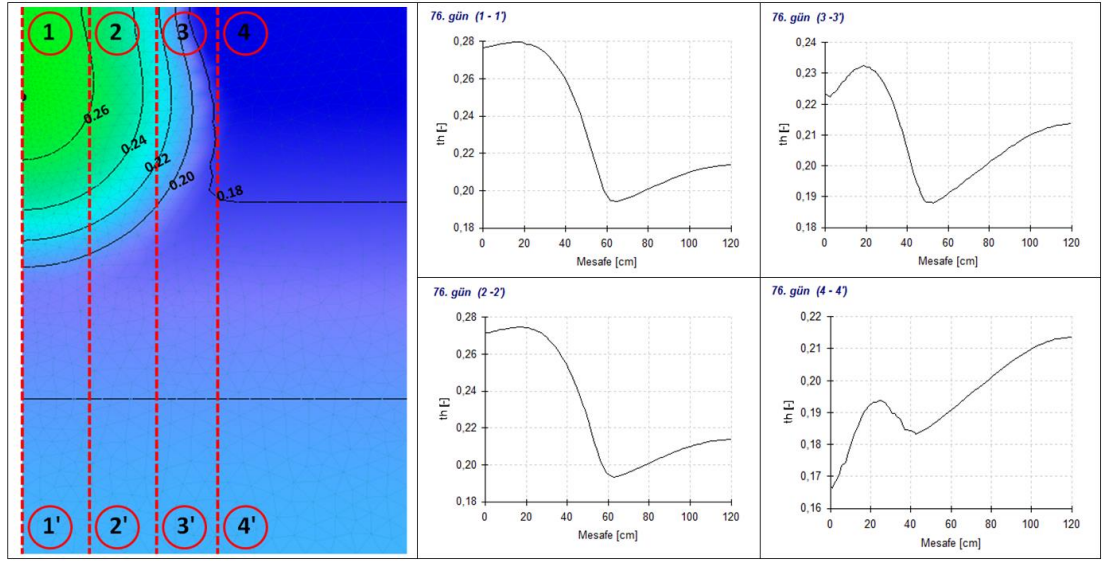
Çalışmada, en uzun yapılan sulama ekimden sonraki 77. güne denk gelirken, ikinci en uzun sulama ise 81. güne denk gelmiştir (Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28). 20 cm’de gömülü lateral için S_1 konusunda, sulamadan bir gün önce (76. gün), damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği değerleri %24-26 arasında değişim göstermiştir. Damlatıcıdan uzaklaştıkça azalarak %20-22 gibi değerlere ulaşmıştır. Aynı konuda, sulama esnasında (77. gün) ise damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği değerlerinin %33-37 arasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, damlatıcıdan uzaklaştıkça nem ve eğriler arasındaki mesafeler azalmıştır. Bu nedenle toprak nem içeriğindeki değişim azalmakta ve nem yoğun ortamdan az yoğun ortama

doğru hareket ettiği için ıslatma çeperi zamanla genişlemiştir. Sulamadan bir gün sonra (78. gün) S₁ konusunda, toprak nem içeriği değerleri %26-29 olarak tespit edilmiştir. Sulamadan üç gün sonra (80. gün) ise bu değer %25'e kadar düşmektedir. Damlatıcıdan uzaklaştıkça nem azalır ve eğriler arasındaki mesafeler artmaktadır.



Şekil 4.25. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

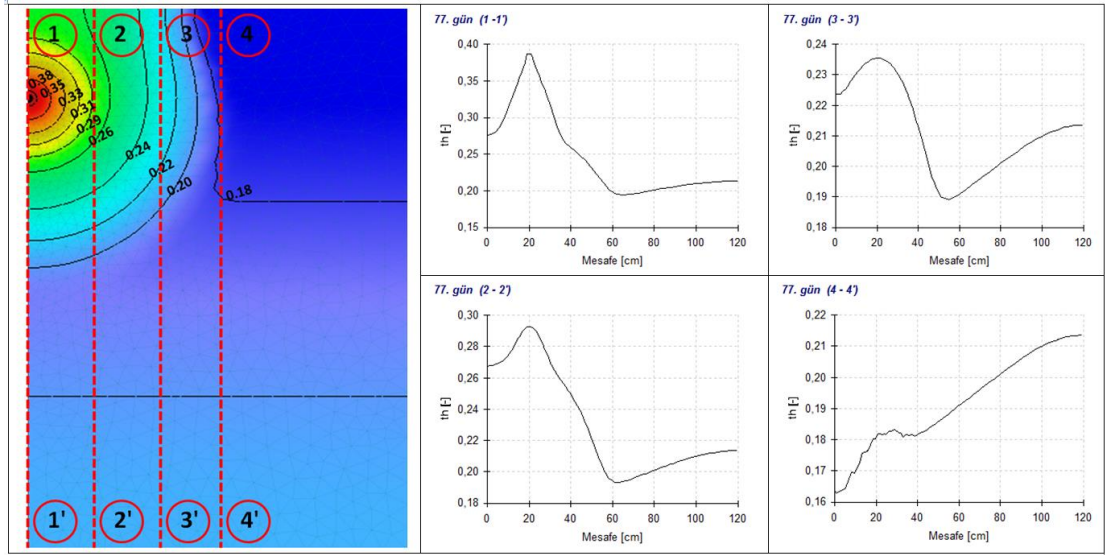
Çalışmanın 76. gününde, toprak profilinde meydana gelen nem değişimi farklı kesitlerden (1-1', 2-2', 3-3' ve 4-4' doğruları) ayrıntılı olarak incelenmiştir (Şekil 4.26). Yapılan bu metot ile sulama esnasında derine sızmanın olup olmadığı ya da yüzey üzerine su çıkışlarının olup olmadığına dair sonuçlar sağlıklı bir şekilde elde edilmektedir. İncelemeler sonucunda sulamadan bir gün önce 1-1' doğrusu boyunca nem değeride aşağıya doğru azalmaktadır. Toprağın yüzeyinde nem değeri 27.7 mm civarında iken 120 cm derinliğe doğru gidildikçe 21 mm'ye kadar düşmüştür. Ancak şekilde de görüldüğü gibi 60 ile 120 cm arasında 3 mm'lik artış gözlenmiştir. Burada toprak neminin yoğun olan yerden az olduğu yere doğru hareket olduğu görülmektedir. 2-2' doğrusu damlatıcıdan (kaynaktan) uzaklaştığı için nem değerlerinde daha da azalma meydana gelmiştir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirine yaklaşmıştır ve değerler daha da düşmüştür. Damlatıcının olduğu hizada nem haklasının genişlediği ve 4-4' doğrusunun deydığı noktada nem değeri 23.5 mm civarında olduğu görülmüştür.



Şekil 4.26. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda yapılan sulamdan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

Sulama esnasında, 1-1' doğrusu boyunca nem değeride damlatıcının olduğu toprak civarında 39 mm'ye kadar çıkmıştır. Nem halkası 60 cm'den sonra oluşmamıştır. 60 ve 120 cm arasında ise 2-2.5 mm'lik nem yükselmesi görülmüştür. Nem hareketi çok yoğun ortamdan az yoğun ortama doğru gerçekleşmiştir. Toprak profilinin 120 cm derinliklerinde nem değerleri 21 mm olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda derine sızmanın olmadığı hem arazi hem de model sonucunda ortaya konulmuştur. Ayrıca damlatıcının olduğu 20 cm derinlikte toprak nem değeri en yüksek değrine yani 38 mm'ye ulaşmıştır. Bu durumda kapılar yükselme ile toprak yüzeyinde su çıkışlarının olduğu deneme alanında da görülmüştür. Sulama esnasında, damlatıcının etrafındaki nem halkalarının birbirine daha yakın ve nem değerlerinin ise daha yüksek olduğu Şekil 4.27'da da görülmektedir.

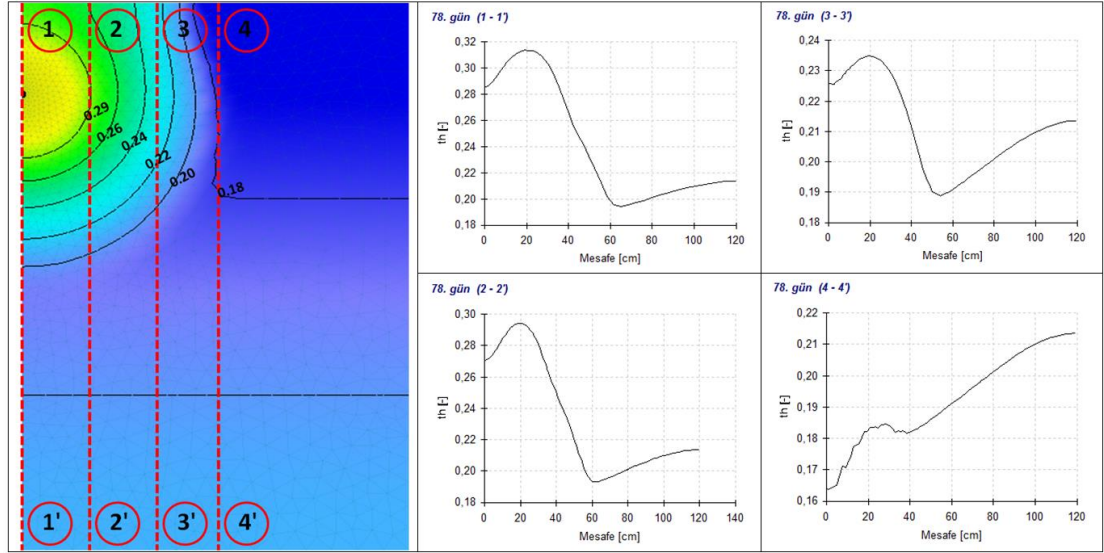
2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Nem eğrisinin genişlediği kaynak hızasında toprak nem değeri 29 mm ulaşmıştır. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirine yaklaşmıştır ve değerler daha da düşmüştür. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş nem değerinin ise tarla kapasitesi değerinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca damlatıcının olduğu hizada nem halkasının genişlediği ve 4-4' doğrusunun deydiği noktada nem değeri 18.2 mm civarında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

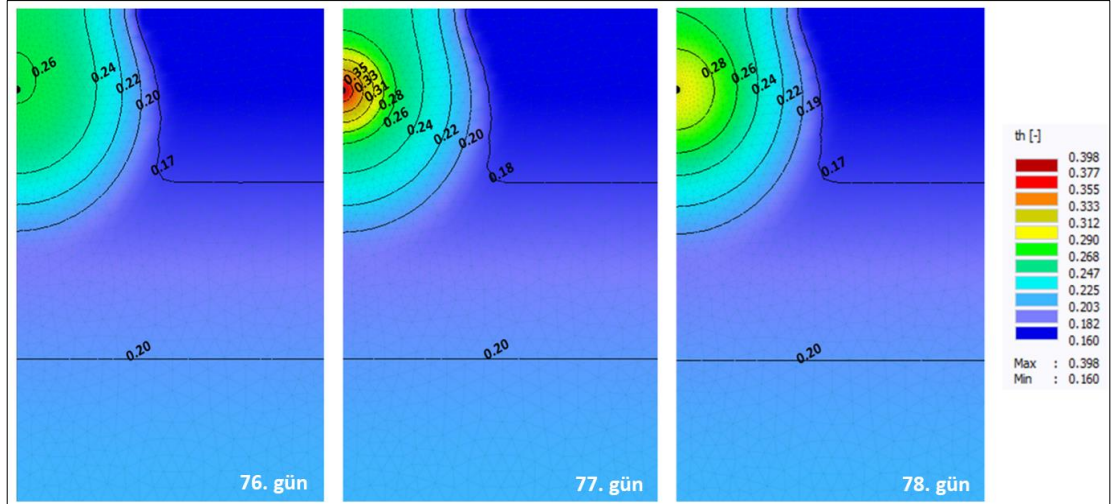
Sulama sonrasında, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 26-31 mm arasında değişim göstermektedir. Sulama esnasında 38 mm'ye kadar ulaşan toprak nem değeri 24 saat sonra 31 mm ulaşmıştır. Damlatıcının etrafındaki toprak neminde ki düşmenin yavaş olmasının sebebi killi tınlı toprak yapısından kaynaklanmaktadır. Çünkü killi tınlı toprakların su tutma kapasiteleri oldukça yüksek ve tanecikler arasındaki boşluklar azdır, bu da toprakta su hareketini yavaş olmasına neden olmaktadır. Arazi koşullarında tarla kapasitesi değeri belirlenecek ise bu şartlar altında toprak profili tam doyurulduktan, 48 saat sonra ölçümlerin yapılması önerilmektedir.

2-2' doğrusunda ise nem eğrisinin genişlediği kaynak hızasında toprak nem değeri 29 mm ulaşmıştır. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirine yaklaşmıştır olup en yüksek değerin 23.5 mm olduğu tespit edilmiştir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiştir. 90-120 cm derinlikte ise nem değerlerinin 21 mm civarında olduğu Şekil 4.28'de görülmektedir.



Şekil 4.28. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

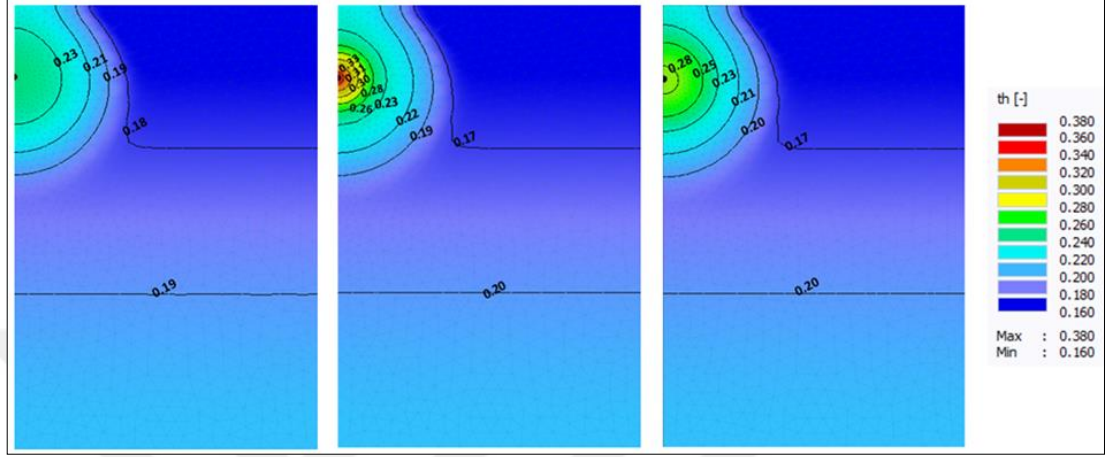
20 cm derinde bulunan damlatıcıya uygulanan S_2 konusu için, sulamadan bir gün önce (76. gün) damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği değerlerinin %24-26 arasında olduğu tespit edilmiştir. Sulama esnasında (77. gün) ise damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği değerlerinin %28-35 arasında değişim gösterirken, sulamadan bir gün sonra (78. gün) S_2 konusu için, toprak nem içeriği değerleri %26-28 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

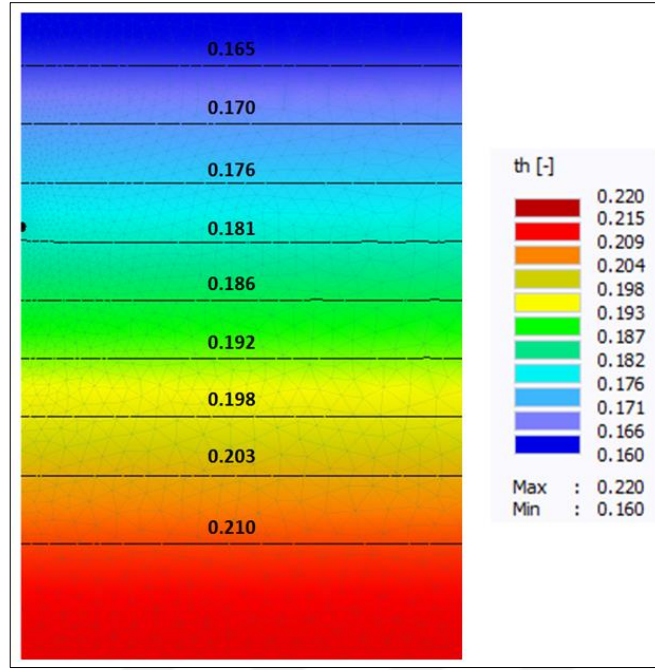
Toprak yüzeyinin 20 cm altında bulunan damlatıcıda, S_3 konusunda sulamadan önce (76. gün) toprak nem içeriği %19 ile %23 arasında değişim gösterdiği

belirlenmiştir. Sulama esnasında ise damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği %30-33 değerlerine kadar ulaşmıştır. Ayrıca, damlatıcıdan uzaklaştıkça nem ve eğriler arasındaki mesafeler azalmıştır. Sulamadan bir gün sonra (78. gün), toprak nem içeriği %23-28 olduğu belirlenmiştir. Damlatıcıdan uzaklaştıkça nem değeri azalmakta ve eğriler arasındaki mesafeler artmaktadır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S₃ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

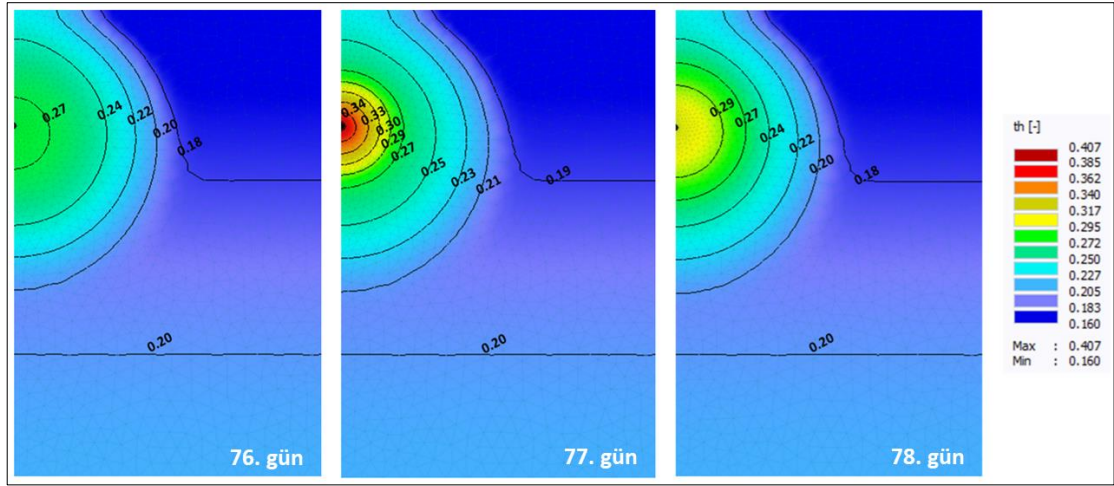
Yağışa dayalı üretimin yapıldığı S₄ konusunda, 0-30 cm'lik katmanında toprak nem içeriği değerleri, yetiştirme periyodunun 77. gününde, toprak profili boyunca nasıl azalış gösterdiği Şekil 4.31'da verilmiştir. Toprağın 0-30 cm derinliğinde toprak nem değerleri %16-17, 30-60 cm derinliğinde %18-18.6, 60-90 cm derinliğinde %19-19.8 ve 90-120 cm derinliğinde ise %20-21 olarak tespit edilmiştir. Toprak profilinin en alt katmanının (90-120 cm) 77. günde tarla kapasitesi değerinde olduğu Şekil 4.31'da görülmektedir.



Şekil 4.31. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S₄ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

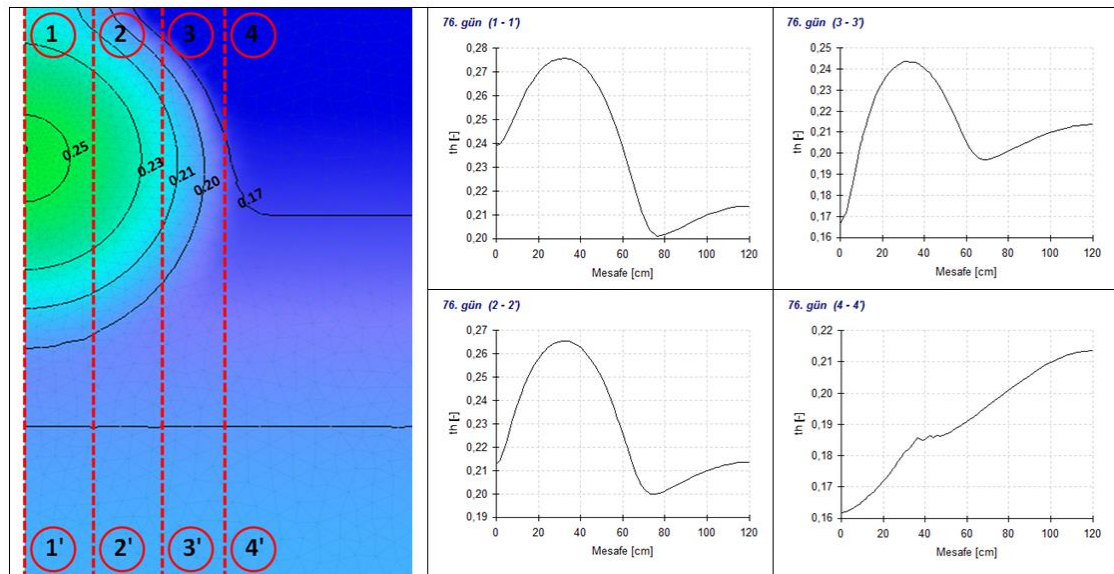
Denemenin toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcı etrafında farklı sulama konularında oluşan toprak nem dağılım haritaları Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’de verilmiştir. En uzun sulamanın yapıldığı gün ekimden sonraki 77. gününe denk gelmekte olup, sulamanın bir gün öncesi (76. gün) ve bir gün sonrası (78. gün) toprak nem içeriği değerleri incelenmiştir.

30 cm’de bulunan damlatıcının etrafındaki toprağın, sulamadan önce toprak nem içeriği %20 ile %27 arasında olduğu belirlenmiştir. Sulama esnasında (77. gün) bu değer %34’e kadar ulaşmıştır. Ayrıca, damlatıcıdan uzaklaştıkça eğriler arasındaki mesafeler azalmıştır. Sulamadan bir gün sonra (78. gün), toprak nem içeriği %24-29 değerleri arasına düşmüştür. Yani sulamadan bir gün sonra toprakta ortalama 6-7 mm’lik nem kaybı meydana gelmiştir. Damlatıcıdan uzaklaştıkça nem değeri azalmış ve eğriler birbirinden uzaklaşmaktadır (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

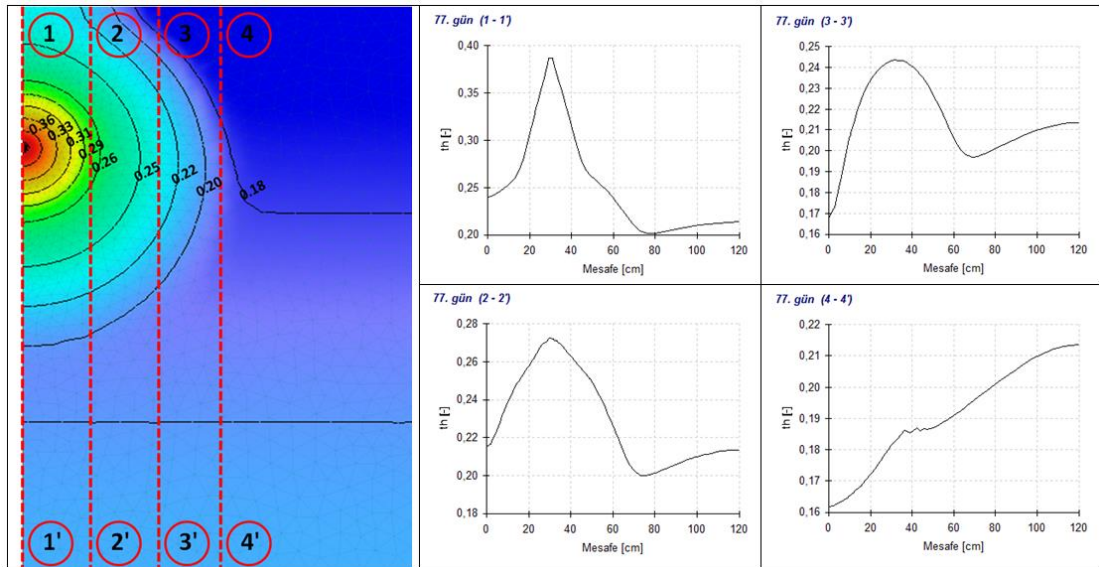
Sulamadan bir gün önce, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 20-25 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek nem değeri damlatıcının etrafında 27.5 mm olarak tespit edilmiştir. Sulamadan bir gün önce 1-1' doğrusu boyunca nem değeri de genel olarak aşağıya doğru azalmıştır. Ancak 78 cm'den 120 cm'e kadar 1.3 mm'lik bir artış gözlenmiştir (Şekil 4.33). 2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde daha da azalma meydana gelmiştir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirine yaklaşmıştır ve değerler daha da düşmüştür. Damlatıcının olduğu hizada nem halkasının genişlediği noktada nem değeri 20 mm civarında olduğu görülmüştür.



Şekil 4.33. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

Sulama esnasında toprak profilindeki nem değişimi detaylı incelendiğinde, 1-1' doğrusu boyunca nem değeri de damlatıcının olduğu toprak civarında 37 mm'ye kadar çıkmıştır. 60-120 cm arasında ise 2 mm'lik nem yükselmesi görülmüştür. Nem hareketi çok yoğun ortamdan az yoğun ortama doğru gerçekleşmiştir. Toprak profilinin 120 cm derinliklerinde nem değerleri 21 mm olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda derine sızmanın olmadığı modelde de görülmektedir. Arazi şartlarında yapılan gözlem ve ölçümler sonucunda kapılar yükselmenin olmadığı yapılan modelleme ile de görülmüştür. Sulama esnasında, damlatıcının etrafındaki nem halkalarının birbirine daha yakın ve nem değerlerinin ise daha yüksek olduğu Şekil 4.34'de görülmektedir.

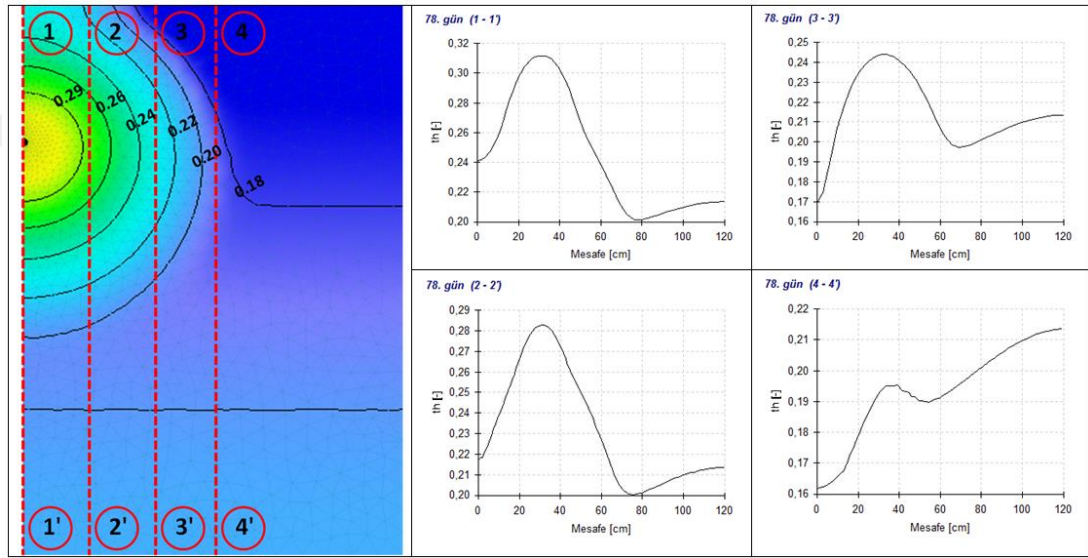
2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Nem eğrisinin genişlediği kaynak hizasında toprak nem değeri 27 mm ulaşmıştır. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirine yaklaşmıştır ve değerler daha da düşmüştür. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş nem değerinin ise tarla kapasitesi değerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum derine sızmanın olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.34. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

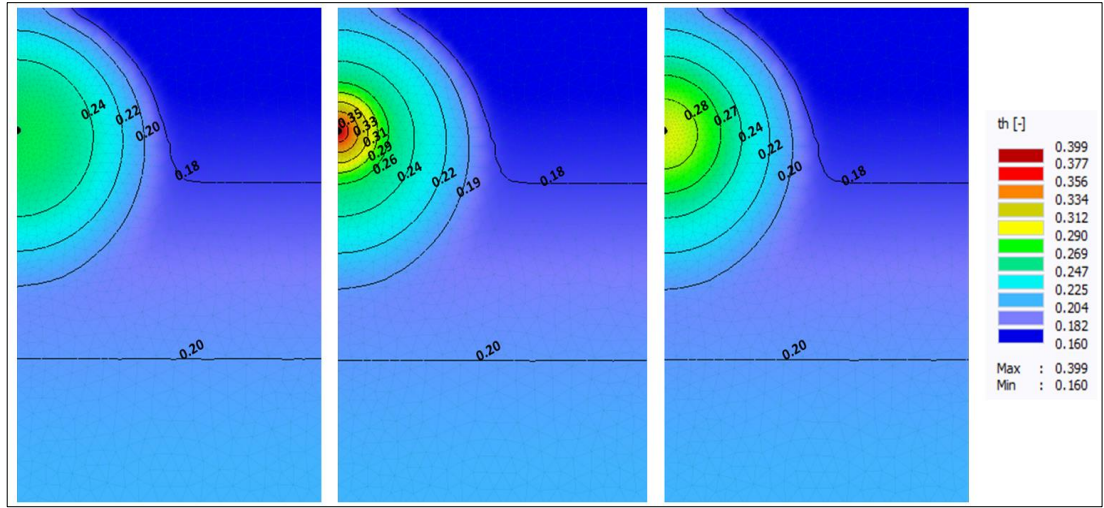
Sulama sonrasında, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 22-29 mm

arasında değişim göstermektedir. Sulama esnasında 36 mm'ye kadar ulaşan toprak nem değeri 24 saat sonra 30 mm'ye düşmüştür. Damlatıcının etrafındaki toprak neminde ki düşmenin yavaş olmasının sebebi killi tınlı toprak yapısından kaynaklanmaktadır. 2-2' doğrusunda ise nem eğrisinin genişlediği kaynak hizasında toprak nem değeri 28 mm ulaşmıştır. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirine yaklaştırmış olup en yüksek değerin 23.5 mm olduğu tespit edilmiştir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş. 90-120 cm derinlikte ise nem değerlerinin 21 mm civarında olduğu Şekil 4.35'de görölmektedir.



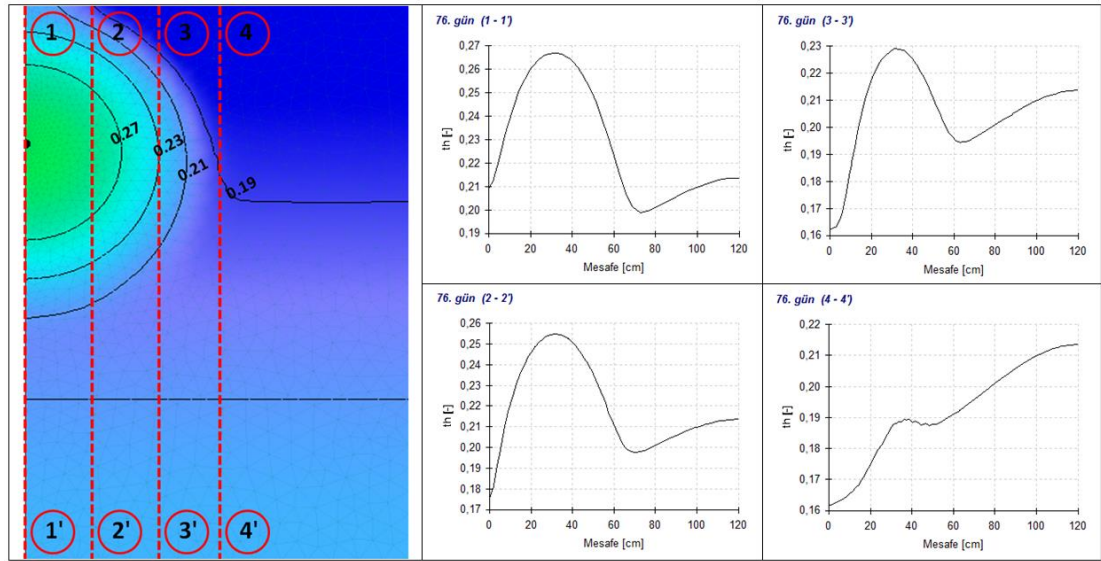
Şekil 4.35. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

30 cm derinde bulunan damlatıcıya uygulanan S₂ konusu için, sulamadan bir gün önce (76. gün) damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği değerlerinin %20-24 arasında değiştii tespit edilmiştir. Sulama esnasında (77. gün) ise damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği değerinin %35'e kadar yükseldii, sulamadan bir gün sonra (78. gün) ise %28 değerine düştüğü görölmüştür (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

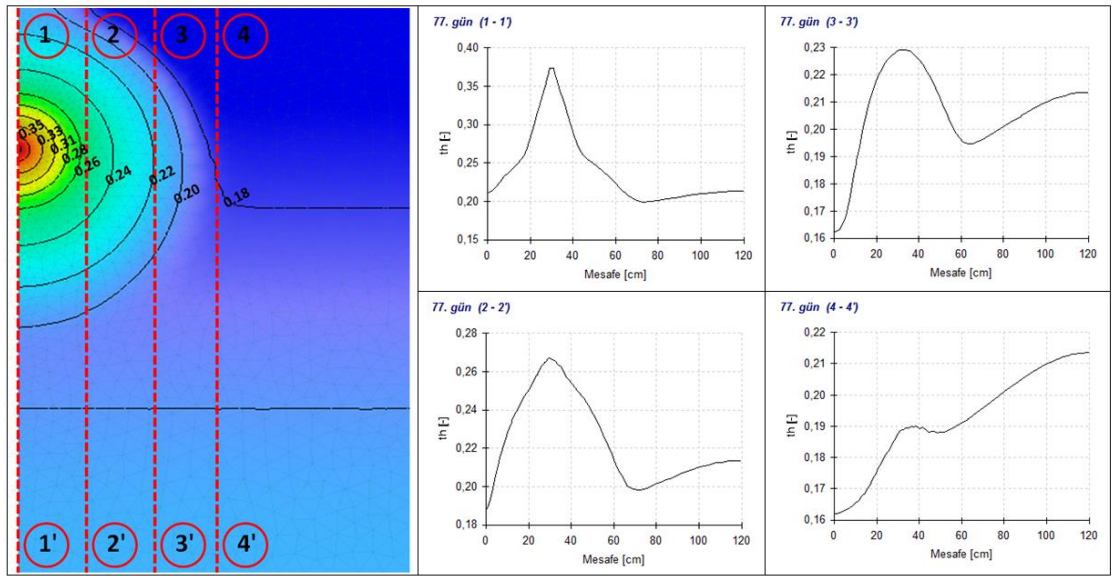
Sulamadan bir gün önce, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 24-26 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek nem değeri damlatıcının etrafında 26.5 mm olarak tespit edilmiştir. Sulamadan bir gün önce 1-1' doğrusu boyunca nem değeri de genel olarak aşağıya doğru azalmıştır. Ancak 70 cm'den 120 cm'e kadar 1.1 mm'lik bir artış gözlenmiştir (Şekil 4.37). 2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde daha da azalma meydana gelmiştir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirine yaklaşmıştır ve değerler daha da düşmüştür. Damlatıcının olduğu hizada nem halkasının genişlediği noktada nem değeri 23 mm civarında olduğu Şekil 4.37' de görülmektedir. 4-4' doğrusunun olduğu yer de en yüksek nem değeri 21.5 mm'dir. Bu değer 100-120 cm derinliğinde görülmektedir.



Şekil 4.37. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₂ konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

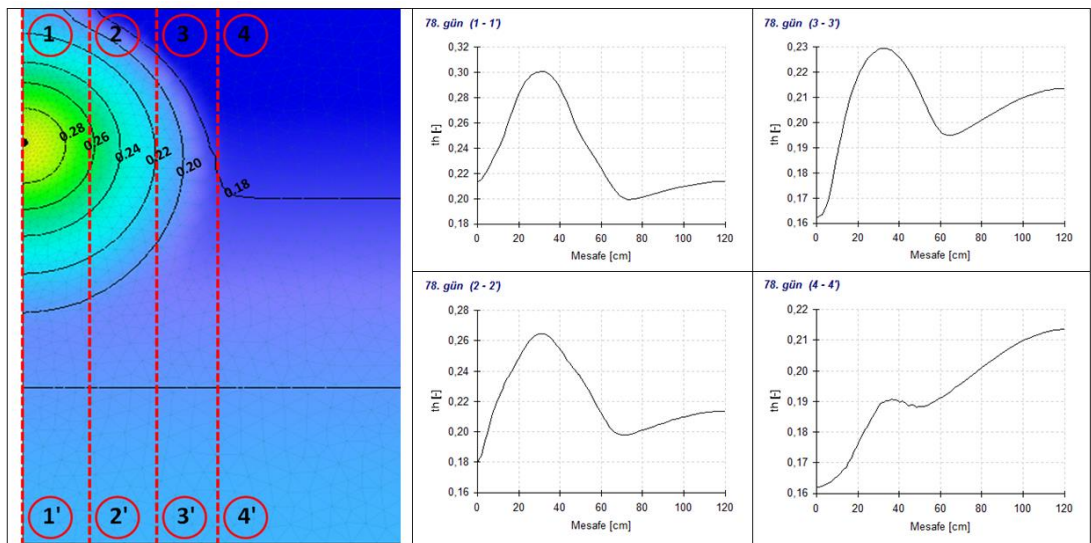
Çalışmanın S₂ konusunda sulama gerçekleşirken, 1-1' doğrusu boyunca nem değeri damlatıcının etrafında 35 mm'ye kadar yükselmiştir. Nem hareketi çok yoğun ortamdan az yoğun ortama doğru gerçekleşmiş olup, nem değerinde 70-120 cm arasında 1 mm yükselme olmuştur. Toprak profilinin 120 cm derinliklerinde nem değerleri 20.5 mm olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda derine sızmanın olmadığı modelde de görülmektedir. Sulama esnasında, damlatıcının etrafındaki nem halkalarının birbirine daha yakın ve nem değerlerinin ise daha yüksek olduğu Şekil 4.38'de görülmektedir.

2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Nem eğrisinin genişlediği, kaynak hizasında toprak nem değeri 26 mm değerindedir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirinden uzaklaşmıştır. En yüksek nem değeri ise 22 mm'dir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş nem değerinin ise tarla kapasitesi değerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum derine sızmanın olmadığını göstermektedir. Sulama esnasında 4-4' doğrusunun olduğu, damlatıcının hizasına kadar su ulaşmamıştır.



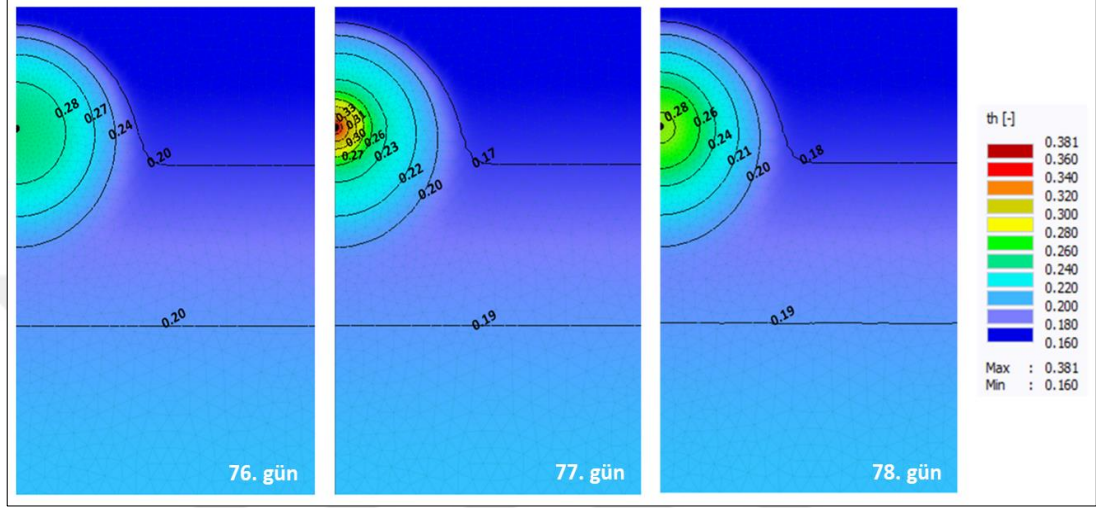
Şekil 4.38. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

Sulama sonrasında, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 20-28 mm arasında değişim göstermektedir. Sulama esnasında 35 mm'ye kadar ulaşan toprak nem değeri 24 saat sonra 28 mm'ye düşmüştür. 2-2' doğrusunda ise nem eğrisinin genişlediği kaynak hizasında toprak nem değeri 26 mm'dir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde nem değerleri en yüksek 22 mm olarak belirlenmiştir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş. 70-120 cm derinlikte ise nem değerlerinin 21 mm civarında olduğu Şekil 4.39'de görülmektedir.



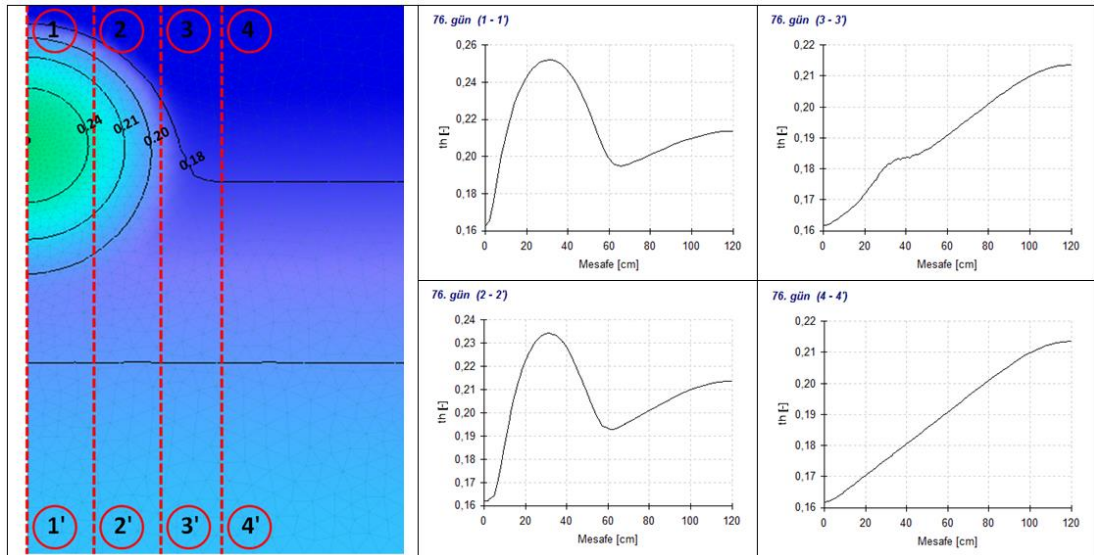
Şekil 4.39. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_2 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

Toprak yüzeyinin 30 cm altında bulunan damlatıcıda, S₃ konusunda sulamadan önce (76. gün) toprak nem içeriğinin %24 değerinde olduğu belirlenmiştir. Sulama esnasında ise damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği %33 değerine ulaşmıştır. Sulamadan bir gün sonra (78. gün), toprak nem içeriği %24-28 olduğu belirlenmiştir. Damlatıcıdan uzaklaştıkça nem değeri azalmakta ve eğriler arasındaki mesafeler artmaktadır (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₃ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

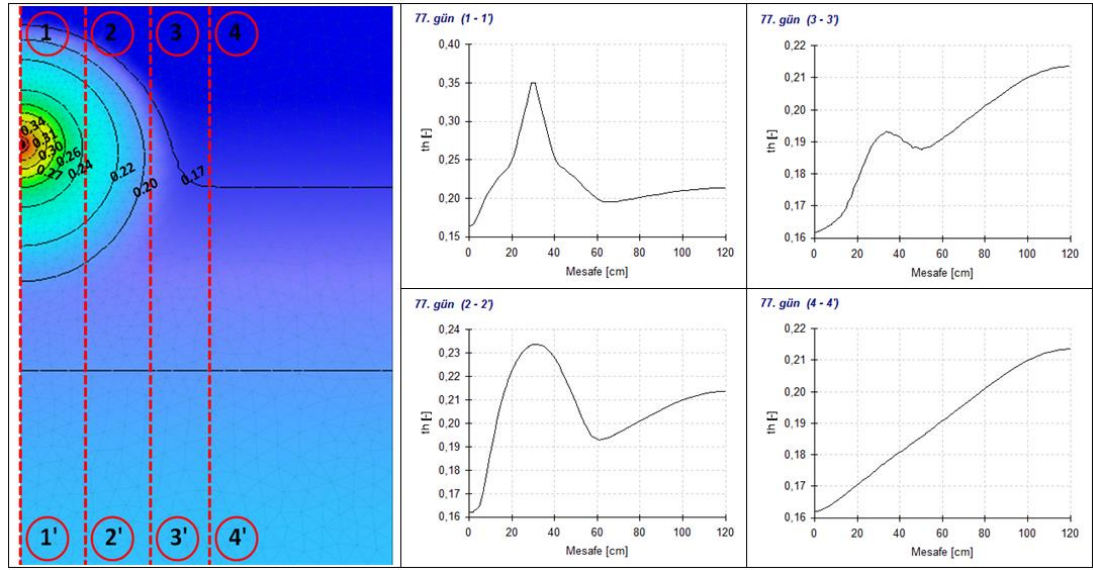
S₃ konusunda, sulamadan bir gün önce, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 21-25 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek nem değeri damlatıcının etrafında 25 mm olarak tespit edilmiştir. Sulamadan bir gün önce 1-1' doğrusu boyunca nem değeri de genel olarak aşağıya doğru azalmıştır. Ancak 60 cm'den 120 cm'e kadar 1.8 mm'lik bir artış gözlenmiştir (Şekil 4.41). 2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde daha da azalma meydana gelmiştir ve en yüksek nem değeri 24 mm'dir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem halkasının genişlediği yerde nem değeri 18.4 mm'dir. 4-4' doğrusunun olduğu yer de en yüksek nem değeri 21 mm'dir. Bu değer 100-120 cm derinliğinde görülmektedir.



Şekil 4.41. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulamdan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

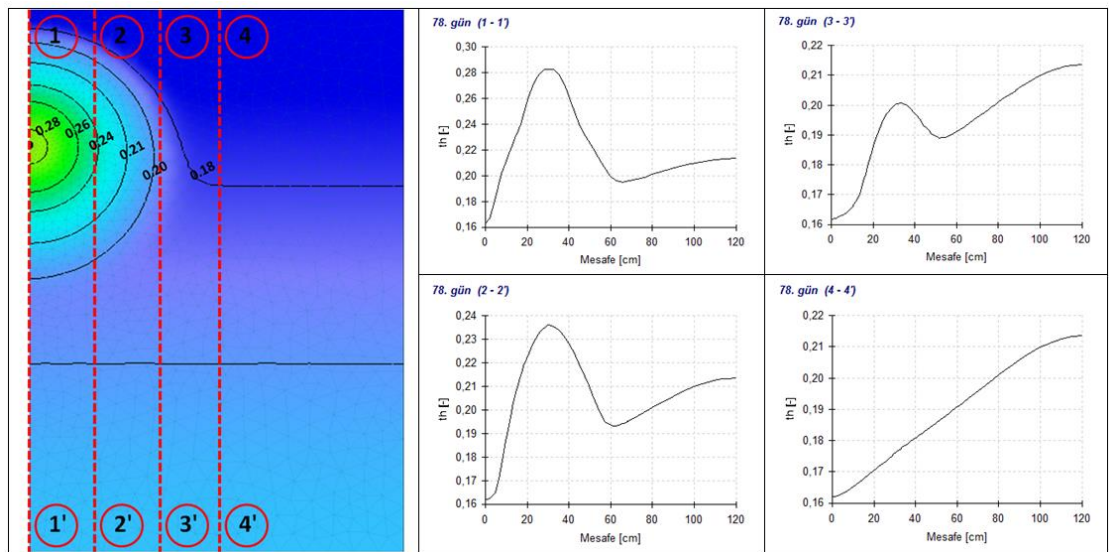
S_2 konusunda sulama gerçekleşirken, 1-1' doğrusu boyunca nem değeri damlatıcının etrafında 34 mm'ye kadar yükselmiştir. Toprak profilinin 120 cm derinliklerinde nem değerleri 21 mm olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda derine sızmanın olmadığı modelde de görülmektedir. Ayrıca sulama esnasında ve sonrasında toprak yüzeyine su çıkışları olmamıştır. Ayrıca sulama gerçekleşirken, damlatıcının etrafındaki nem halkalarının birbirine daha yakın ve nem değerlerinin ise daha yüksek olduğu Şekil 4.42'de görülmektedir.

2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Nem eğrisinin genişlediği, kaynak hizasında toprak nem değeri 24 mm değerindedir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem değerlerine ait eğri halkaları birbirinden uzaklaşmıştır. En yüksek nem değeri ise 20 mm'dir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş nem değerinin ise tarla kapasitesi değerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum derine sızmanın olmadığını göstermektedir. Sulama esnasında 4-4' doğrusunun olduğu, damlatıcının hizasına kadar su ulaşmamıştır.



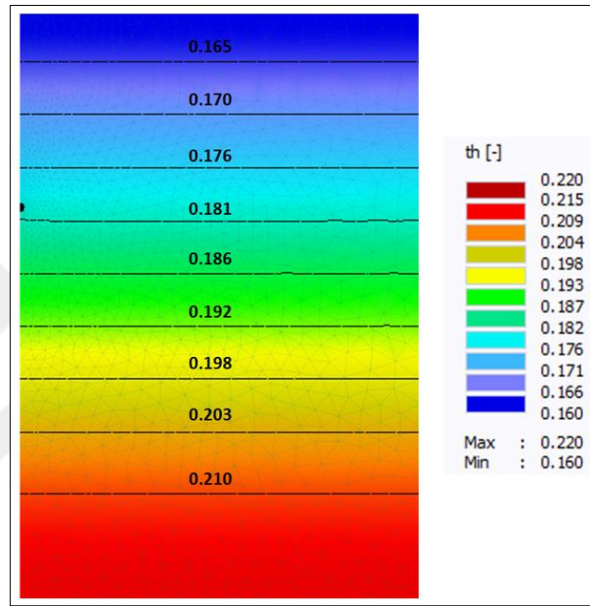
Şekil 4.42. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

S_3 konusu sulama sonrasında, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 21-28 mm arasında değişim göstermektedir. Sulama esnasında 34 mm'ye kadar ulaşan toprak nem değeri 24 saat sonra 27-28 mm'ye düşmüştür. 2-2' doğrusunda ise nem eğrisinin genişlediği kaynak hizasında toprak nem değeri 24 mm'dir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde nem değerleri en yüksek 20 mm olarak belirlenmiştir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş. 60-120 cm derinlikte ise nem değerlerinin 21 mm civarında olduğu Şekil 4.43'de görülmektedir.



Şekil 4.43. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

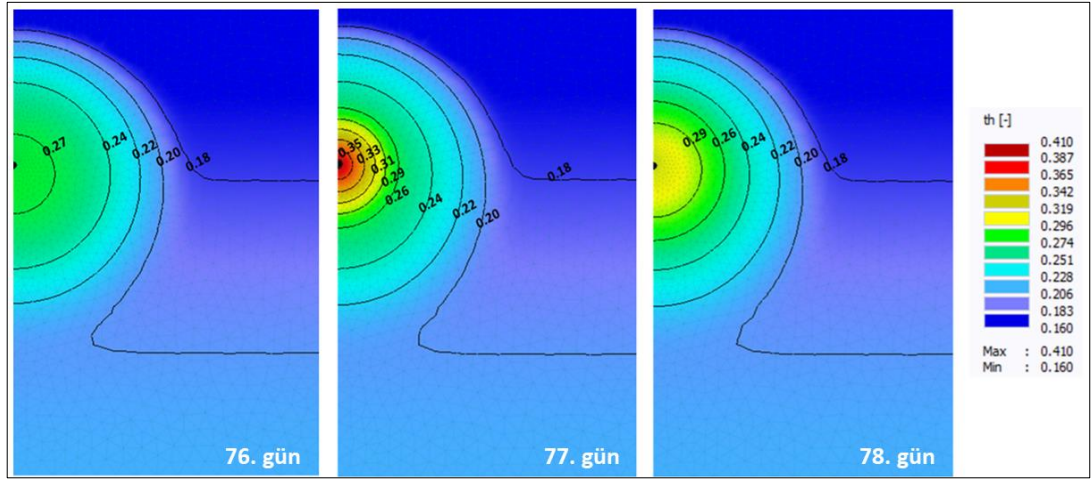
Yağışa dayalı üretimin yapıldığı S₄ konusunda, 0-30 cm'lik katmanında toprak nem içeriği değerleri, yetiştirme periyodunun 77. gününde, toprak profili boyunca nasıl azalış gösterdiği Şekil 4.29'da verilmiştir. Toprağın 0-30 cm derinliğinde toprak nem değerleri %16-17, 30-60 cm derinliğinde %18-18.6, 60-90 cm derinliğinde %19-19.8 ve 90-120 cm derinliğinde ise %20-21 olarak tespit edilmiştir. Toprak profilinin en alt katmanının (90-120 cm) 77. günde tarla kapasitesi değerinde olduğu Şekil 4.44'da görülmektedir.



Şekil 4.44. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₄ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

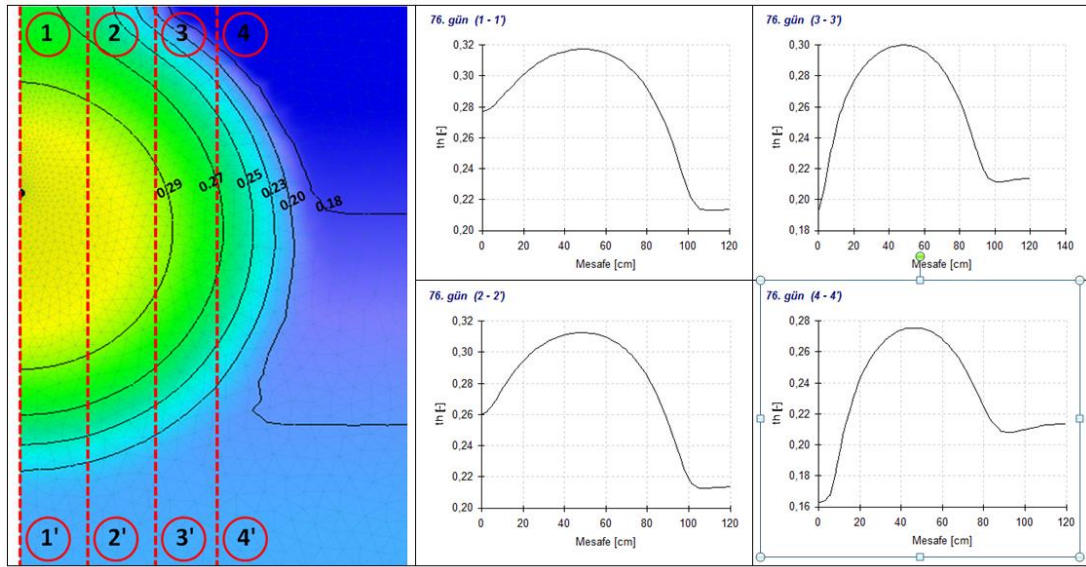
Denemenin toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcı etrafında farklı sulama konularında oluşan toprak nem dağılım haritaları Şekil 4.45, Şekil 4.46 ve Şekil 4.47'de verilmiştir. En uzun sulamanın yapıldığı gün ekimden sonraki 77. gününe denk gelmekte olup, sulamanın bir gün öncesi (76. gün) ve bir gün sonrası (78. gün) toprak nem içeriği değerleri incelenmiştir.

40 cm'de bulunan damlatıcının etrafındaki toprağın, sulamadan önce toprak nem içeriği %22 ile %27 arasında olduğu belirlenmiştir. Sulama esnasında (77. gün) bu değer %35'e kadar ulaşmıştır. Ayrıca, damlatıcıdan uzaklaştıkça eğriler arasındaki mesafeler azalmıştır. Sulamadan bir gün sonra (78. gün), toprak nem içeriği %22-29 değerleri arasına düşmüştür. Damlatıcıdan uzaklaştıkça nem değeri azalmış ve eğriler birbirinden uzaklaşmaktadır (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

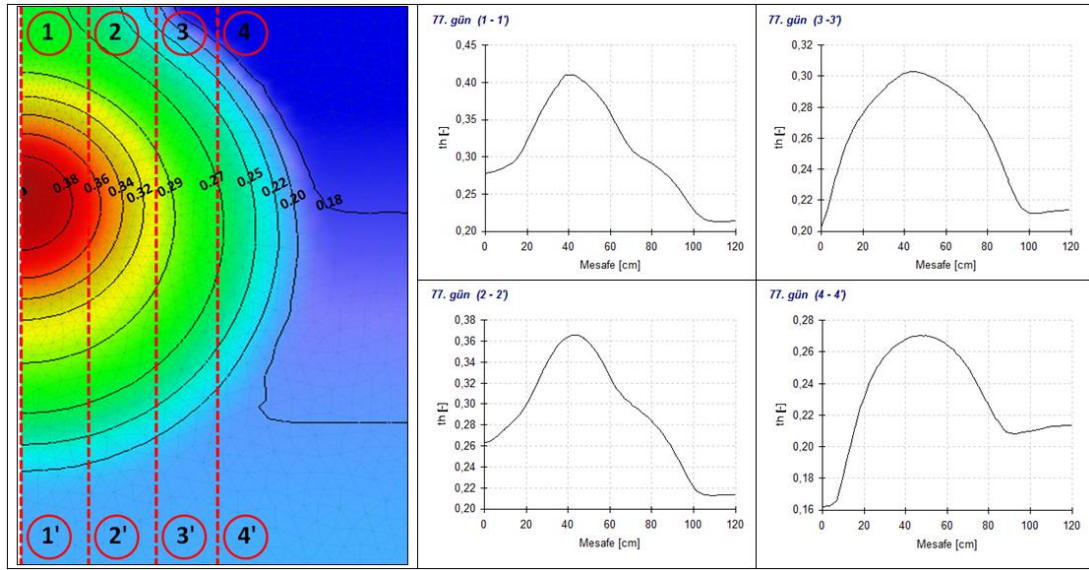
40 cm lateral derinliğinde sulaması yapılan S_1 konusunda, sulamadan bir gün önce, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 27-31 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek nem değeri damlatıcının etrafında 31 mm olarak tespit edilmiştir. Sulamadan bir gün önce 1-1' doğrusu boyunca nem değeri de genel olarak aşağıya doğru azalmıştır. 40 cm'den 100 cm'ye kadar nem değerinde azalma olurken, 100 cm'den sonra 21 mm'de sabitlenmiştir (Şekil 4.46). 2-2' doğrusunda en yüksek nem değeri 31 mm'dir. Damlatıcının oldu nokta ile 2-2' doğrusunun en yüksek nem değeri birbiri ile aynıdır. Bunun sebebi ise toprak yapısının killi tınlı toprak olmasından ve nem hareketinin yavaş olmasından kaynaklanmaktadır. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem halkasının genişlediği yerde nem değeri 29 mm'dir. 4-4' doğrusunun olduğu yer de en yüksek nem değeri 27 mm'dir. 20 ve 30 cm damlatıcı derinliklerinde 4-4' doğrusunun en yüksek değeri 100-120 cm derinliklerinde görülmekte iken 40 cm damlatıcı derinliğinde, 40-50 cm aralığında görülmüştür. Çünkü sulama esnasında 4-4' doğrusuna su ulaşmıştır. Neelam ve Rajput (2008), gömülü bir damlatıcının etrafındaki toprak nem dağılımının temel olarak toprak bünyesine, damlatıcı debisine ve kök su alımına bağlı olduğunu doğrulamışlardır.



Şekil 4.46. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

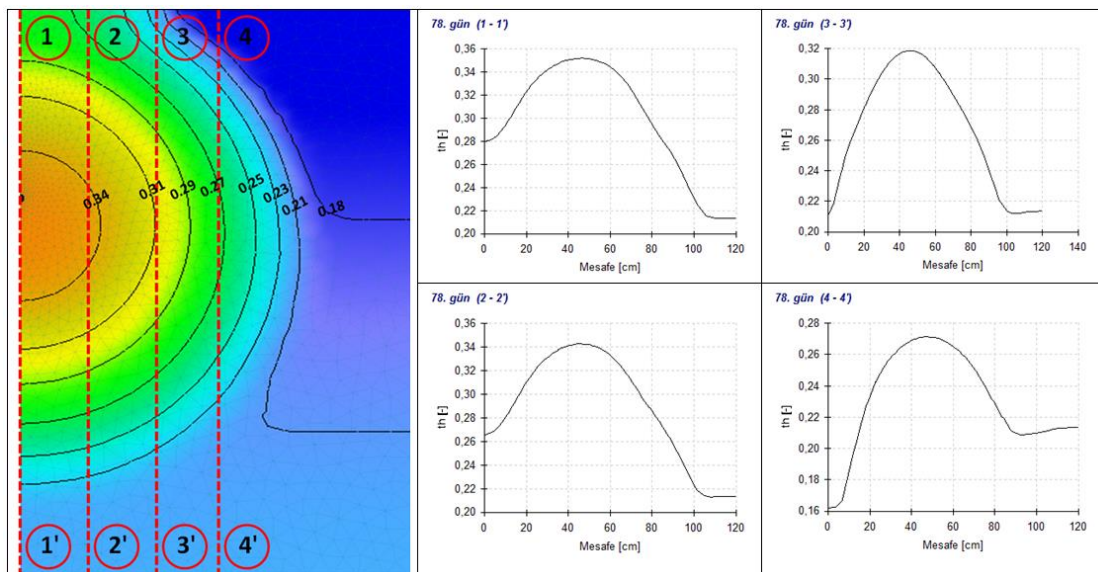
S_1 konusunda sulama gerçekleşirken, 1-1' doğrusu boyunca nem değeri damlatıcının etrafında 41 mm'ye kadar yükselmiştir. Toprak profilinin 120 cm derinliklerinde nem değerleri 21 mm olarak tespit edilmiştir. 100-120 cm derinliğinde nem değerinin 21 mm'de sabit olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda derine sızmanın olmadığı modelde de görülmektedir. Ayrıca sulama esnasında ve sonrasında toprak yüzeyine kadar su çıkışları olmamıştır. Toprak yüzeyi ile toprak nem çıkışı arasında yaklaşık 10 cm kadar mesafe bulunmaktadır.

2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Nem eğrisinin genişlediği, kaynak hizasında toprak nem değeri 36 mm değerindedir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde en yüksek nem değeri ise 30 mm'dir. 4-4' doğrusunda ise en yüksek nem değeri 27 mm'dir. Sulama esnasında su hareketi bu noktaya ulaştığı için nem halkasının olduğu kısımlara doğru denk gelmiştir. Ayrıca modelleme, bir damlatıcı ele alınarak yapılmıştır. Burada karşı lateral de yer alan damlatıcının oluşturduğu nem dağılım halkası ile modellenen damlatıcının oluşturduğu nem halkası birbiriyle bir noktadan sonra iç içe girmiştir. O yüzden 4-4' doğrusunda nem dağılım alanının yarıçapı daha geniş olmuştur.



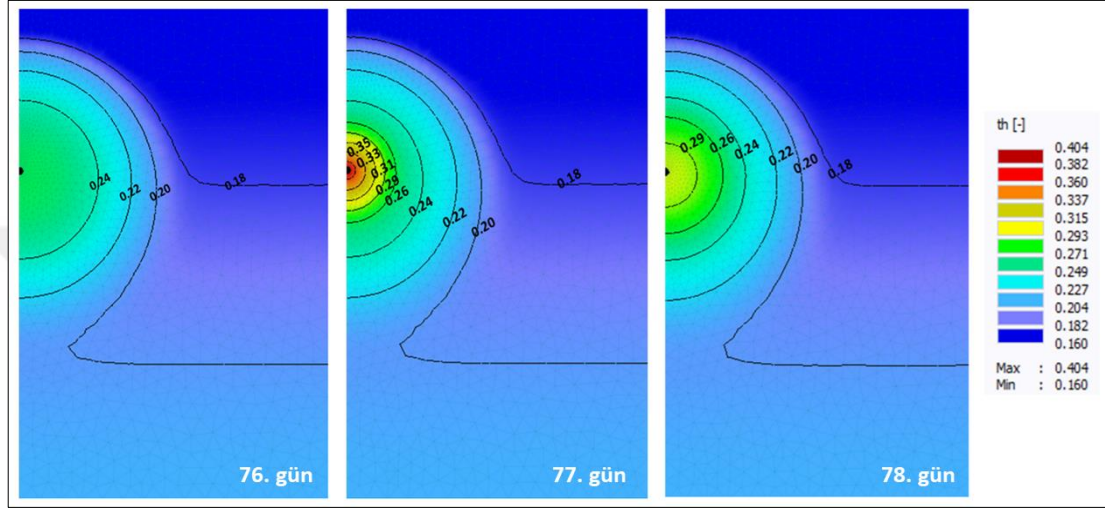
Şekil 4.47. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_1 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

S_1 konusu sulama esnasında 41 mm'ye kadar ulaşan toprak nem değeri 24 saat sonra 34 mm'ye düşmüştür. 2-2' doğrusunda ise nem eğrisinin genişlediği kaynak hizasında toprak nem değeri 34 mm'dir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde nem değerleri en yüksek 31 mm olarak belirlenmiştir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş. 90-120 cm derinlikte ise nem değerlerinin 21 mm civarında olduğu Şekil 4.48'de görülmektedir.



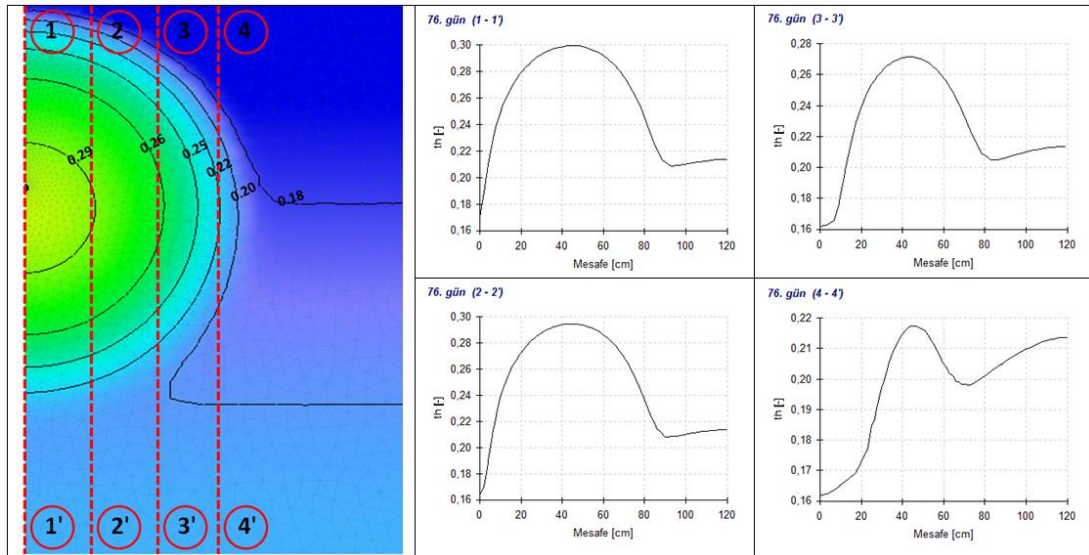
Şekil 4.48. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

40 cm derinde bulunan damlatıcıya uygulanan S2 konusu için, sulamadan bir gün önce (76. gün) damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği değerleri %24' kadar düştüğü tespit edilmiştir. Sulama esnasında (77. gün) ise damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği değerinin %35'e kadar yükseldiği, sulamadan bir gün sonra (78. gün) ise %29 değerine düştüğü görülmüştür (Şekil 4.49).



Şekil 4.49. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S2 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

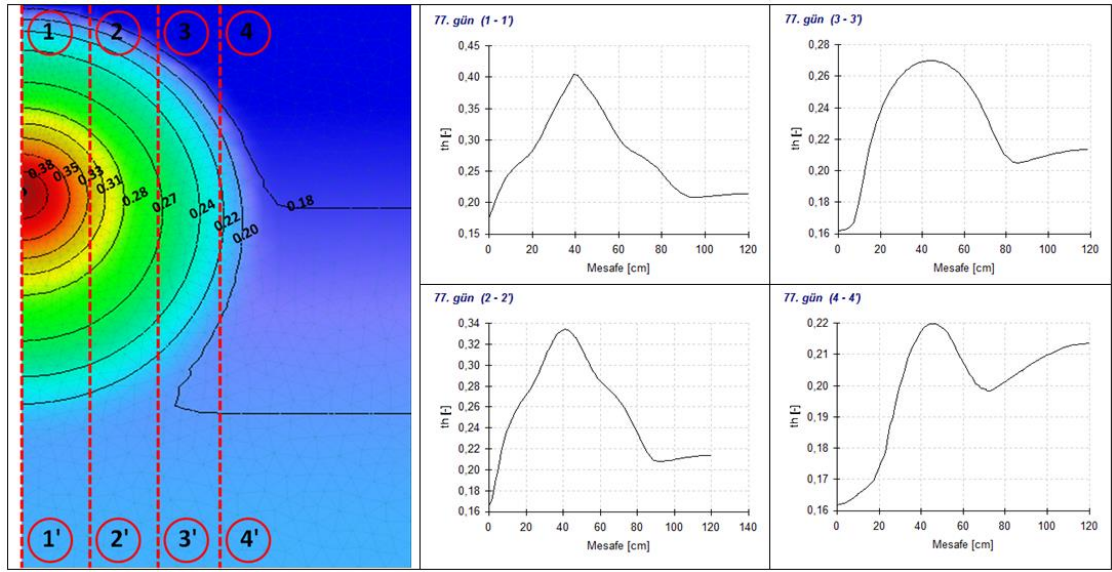
40 cm lateral derinliğinde sulaması yapılan S2 konusunda, sulamadan bir gün önce, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 29 mm olduğu belirlenmiştir. Sulamadan bir gün önce 1-1' doğrusu boyunca nem değeri de genel olarak aşağıya doğru azalmıştır. 40 cm'den 90 cm'ye kadar nem değerinde azalma olurken, 90-120 cm arasında 1.5 mm'lik nem artışı olmuştur (Şekil 4.50). 2-2' doğrusunda en yüksek nem değeri 29 mm'dir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem halkasının genişlediği yerde nem değeri 27 mm'dir. 4-4' doğrusunun olduğu yer de en yüksek nem değeri 21.5 mm'dir. 70-120 cm derinlikler arasında nem değeri 20 mm'den 21.5 mm'ye çıkmıştır. Nemin az yoğun ortamdan çok yoğun ortama doğru hareket ettiği görülmüştür.



Şekil 4.50. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S2 konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

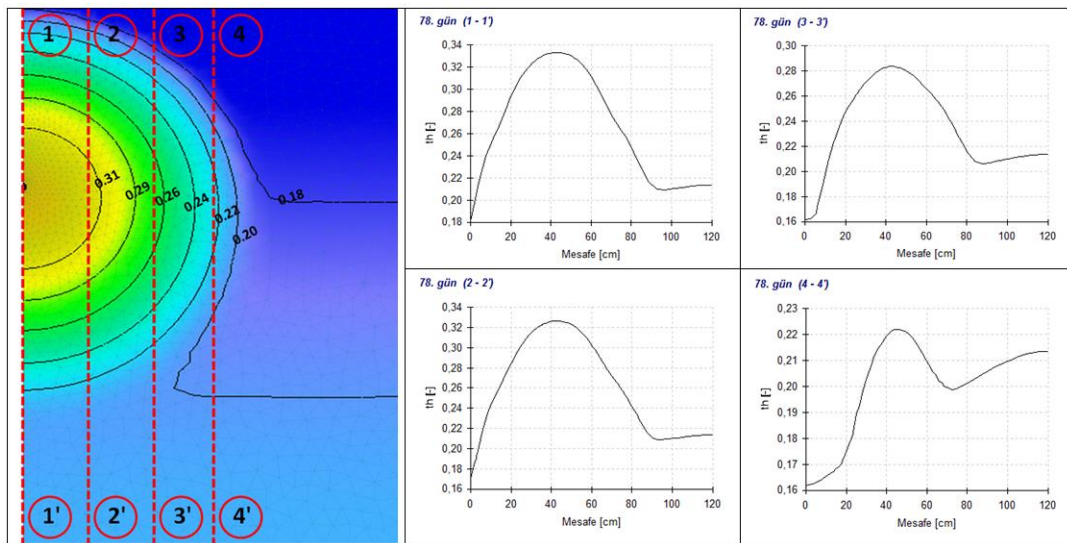
S2 konusunda sulama gerçekleşirken, 1-1' doğrusu boyunca nem değeri damlatıcının etrafında 40 mm'ye kadar ulaşmıştır. Toprak profilinin 120 cm derinliklerinde nem değerleri 21 mm olarak tespit edilmiştir. Bu durum derine sızmanın modelde de görülmediğini ortaya koymuştur. Ayrıca sulama esnasında ve sonrasında toprak yüzeyine su çıkışları olmamıştır. Toprak yüzeyi ile toprak nem çıkışı arasında yaklaşık 12 cm mesafe bulunmaktadır.

2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Nem eğrisinin genişlediği, kaynak hizasında toprak nem değeri 33 mm değerindedir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde en yüksek nem değeri ise 27 mm'dir. 4-4' doğrusunda ise en yüksek nem değeri 21.8 mm'dir. Sulama esnasında su hareketi bu noktaya ulaştığı için nem halkasının olduğu kısımlarda nem değeri en yüksektir.



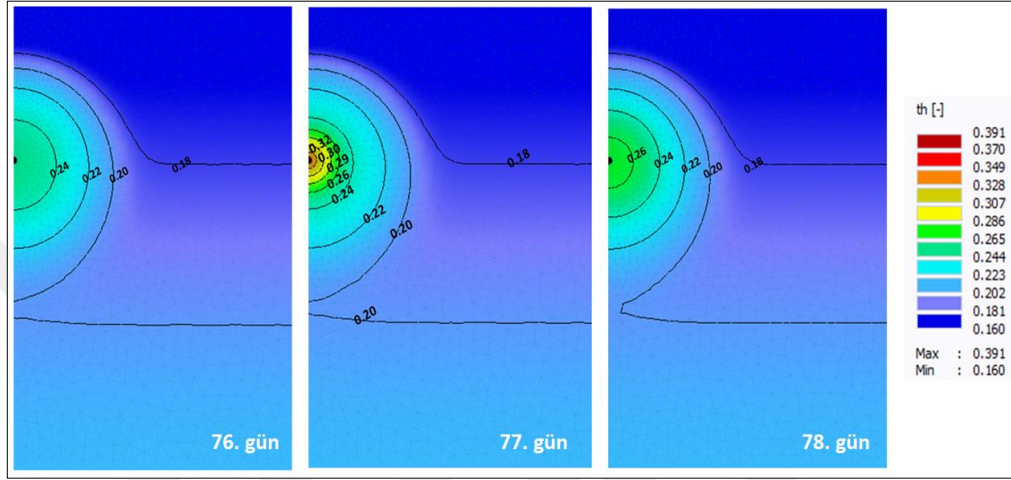
Şekil 4.51. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S2 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

Çalışmada yapılan gözlem ve ölçümlerde S2 konusu, sulama esnasında 40 mm'ye kadar ulaşan toprak nem değeri 24 saat sonra 33 mm'ye düşmüştür. 2-2' doğrusunda ise nem eğrisinin genişlediği kaynak hizasında toprak nem değeri 31 mm'dir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde nem değerleri en yüksek 28 mm olarak belirlenmiştir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş. 70-120 cm derinlikte ise nem değerlerinin 20 mm'den 21.5 mm'ye yükseldiği Şekil 4.52'de görülmektedir.



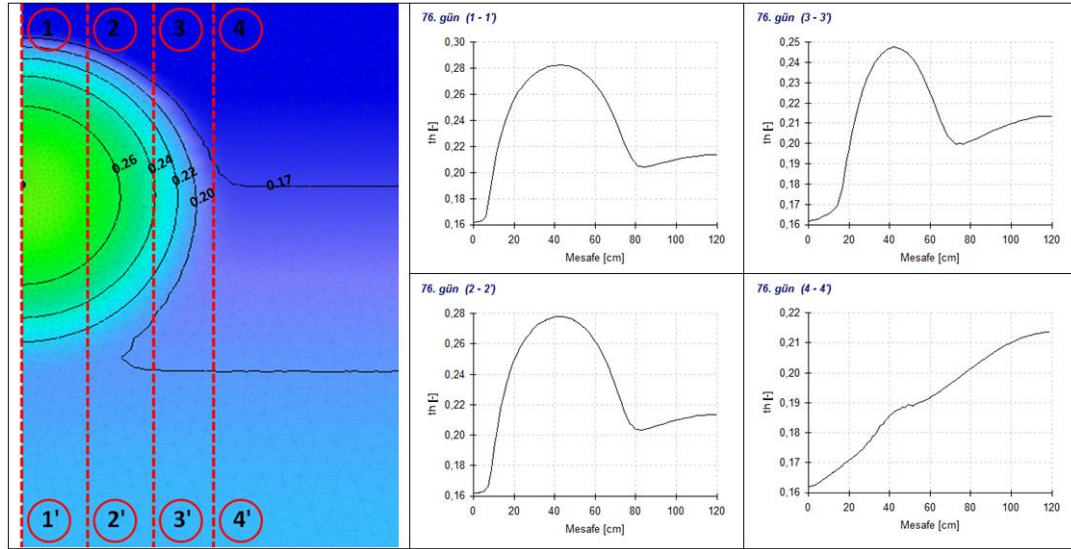
Şekil 4.52. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S2 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

Toprak yüzeyinin 40 cm altında bulunan damlatıcıda, S₃ konusunda sulamadan önce (76. gün) toprak nem içeriği %20 ile %24 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sulama esnasında ise damlatıcının etrafındaki toprak nem içeriği %26-32 değerlerine kadar ulaşmıştır. Ayrıca, damlatıcıdan uzaklaştıkça nem ve eğriler arasındaki mesafeler azalmıştır. Sulamadan bir gün sonra (78. gün), toprak nem içeriği %22-26 olduğu belirlenmiştir. Damlatıcıdan uzaklaştıkça nem değeri azalmakta ve eğriler arasındaki mesafeler artmaktadır (Şekil 4.53).



Şekil 4.53. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S₃ konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

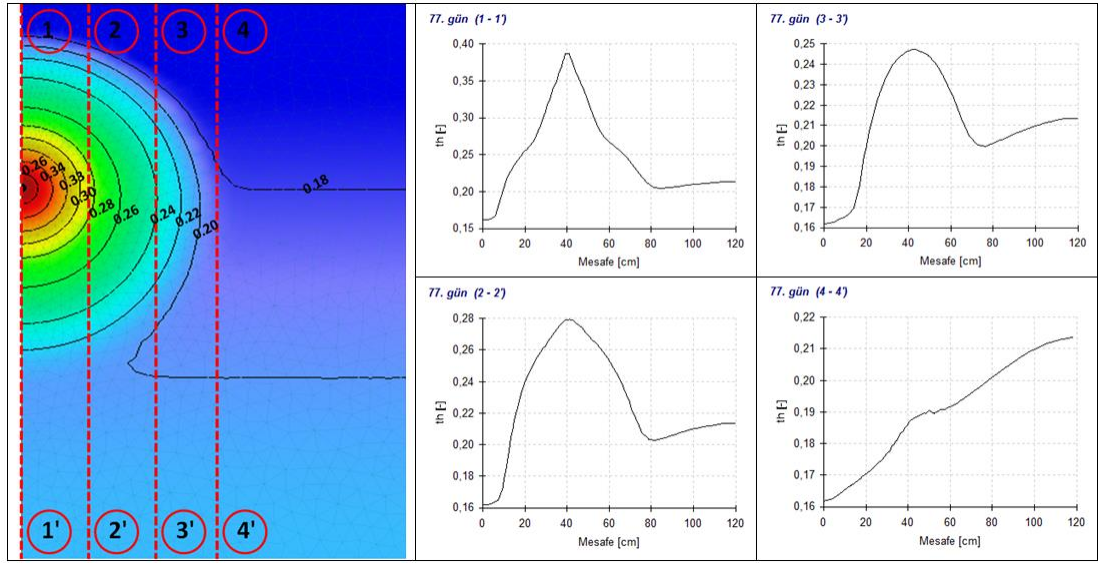
40 cm lateral derinliğinde sulaması yapılan S₃ konusunda, sulamadan bir gün önce, damlatıcı etrafındaki toprağın nem değeri 28 mm olduğu belirlenmiştir. Sulamadan bir gün önce 1-1' doğrusu boyunca nem değeri de genel olarak aşağıya doğru azalmıştır. 40 cm'den 80 cm'ye kadar nem değerinde azalma olurken, 80-120 cm arasında 1.3 mm'lik nem artışı olmuştur (Şekil 4.54). 2-2' doğrusunda en yüksek nem değeri 27.7 mm'dir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde ise nem halkasının genişlediği yerde nem değeri 24.5 mm'dir. 4-4' doğrusunun olduğu yer de en yüksek nem değeri 21.3 mm'dir. Bu değer 120 cm toprak derinliğinde görülmektedir.



Şekil 4.54. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S₃ konusunda yapılan sulamadan bir gün önceki toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

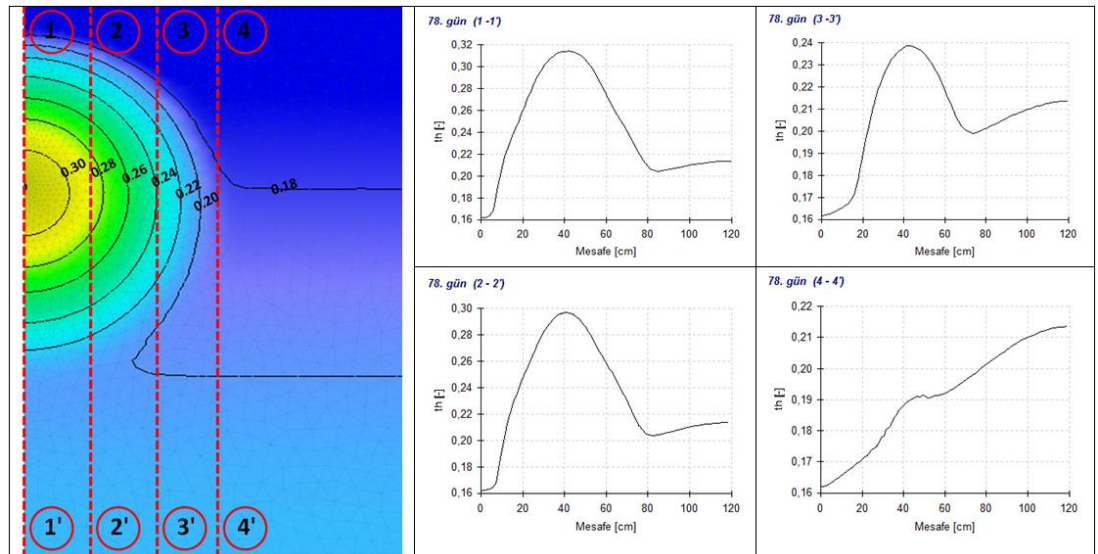
S₃ konusunda sulama gerçekleşirken, 1-1' doğrusu boyunca nem değeri damlatıcının etrafında 38 mm'ye kadar ulaşmıştır. Toprak profilinin 120 cm derinliklerinde nem değerleri 21 mm civarında olduğu belirlenmiştir. Bu durum derine sızmanın modelde de görülmediğini ortaya koymuştur. Ayrıca sulama esnasında ve sonrasında toprak yüzeyine su çıkışları olmamıştır. Toprak yüzeyi ile toprak nem çıkışı arasında yaklaşık 15 cm'ye kadar ulaşmıştır.

2-2' doğrusu damlatıcıdan uzaklaştığı için nem değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Nem eğrisinin genişlediği, kaynak hizasında toprak nem değeri 33 mm değerindedir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde en yüksek nem değeri ise 27 mm'dir. 4-4' doğrusunda ise en yüksek nem değeri 21.8 mm'dir. Sulama esnasında su hareketi bu noktaya ulaştığı için nem halkasının olduğu kısımlarda nem değeri en yüksektir.



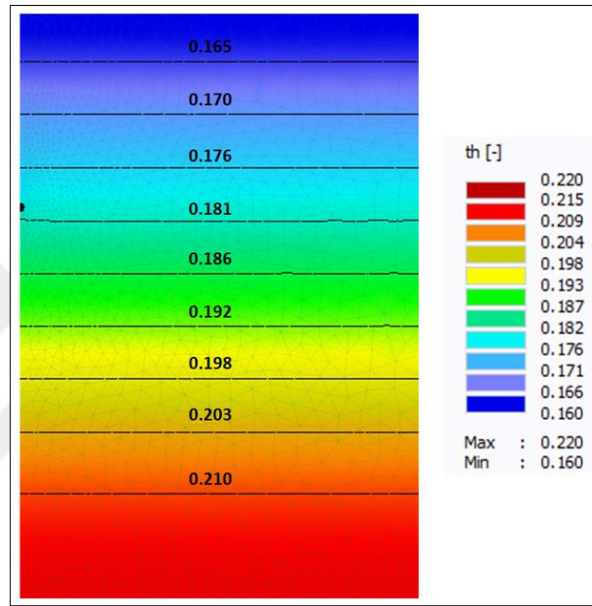
Şekil 4.55. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama esnasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

S_3 konusu, sulama esnasında 38 mm'ye kadar ulaşan toprak nem değeri 24 saat sonra 31 mm'ye düşmüştür. 2-2' doğrusunda ise nem eğrisinin genişlediği kaynak hizasında toprak nem değeri 29 mm'dir. 3-3' doğrusunun bulunduğu yerde nem değerleri en yüksek 24 mm olarak belirlenmiştir. 4-4' doğrusunda ise toprak yüzeyinden derinlere doğru toprak neminin hareket etmesinden kaynaklı bir artış gözlenmiş (Şekil 4.56).



Şekil 4.56. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda yapılan sulama sonrasında toprak nem grafikleri ve dağılım haritaları

Yağışa dayalı üretimin yapıldığı S4 konusunda, 0-30 cm'lik katmanında toprak nem içeriği değerleri, yetiştirme periyodunun 77. gününde, toprak profili boyunca nasıl azalış gösterdiği Şekil 4.29'da verilmiştir. Toprağın 0-30 cm derinliğinde toprak nem değerleri %16-17, 30-60 cm derinliğinde %18-18.6, 60-90 cm derinliğinde %19-19.8 ve 90-120 cm derinliğinde ise %20-21 olarak tespit edilmiştir. Toprak profilinin en alt katmanının (90-120 cm) 77. günde tarla kapasitesi değerinde olduğu Şekil 4.57'de görülmektedir.



Şekil 4.57. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S4 konusunda yapılan sulama esnasında ve sonrasında oluşturduğu toprak nem dağılım haritaları

Patel ve Rajput'un çalışmasında yüzeyaltı damla sulama sisteminde lateraller toprak yüzeyinde (T_1) ve toprak yüzeyinden 5 (T_2), 10 (T_2), 15 (T_2), 20 (T_2) ve 30 (T_2) cm alta yerleştirilmiştir. Laterel derinliği arttıkça buharlaşmanın azaldığı belirtilmiştir. T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 ve T_6 işlemlerinde buharlaşma kaybı sırasıyla %11.2, 8.3, 6.1, 4.5, 3.3 ve 1.8 olarak hesaplanmıştır.

Meshkat vd. (2000) artan lateral derinliklerinde su uygulamasının, toprak yüzey tabakasının hidrolik iletkenliğini azalttığını ve böylece suyun yukarı doğru hareketini baskıladığı sonucuna varmışlardır. Philip'in (1991) yapmış olduğu çalışmada da benzer sonuçları rapor etmiş ve toprak yüzeyi kurudukça suyun topraktan yüzeye iletiminin sınırlayıcı hale gelmesi; bu, daha derin su kaynağı durumunda daha küçük toprak buharlaşma kaybıyla sonuçlandığı belirtilmiştir.

Birçok araştırmacı HYDRUS modelini denemiş ve arazi çalışması sırasında ölçülen ve farklı büyüme aşamalarında model tarafından tahmin edilen toprak nem dağılımı, önemli ölçüde uyumlu bulunmuştur (Ajdary, 2005: vd.; Mailhol, 2001: vd.; Cote, 2003: vd.; Jiusheng, 2003, 2004: vd.; Gardenas, 2005: vd.).

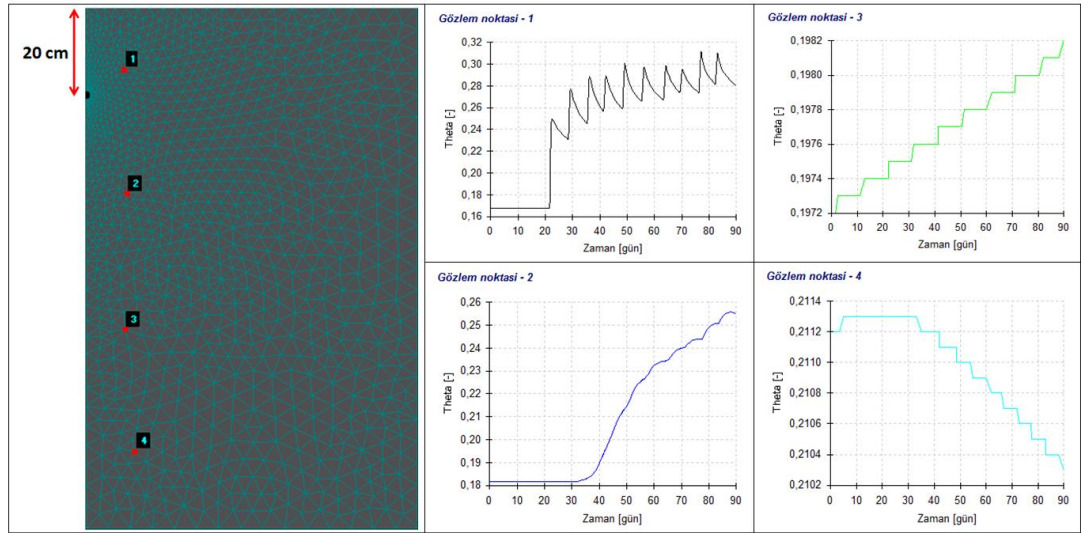
Douh vd. (2013) çalışmasında, 35 cm lateral derinliğinde toprak nem içeriğinin 5 ve 20 cm lateral derinliğine göre daha üniform olduğunu belirtmiştir; bu sonuçlar Singh (2007) tarafından da doğrulanmıştır.

Kanda (2019), çalışmasında 10, 15, 20 ve 30 cm lateral derinlikleri killi topraklar için nem dağılımları simüle edilmiştir. 20 cm'ye kadar artan yerleştirme derinliği ile kök su alımı artmış ve 30 cm'de azalmıştır. Killi toprakta tüm yerleştirme derinliklerinde drenaj önemsiz bulunmuştur. Killi topraktaki düşük hidrolik iletkenlik, suyun hızlı bir şekilde aşağı doğru hareketini engellediği belirtilmiştir. Yerleştirme derinliğindeki azalma ile toprak buharlaşmasının azaldığı çalışmada vurgulanmıştır.

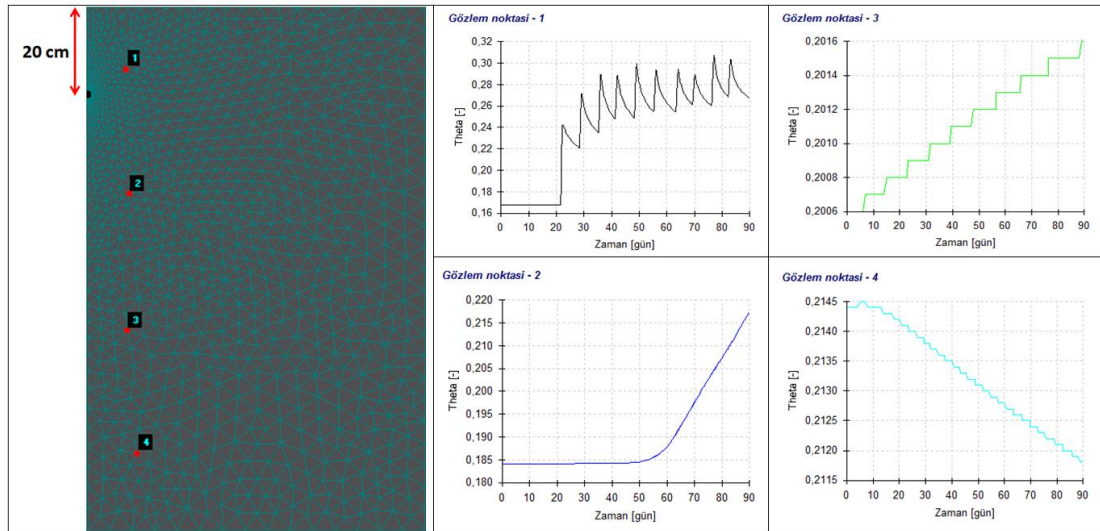
4.2.3. Gözlem noktalarında oluşan toprak nem değerlerine ilişkin bulgular

Çalışmanın 20 cm damlatıcı derinliğinde S1 uygulamasındaki (tam sulama) toprak nem içeriği değerlerini göstermekte ve bu değerler dikimin 20. günü ve 90. gününe kadar HYDRUS-2D\3D simülasyonunun farklı gözlem noktaları için sonuçları Şekil 4.60'da verilmiştir. Şekil 4.58, 4.59 ve 4.60 sırasıyla S1 (tam sulama), S2 (%70) ve S3 (%40) uygulamaları için karşılaştırmaları sunmaktadır.

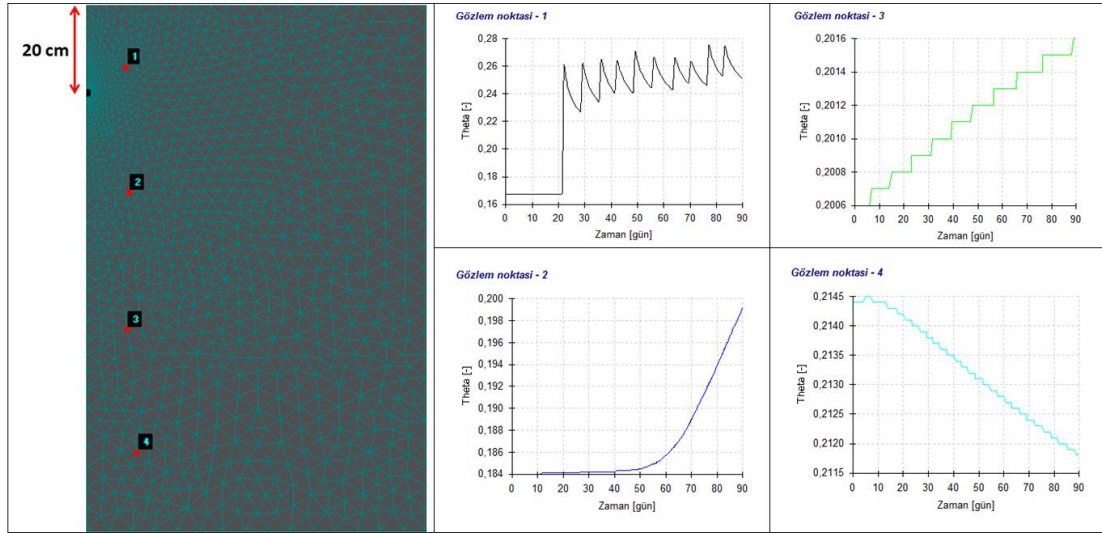
Daha önce belirtildiği gibi, farklı uygulamalarda sulama suyu derinlikleri ortalama 23 ile 48 mm arasındadır. Toprak nem içeriği ölçümleri, sulama ile hızlı bir şekilde artmış ve daha sonra su alımı ve yeniden dağılımının bir sonucu olarak bir sonraki sulama olayına kadar kademeli olarak azalmıştır. Su içeriği varyasyonları, toprak yüzeyine yakın yerlerde daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi topraktaki nemin buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü kök su alımı, daha derin katmanlardan daha fazla gerçekleşmiştir. Özellikle S₁ konusunda toprak yüzeyine su çıkışlarının olduğu gözlemlenmiştir. Toprak alt katmanı (30-90 cm), daha yüksek kil içerdiğinden hidrolik özelliklerinden kaynaklanan daha küçük nem içeriği varyasyonları göstermiştir.



Şekil 4.58. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri

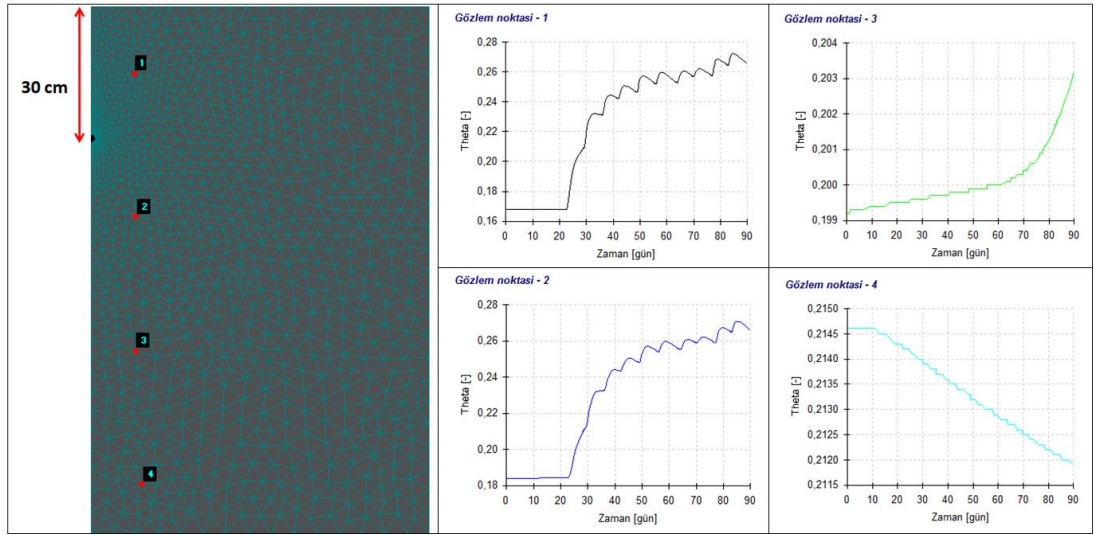


Şekil 4.59. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S₂ konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri

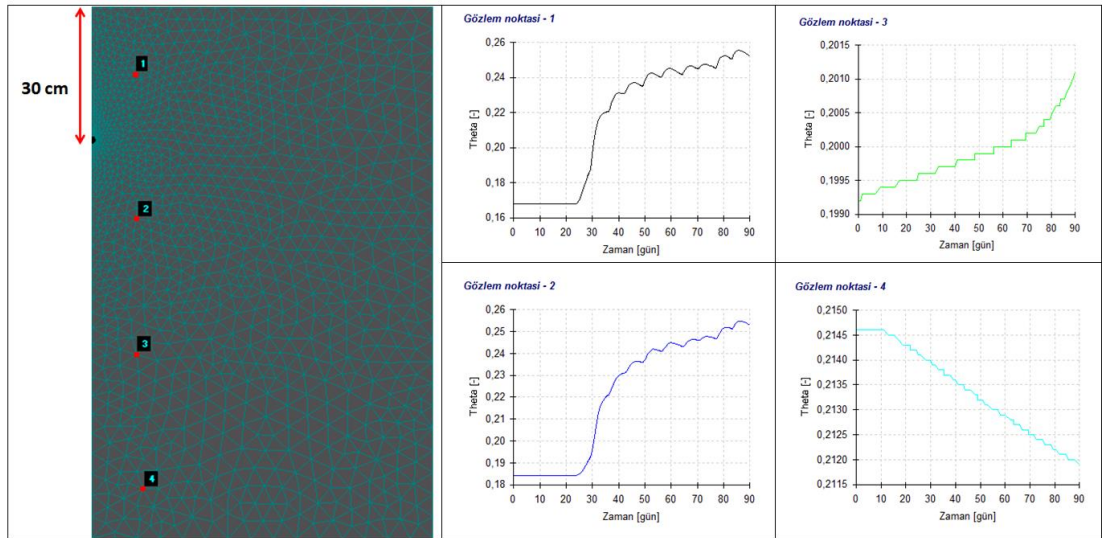


Şekil 4.60. Toprak yüzeyinden 20 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri

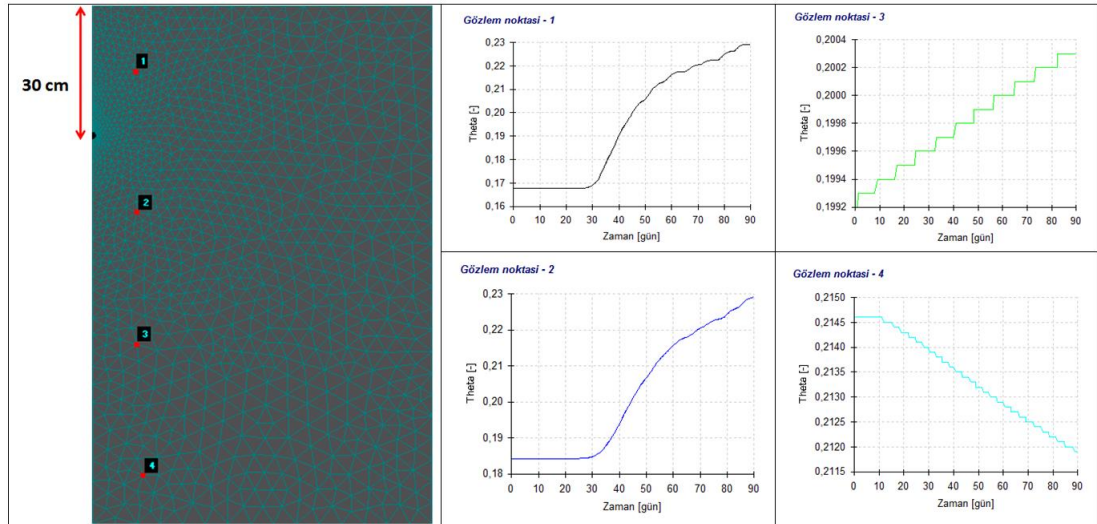
Çalışmanın 30 cm damlatıcı derinliğinde Şekil 4.61, 4.62 ve 4.63 sırasıyla S_1 (tam sulama), S_2 (%70) ve S_3 (%40) uygulamaları için değerler sunulmuştur. Daha önce de belirtildiği gibi, farklı uygulamalarda sulama suyu derinlikleri ortalama 21 ile 42 mm arasındadır. Toprak içerisindeki nem içeriği ölçümleri, sulama ile hızlı bir şekilde artmış ve daha sonra su alımı ve yeniden dağılımının bir sonucu olarak bir sonraki sulama olayına kadar kademeli olarak azalmıştır. Toprak nem içeriği varyasyonları, toprak yüzeyine yakın yerlerde daha büyük olduğu tespit edilmiştir. S_1 konusunda toprak yüzeyine su çıkışları gözlemlenmemiştir. Bu sonuç yüzeyaltı damla sulama çalışmalarında istenen bir sonuçtur. Toprak yüzeyi ile toprak neminin arasındaki (Ze) mesafe 5-6 cm olarak tespit edilmiştir. Ze değeri S_2 ve S_3 konularında 7-8 cm arasında bulunmuştur. Toprak alt katmanı (30-90 cm), daha yüksek kil içerdiğinden hidrolik özelliklerinden kaynaklanan daha küçük nem içeriği varyasyonları göstermiştir. 90-120 cm toprak katmanı gözlemler ve ölçümler sonucunda derine sızmanın 30 cm damlatıcı derinliğinde olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4.61. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri

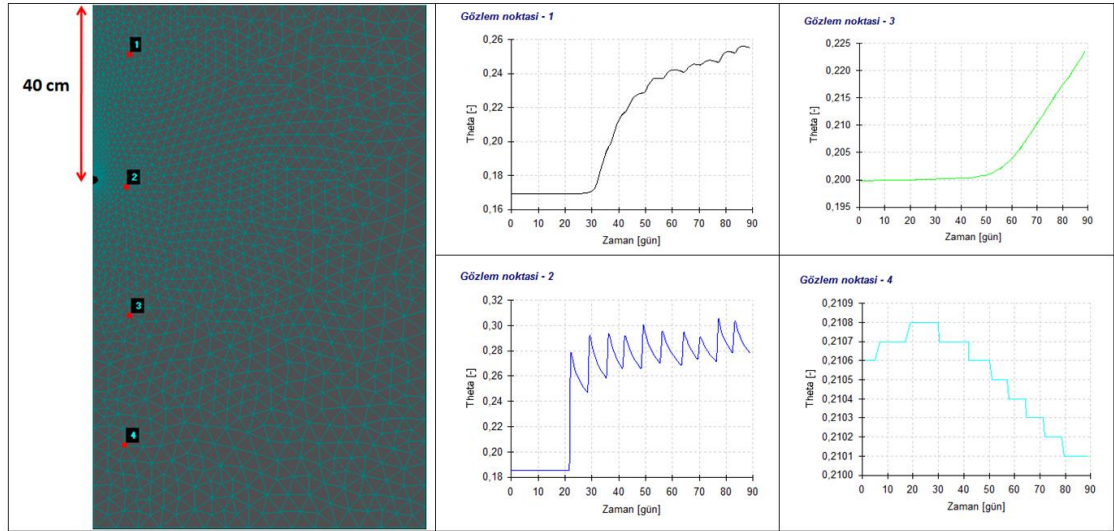


Şekil 4.62. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₂ konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri

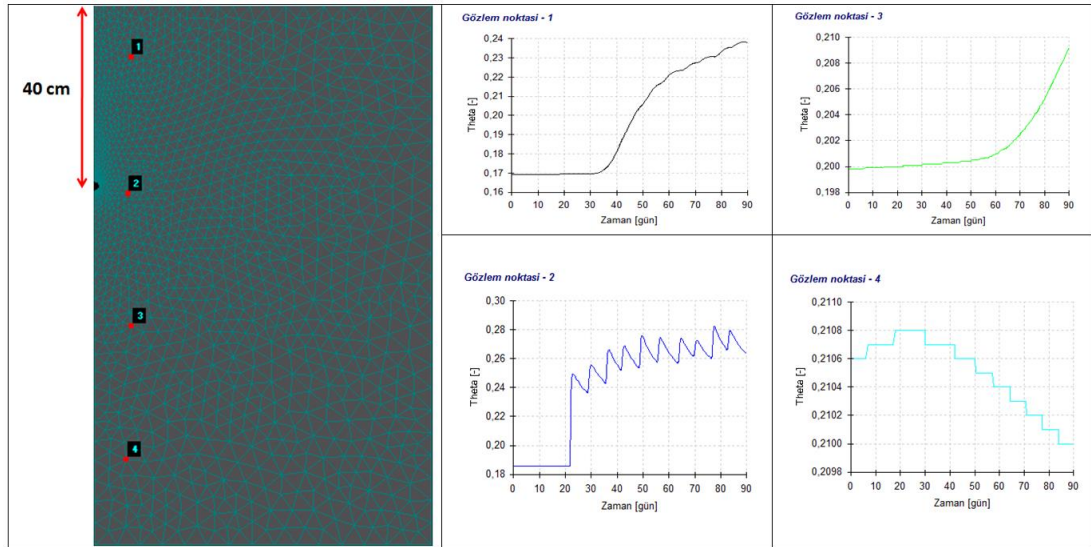


Şekil 4.63. Toprak yüzeyinden 30 cm derinde bulunan damlatıcının S₃ konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri

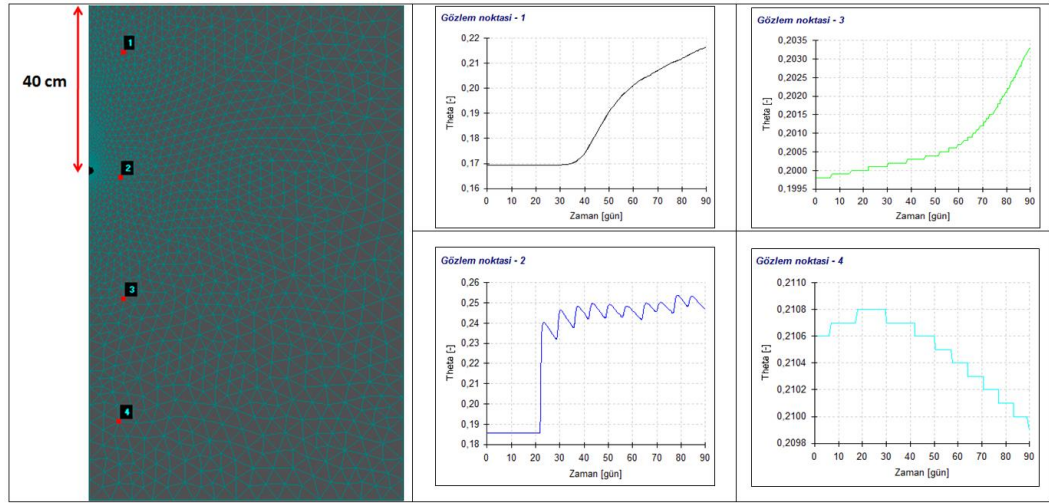
Çalışmanın 40 cm damlatıcı derinliğinde Şekil 4.64, 4.65 ve 4.66 sırasıyla S₁ (tam sulama), S₂ (%70) ve S₃ (%40) uygulamaları için değerler sunulmuştur. Daha önce de belirtildiği gibi, farklı uygulamalarda sulama suyu derinlikleri ortalama 19 ile 39 mm arasındadır. Toprak içerisindeki nem içeriği ölçümleri, sulama ile hızlı bir şekilde artmış ve daha sonra su alımı ve yeniden dağılımının bir sonucu olarak bir sonraki sulama olayına kadar kademeli olarak azalmıştır. Toprak nem içeriği varyasyonları, toprak yüzeyine yakın yerlerde daha büyük olduğu tespit edilmiştir. S₁ konusunda toprak yüzeyine su çıkışları gözlemlenmemiştir. Bu sonuç yüzeyaltı damla sulama çalışmalarında istenen bir sonuçtur. Ayrıca makinalı toprak işleme ve yabancı otlanmadan kaynaklanan problemleri azaltmaktadır. Toprak yüzeyi ile toprak neminin arasındaki (Ze) mesafe 10 cm olarak tespit edilmiştir. 90-120 cm toprak katmanı gözlemler ve ölçümler sonucunda derine sızmanın 40 cm damlatıcı derinliğinde olmadığı belirlenmiştir. Bu katmanda toprak nem değeri tarla kapasitesinde yani 21 mm civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.64. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S₁ konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri



Şekil 4.65. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S₂ konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri



Şekil 4.66. Toprak yüzeyinden 40 cm derinde bulunan damlatıcının S_3 konusunda gözlem noktalarına ait nem dağılım grafikleri

4.2.4. Tahmin Edilen ve Ölçülen Toprak-Su İçeriğinin İstatistik Bulguları

Yetiştirme mevsimi boyunca ölçülen ve simüle edilmiş toprak su içeriği değerlerini karşılaştıran istatistiksel doğruluk göstergeleri Tablo 4.36’de sunulmuştur. Doğruluk testleri genel olarak model performansını doğrulamıştır; $R^2 \geq 0.72$, RMSE 0.014-0.025, MAE -0.008-0.008 değerleri ile sonuçlanmıştır. HYDRUS modelinin farklı versiyonları kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde doğruluk göstergeleri nem içeriği simülasyonları için bildirilen değerler aralığında olduğu tespit edilmiştir (Skaggs, 2004: vd.; Ajdary, 2007: vd.; BofBufon, 2012: vd.; Kandelous, 2011: vd.; Simunek, 2011: vd.; Ramos, 2011: vd.; Phogat, 2013: vd.).

Tablo 4.36. Deneme konularına göre ölçülen ve simüle edilen toprak nem değerlerinin karşılaştırılması

Lateral Derinliği (cm)	Konu	R^2	RMSE	MAE
20	S1	0.720	0.019	-0.008
	S2	0.831	0.020	0.000
	S3	0.897	0.022	-0.007
	S4	0.953	0.014	-0.002
30	S1	0.847	0.017	0.003
	S2	0.878	0.025	-0.001
	S3	0.890	0.017	-0.001
	S4	0.963	0.023	0.008
40	S1	0.861	0.017	0.002
	S2	0.865	0.018	-0.001
	S3	0.920	0.016	-0.006
	S4	0.952	0.015	0.005

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada, Antalya koşullarında yüzeyaltı damla sulama yöntemi ile yetiştirilen susam bitkisinde, tam sulama, kısıtlı sulama ve yağışa dayalı üretim konuları olmak üzere dört farklı sulama seviyesi uygulanmıştır. Uygulamalar yüzeyaltı damla sulama sisteminde 20, 30 ve 40 cm lateral derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Toprak nem içeriği, bitki örtü sıcaklığı ve tüm alanı temsil eden yüzey sıcaklığı, net radyasyon, atmosfer sıcaklığı, bağıl nem, bitki boyu, tohum kalite parametreleri, yaprak alan indeksi değerleri gibi çeşitli ölçüm ve analizler yapılmıştır. Tüm bu ölçüm ve gözlemlerden elde edilen veriler kullanılarak toprak su bütçesi ve enerji dengesi esaslarına göre referans bitki su tüketimi (ET_o), susam bitkisine ait gerçek bitki su tüketimi (ET_c), bitki su stres indeksi (CWSI) gibi parametre değerler belirlenmiştir.

Araştırma sonuçlarına her bir lateral derinliği için önerilen konu S2 konusu yani %30 su kısıtının yapıldığı konu olmuştur. Bu konuya uygulanan sulama suyu miktarı araştırmanın birinci yılında; 20 cm lateral derinliğinde, 255 mm; 30 cm lateral derinliğinde, 228 mm; 40 cm lateral derinliğinde, 234 mm olarak belirlenmiştir. Araştırmanın ikinci yılında ise; 20 cm lateral derinliğinde, 229 mm; 30 cm lateral derinliğinde, 184 mm; 40 cm lateral derinliğinde, 183 mm olarak tespit edilmiştir. Bitki su tüketim değerleri ilk yılda önerilen konuda derinliklere göre sırasıyla 285, 283 ve 283 mm iken, ikinci yılda 288, 276 ve 259 mm olarak belirlenmiştir.

Araştırmada önerilen sulama konusunda ortalama verim değerleri lateral derinliklerine göre 2019 yılında sırasıyla; 210, 179 ve 237 kg da⁻¹, 2020 yılında ise; 208, 177 ve 232 kg da⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda susam bitki fizyolojisi göz önüne alınarak tam su konularında kapsül içerisindeki tohumlarda çimlenme gözlenmiştir. Bu durum S₁ konusunda verim kaybına neden olmuştur. Bu yüzden susam sulamasında tam sulama konusu S₁ önerilmemektedir.

Su verim ilişkisini ortaya koyan K_y parametresi araştırma yılları boyunca elde edilen bitki su tüketimi ve verim değerleri sonucu 1.24 olarak hesaplanmıştır. Bu durum sulama planlaması açısından susam bitkisinin suya karşı hassas olduğunu göstermektedir. Su kullanım üretkenliği (WUE) önerilen konu için lateral derinliklerine göre sırasıyla yıllar ortalaması 7.3, 6.3 ve 8.7 kg ha⁻¹ mm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak sulama suyu miktarı arttıkça yıllar bazında WUE

değerlerinde de artış gözlemlenmiştir.

Yüzeyaltı damla (YAD) sulama, su kaynaklarının kısıtlı olduğu alanlarda suyun verimli kullanılması açısından son derece önemli yöntemlerden birisidir. YAD sulama tasarımının başarısında, toprak nem dağılımının tahmini önemli bir etmendir. Sayısal modellemeler, YAD sulamada toprak nem dağılımını araştırmak için hızlı ve ucuz bir yaklaşımdır. Çalışmada, YAD sulamada toprak nem dağılımını araştırmak için HYDRUS-2D\3D simülasyonları gerçekleştirilmiştir. HYDRUS-2D\3D ile elde edilen toprak nem içeriği değerleri, daha sonra YAD tasarımlarının ve yönetim uygulamalarının değerlendirilmesinde kullanılması için HYDRUS-2D\3D'nin performansını kontrol etmek için ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır.

Bazı sapmalara rağmen, simüle edilen ve ölçülen toprak nem içeriği değerleri arasındaki karşılaştırma iyi bir uyum göstermiştir. MAE ve RMSE değerleri, lateral hattından 0.20 m uzaklıkta her iki derinlikte sırasıyla -0.051 ile 0.012 m³ m⁻³ ve 0.016 ile 0.056 m³ m⁻³ arasında değişmektedir.

Simülasyonların hesaplanan ME'sine dayanarak, model toprak nem içeriğinin biraz üzerinde tahmin etmiştir. Simüle edilen senaryoların karmaşıklığını ve modelde varsayılan homojen ve izotropik toprak özelliklerini, ardışık sulama olayları ve yağışlarla uzun bir simülasyon periyodunu (95 gün) ve ölçülen kök dağılımının eksikliğini kabul eden HYDRUS-2D\3D modeli makul bir şekilde performans göstermiştir. Bu bağlamda YAD sulama sistemlerini tasarlamak ve yönetmek için programın kullanımı oldukça uygundur.

Modellenen toprak nem içeriğinin arazi gözlemlerinden sapmasına neden olan kritik faktörlerin kök parametreleri (hem kök dağılımı ve kapsamı hem de su stresi azaltma işlevi) ve toprak hidrolik özellikleri olduğu çalışmada tespit edilmiştir. Bu çalışmanın bulguları, kök dağılımının ve kök azaltma fonksiyonunun doğru bir şekilde temsil edilmesi gerektiğini ve kök bölgesi yoğunluğunun daha doğru yapılmasının, model performansını önemli ölçüde iyileştireceği çalışma içerisinde göstermiştir. Simülasyonların doğruluğu aynı zamanda toprak hidrolik parametre tahminlerinin kalitesine de bağlıdır. Bu nedenle, buradaki çalışma, toprak hidrolik parametrelerinin ve özellikle kök dağılım parametrelerinin gelecekteki çalışmalar açısından odak noktası olarak temel teşkil etmektedir.

Çalışma, modelin sulama programından bağımsız olarak toprak nem içeriğini simüle edebildiği sonucuna varmasına rağmen, modellenen ve gözlemlenen toprak-nem içeriği arasındaki karşılaştırma, özellikle farklı sulama frekansları altında

(fasıllalı ve sürekli sulama senaryoları) daha fazla çalışılmalıdır. Fasıllalı ve sürekli sulamanın yıkama üzerinde bir etkisi olabileceğinden ve yetiştiriciler tarafından farklı dokulara sahip topraklarda farklı şekillerde kullanılabildiğinden, HYDRUS-2D\3D'nin farklı sulama sıklığı altında kalibre edilmesiyle ilgili gelecekte yapılacak tamamlayıcı bir çalışmaya yararlı olabileceğı düşünmektedir.



KAYNAKLAR

- Abbasia, F. Feyen, J. and van Genuchten, M.Th. (2004). *Two-Dimensional Simulation of Water Flow and Solute Transport Below Furrows: Model Calibration and Validation*. Journal of Hydrology 290 (2004) 63-79.
- Abuarab, A. Mostafa, E. and Ibrahim, M. (2013). *Effect of Air Injection Under Subsurface Drip Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Corn in A Sandy Clay Loam Soil*. Journal of Advanced Research. 4. 493-499.
- Aggarwal, P. Bhattacharyya, R. Mishra, A.K. Das, T.K. Simunek, J. Pramanik, P. Sudhishria, S. Vashistha, A. Krishnana, P. Chakrabortya, D. and Kamble, K.H. (2017). *Modelling Soil Water Balance and Root Water Uptake in Cotton Grown Under Different Soil Conservation Practices in the Indo-Gangetic Plain*. Agriculture, Ecosystems and Environment 240 (2017) 287-299.
- Ajdary, K. Singh, D.K. Singh, A.K. and Khanna, M. (2005, November). "Simulation of Water Distribution Under Drip Irrigation Using Hydrus-2D". *XII World Water Congress, Water for Sustainable Development Towards Innovative Solutions*. 22-25 November 2005, New Delhi, India, pp. 221-231.
- Alam, M. Trooiën, T.P. Lamm, F.R. and Rogers, D.H. (2002). *Filtration and maintenance considerations for subsurface drip irrigation (SDI) systems*. KSU Cooperative Ext. Irrigation Mgmt. Series, MF-2361.
- Allen, R.G. Pereria, L.S. Raes, D. and Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration* FAO56. Rome.
- Anlauf, R. Rehrmann, P. Schacht, H. (2012). *Simulation of Water Uptake and Redistribution in Growing Media During Ebb and Flow Irrigation*. Journal of Horticulture and Forestry, 4 (1): 8-21.
- Anonymous, 2016 <https://tr.climate-data.org/location/8522/>
- Arbat, G. Cufí, S. Duran Ros, M. Pinsach, J. Puig Bargués, J. Pujol, J. and Ramírez de Cartagena, F. (2020). *Modeling Approaches for Determining Dripline Depth and Irrigation Frequency of Subsurface Drip Irrigated Rice on Different Soil Textures*. Water, 12, 1724, DOI:10.3390/w12061724.
- Arslan, H. Hatipoglu, H. and Karakus, M. (2014). *Şanlıurfa Yöresinde Tarımı Yapılan Susam Genotiplerinden Seçilen Bazı Hatların İkinci Ürün Koşullarında Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi*. Turk J Agric Res 1:109–116.
- Asce, E. (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, 173 pp.
- Ayars, J.E. Fulton, A. and Taylor, B. (2015). *Subsurface Drip Irrigation in California*. Agric. Water Manage., 157 (2015). pp. 39-47.
- Ayars, J.E. Phene, C.J. Hutmacher, R.B. Davis, K.R. Schoneman, R.A. Vail, S.S. and Mead, R.M. 1999. *Subsurface Drip Irrigation of Row Crops: A Review of 15 Years of Research at the Water Management Research Laboratory*. Agricultural Water Management, 42: 1-27.
- Aydiñşakir, K. Dinç, N. Özbek, Ö. Büyüktaş, D. Kocatürk, M. Özkan, C.F. ve Gölükçü M. (2019). *Yüzeyüstü ve Yüzeyaltı Damla Sulama Yöntemleri ile Sulanan Soyanın Sulama Programının Oluşturulması*. TAGEM/TSKAD/16/A13/P02/02 nolu sonuç projesi.

- Bastuğ, R. Karaca, C. Büyüktaş, D. Aydınşakir, K. and Dinç, N. (2020). *The Effects of Deficit Irrigation Practices on Evapotranspiration, Yield and Quality Characteristics of Two Sesame Varieties (Sesamum indicum L.) Grown in Lysimeters under the Mediterranean Climate Conditions*. Irrigation Science (2021) 39:587–606.
- Baştuğ, R. Karaca, C. Büyüktaş, D. Aydınşakir, K. ve Dinç, N. (2016). Lizimetre Koşullarında Yetiştirilen Susada (Sesamum indicum L.) Kısıntılı Sulama Uygulamalarının Bitki Su Tüketimi, Verim Ve Kalite Özelliklerine Etkileri. 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, 12-15 Nisan 2016, Antalya.
- Benami, A. and Ofen, A. (1995). *Irrigation Engineering*. Agripro: Haifa.
- Bhattarai, S.P. Pendergast, L. and Midmore, D.J. (2006). *Root Aeration Improves Yield Performance and Water Use Efficiency of Tomato in Heavy Clay and Saline Soils*. Sci. Hort. 108(3): 278–288.
- Blonquist, J.M., Jones, S.B. and Robinson, D.A. (2006). *Precise Irrigation Scheduling for Turfgrass Using a Subsurface Electromagnetic Soil Moisture Sensor*. Agricultural Water Management. 84: 153-165.
- Bosch, D.J. Powell, N.L. and Wright, F.S. (1998). *Investment Returns from Three Sub-surface Microirrigation Tubing Spacings*. J. Prod. Agric. 11:371–376. doi:10.2134/jpa1998.0371.
- Brady, C.J. N.S. Scott and Munns, R. (1974). *The Interaction of Water Stress with the Senescence Pattern of Leaves*. R. Soc. NZ. Bull. 12: 403- 409, cited by Karamanos, A.J., 1978. Ann. Bot. 42: 1393- 1402.
- Bresler, E. Heller, J. Diner, N. Ben-Asher, I. Brandt, A. and Goldberg, D. (1971). *Infiltration from a Trickle Source: 1-Mathematical Models*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35:675-82.
- Bresler, E. (1975). *Two-Dimensional Transport of Solutes During Non-Steady Infiltration from a Trickle Source*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39:604-613.
- Bresler, E. Heller, J. Diner, N. Benasher, I. Brandt, A. and Goldberg, D. (1971). *Infiltration from a Trickle Source. 2-Experimental Data and Theoretical Predictions*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35:683-689.
- Bufon, V.B. Lascano R.J. Bednarz, C. Booker, J.D. and Gitz, D.C. (2011). *Soil Water Content on Drip Irrigated Cotton: Comparison of Measured and Simulated Values Obtained with the Hydrus 2-D model*. Irrigation Science, 30, 4: 259-273.
- Bui, W. and Osgood, R.V. (1990). Subsurface Irrigation Trial for Alfalfa in Hawaii. In Proc. 3 rd Nat. Irrig. Symp. 658-660. St. Joseph. Mich.: ASAE.
- Camp, C.R. (1998). *Subsurface Drip Irrigation: A Review*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 41: 1353-1367.
- Camp, C.R. and Lamm, F.R. (2003). *Irrigation Systems: Subsurface Drip*. In: Encyclopedia of Water Science, New York, N.Y.: Marcel Dekker, pp. 560–564.
- Camp, C.R. Lamm, F.R. Evans, R.G. and Phene, C.J. (2000). Subsurface Drip Irrigation: Past, Present, and Future. In Proc. 4th Decennial Nat'l Irrigation Symp., 363-372.
- Camp, C.R. Sadler, E.S. and Busscher, W.J. (1993). *Subsurface and Alternate-Middle Micro Irrigation for Southeastern Coastal Plain*. Transactions of the ASAE. 32(2).451-456.
- Clark, G.A. Stanley, C.D. and Maynard, D.N. (1993). *Surface and Subsurface Drip Irrigation of Tomatoes on a sandy Soil*. Proc. Fla. State Hort. Soc. 106:210-212.

- Clark, G.A. Stanley, C.D. Maynard, D.N. Hochmuth, G.J. Hanlon, E.A. and Haman, D.Z. (1991). *Water and Fertilizer Management of Microirrigated Fresh Market Tomatoes*. Transactions of the ASAE 34 (2): 429-435.
- Cook, F.J. Thorburn, P.J. Fitch, P. and Bristow, K.L. (2003). *Wetup: A Software Tool to Display Approximate Wetting Patterns from Drippers*. Irrig. Sci. 22:129-134.
- Cote, C.M. Bristow, K.L. Charlesworth, P.B. Cook, F.J. and Thorburn, P.J. (2003). *Analysis of Soil Wetting and Solute Transport in Subsurface Trickle Irrigation*. Irrigation Science 22. 143–156.
- Dabach, S. Lazarovitch, N. Šimunek, J. Shani, U. (2011). *Numerical Investigation of Irrigation Scheduling Based on Soil Water Status*. Irrigation Science, 31, 1: 27-36.
- Dabhi, P.V. Lakkad, A.P. Patel, G.R. and Shrivastava, P.K. (2020). *Application of Dual Crop Coefficient Approach for Estimation of Crop Water Requirement for Summer Sesame using SIMDualKc Model*. Journal of Agricultural Engineering Vol. 57 (4): October-December.
- Demirel, K. (2012). *Toprak Altına Serilen Su Tutma Bariyerlerinin (STB) Toprak Su İçeriği ve Çim Bitkisi Gelişimi Üzerine Etkileri*. Doktora Tezi. Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Demirel, K. (2014). *Toprak Nem Değişiminin HYDRUS Programı Yardımıyla Modellenmesi*. ÇOMÜ Zir. Fak. Derg. (COMU J. Agric. Fac.) 2014: 2 (2): 1-8.
- DeTar, W.R. Browne, G.T. Phene, C.J. and Sanden B.L. (1996). Real-Time Irrigation Scheduling of Potatoes with Sprinkler and Subsurface Drip Systems. In *Proc. Int'l. Conf. on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*. eds. C.R. Camp. E.J. Sadler. and R.E. Yoder. 812-824. St. Joseph. Mich., ASAE.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1979). *Yield Response to Water*. FAO Irrig. and Drain. Paper No: 3. 198 p., Rome.
- Douh, B. Boujelben, A. (2010). *Water Saving and Eggplant Response to Subsurface Drip Irrigation*. Agricultural Segment:1(2) AGS/1525.
- Douh, B. Boujelben, A. Khila, S. and Bel Haj Mgudiche, A. (2013). *Effect of Subsurface Drip Irrigation System Depth on Soil Water Content Distribution at Different Depths and Different Times After Irrigation*. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, 13. Mars 2013, pp. 7-16.
- El Nadi, A.H. (1969). *Efficiency of Water Use by Irrigated Wheat in the Sudan*. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 73: 261- 266.
- Elshamly, A.M.S. Gameh, M.A. Ghallab, A. and El-Samman, T.A. (2013). *Impact of Deficit Irrigation on Sesame Growth, Yield and Water Relations under Toshka Climatic Conditions*. Assiut J. Agric. Sci., (44) No. (3) 2013 (77-101).
- Emekli, Y. ve Baştuğ, R. (2007). *Antalya'da Tarla Koşullarında Bermuda Çiminin Su Tüketimi ve Bazı Kıyas Bitki Su Tüketimi Eşitliklerinin Geçerliliğinin Belirlenmesi*. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(1), 45-57.
- Evet, S.R. (2002). *Water and Energy Balances at Soil-Plant-Atmospheric Interfaces*. In: Warrick. A. W. (Ed.), *The Soil Physics Companion*, CRC Press. Boca Raton. FL. pp. 128-188.
- FaO (2002). *Irrigation Manual. Planning, Development Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation, Module 9: Localized Irrigation Systems Planning, Design, Operation and Maintenance (English)* Savva, a.P., FaO, Harare (Zimbabwe). Subregional Office for Southern and East Africa, 2002, 82 p.

- Farah, S.M. (1981). *An Examination of the Effect of Water Stress on Leaf Growth of Crops of Field Beans (Vicia faba L.)*. I. Crop Growth and Yield. J. Agric. Sci. Camb., 96: 327 - 336.
- Fatichi, S. ve Christoforos, P. (2017). *Constrained Variability of Modeled T:ET Ratio Across Biomes*. Geophys. Res. Lett., 44, 6795–6803, doi:10.1002/ 2017GL074041.
- Fazackerley, S. and Lawrence, R. (2010). *Reducing Turfgrass Water Consumption using Sensor Nodes and an Adaptive Irrigation Controller*. Retrieved December 5. 2010. from <https://people.ok.ubc.ca/rlawrenc/research/Papers/IEEESAS2010.pdf>
- Feddes, R.A. Kowalik, P.J and Zaradny, H. (1978). *Simulation of Field Water Use and Crop Yield*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Fernandez-Galvez, J. Simmonds, L.P. and Barahona, E. (2006). *Estimating Detailed Soil Water Profile Records from Point Measurements*. Eur. J. Soil Sci. 57:708-718.
- Finch, Savage, W.E. and Elston, J. (1982). *The effect of temperature and water stress on the timing of death in Vicia faba*. Ann. Appl. Biol., 100: 567 -579.
- Gaafar, I. Moursy, M.A. Rabo, M. Kheira, A. and Abdel Kareem, N.S. (2019). *Impact of Deficit Irrigation on Yield of Sesame in Sandy Soil*. Egypt. J. Appl. Sci., 29 (10): 1026-1041.
- Gardenas, A. Hopmans, J.W. Hanson, B.R. and Šimůnek, J. (2005). *Two Dimensional Modeling of Nitrate Leaching for Various Fertigation Scenarios Under Micro-Irrigation*. Agricultural Water Management, 74: 219-242.
- Gençoğlan, C. Altunbey, H. ve Gençoğlan, S. (2006). *Response of Green Bean (P. Vulgaris L.) to Subsurface Drip Irrigation and Partial Rootzone-Drying Irrigation*. Agr. Water Manage., 84(3): 274-280.
- Ghazouani, H. Autovino, D. Rallo, G. Douh, B. and Provenzano, G. (2016). *Using HYDRUS-2D Model to Assess the Optimal Drip Lateral Depth For Eggplant Crop in a Sandy Loam Soil of Central Tunisia*. Talian Journal of Agrometeorology - 1/2016. DOI:10.19199/2016.1.2038-5625.047.
- Ghazouani, H. Douh M'hamdi, B. Autovino, D. Mguidiche Bel Haj, A., Rallo, G. Provenzano, G. and Boujelben, A. (2015). *Optimizing Subsurface Dripline Installation Depth with Hydrus 2D/3D to Improve Irrigation Water Use Efficiency in the Central Tunisia*. International Journal of Metrology and Quality Engineering. DOI:10.1051/ijmqe/2015024.
- Ghazouani, H. Rallo, G. Mguidiche, A. Latrech, B. Douh, B. Boujelben, A. and Provenzano, G. (2019). *Assessing Hydrus-2D Model to Investigate the Effects of Different On-Farm Irrigation Strategies on Potato Crop under Subsurface Drip Irrigation*. Water. 11. 540. DOI:10.3390/w11030540.
- Grabow, G.R. Huffman, R.O. Evans, D.L. Jordan, K. and Nuti, R.C. (2006). *Water Distribution from a Subsurface Drip Irrigation System and Dripline Spacing Effect on Cotton Yield and Water Use Efficiency in a Coastal Plain Soil*. Trans. ASABE 49(6):1823–1835. doi:10.13031/2013.22303.
- Hanson, B.R. Schwanki, L.J. Schulbach, K.F. and Pettygrove, G.S. (1997). *A Comparison of Furrow. Surface Drip and Subsurface Drip Irrigation on Lettuce Yield and Applied Water*. Agricultural Water Management 33. 139-157.
- Henggeler, J.C. (1995). *A History of Drip-Irrigated Cotton in Texas*. In *Proc. 5 th Int'l. Microirrigation Congress*. ed. F.R. Lamm. 669-674. St. Joseph. Mich.: ASAE.
- Henggeler, J.C. (1998). *Managing Cotton When Water is Limited*. In *1998 Beltwide Cotton Conference*, San Diego. CA. 05-09 Jan. 1998. Natl. Cotton Counc. Am. Memphis. TN.

- Howell, T.A. Schneider, A.D. and Evett, S.R. (1997). *Subsurface and Surface Microirrigation of Corn Southern High Plains*. Transactions of the ASAE. 40(3):635-641.
- Howell, T.A. Yazar, A. Schneider, A.D. Dusek, D.A and Copeland, K.S. (1995). *Yield and Water Use Efficiency of Corn in Response to LEPA Irrigation*. ASAE Trans. of the ASAE. 38(6):1737-1747.
- Huang, T.J. Chang, Y.H. Yang, P.C. and Fang, Y.T. (1982). *Studies on Subsurface Drip Irrigation for Coarse-Texture Sugarcane Field in Taiwan*. In Report of the Taiwan Sugar Research Institute, 13-32, Tainan, Taiwan: Taiwan Sugar Res. Inst.
- Hutmacher, R.B. Mead, R.M. Phene, C.J. Clark, D. Shouse, P. Vail, S. Swain, S. VanGenuchten, R. Peters, M.S. Hawk, C.A. Donovanand, T. and Jobes, J. (1985, December). Subsurface Drip and Furrow Irrigation of Alfalfa in the Imperial Valley. *Proc. 22nd California/Arizona Alfalfa Symposium*. University of California and University of Arizona Cooperative Extension. December 9-10. Heltville. California.
- Idso, S.B. Jackson, R.D. Pinter, P.J. Reginato, R.J. Hatfield, J.L. (1981). *Normalizing the Stress-Degree-Day Parameter for Environmental Variability*. Agricultural Meteorology, 24:45-55.
- Irmak, S. (1996). *The possibility of using soil water potential and crop tionship between wheat yield and foliage temperature: Theory and water stress index values to monitor water stress and to determine its application to infrared measurements*. Agric. For. Meteorol. the Irrigation Time of Maize (*Zea mays* L.). M.E. Thesis. Univ. of 36:129–143. Akdeniz, Faculty of Agric. Eng., Antalya, Turkey.
- Jensen, M.E. Burman, R.D. and Allen, R.G. (1990). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. Manuals and reports on Engineering Practices No:70, ASCE, New York.
- Jiusheng, L. Zhang, J. and Rao, M. (2004). *Wetting Patterns and Nitrogen Distributions as Affected by Fertigation Strategies from a Surface Point Source*. Agricultural Water Management 67, 89–104.
- Jiusheng, L. Zhang, J. and Ren, L. (2003). *Water and Nitrogen Distribution as Affected by Fertigation of Ammonium Nitrate from a Point Source*. Irrigation Science 22, 19–30.
- Jones, H.G. Stoll, M. Santos, T. Sousa, C. Chaves, MM. and Grant, O.M. (2002). *Use of Infrared Thermography for Monitoring Stomatal Closure in the Field: Application to Grapevine*. Journal of Experimental Botany, Vol. 53, No. 378, pp. 2249±2260, November 2002.
- Kahlaoui, B. Hachicha, M. Rejeb, S. Rejeb, M.N. Hanchi, B. and Misle, E. (2011). *Effect of Saline Water on Tomato under Subsurface Drip Irrigation: Nutritional and Foliar Aspects*. J. Soil Sci. Plant Nutr. 11(1), 69-86.
- Kandelous, M.M. Šimůnek, J. van Genuchten, M.Th. and Malek, K. (2011). *Soil Water Content Distributions Between Two Emitters of a Subsurface Drip Irrigation System*. Soil Science Society of America Journal, 75, 2: 488-497.
- Karaca Bilgen, G. (2020). *Su Kısıtı Koşullarında Yüzeyaltı Damla Sulama ile Sulanan Dane Mısırın Verim ve Su Kullanım Etkinliğinin Belirlenme*. TAGEM/TSKAD/16/A13/P02/01 Nolu Proje Sonuç Raporu.
- Karamanos, A.J. (1978). *Water Stress and Leaf Growth of Field Beans (*Vicia faba* L.) in the Field: Leaf Number and Total Leaf Area*. Ann. Bot., 42: 1393-1402.
- Karandish, F. and Šimůnek, J. (2016). *A Comparison of Numerical and Machine-Learning Modeling of Soil Water Content with Limited input Data*. Journal of Hydrology 543 (2016) 892–909. DOI:10.1016/j.jhydrol.2016.11.007.

- Kassab, O. El-Noemani, A.A, El-Zeiny, H.A. (2005). *Influence of Some Irrigation Systems and Water Regimes on Growth and Yield of Sesame Plants*. J Agron 4:220–224.
- Kazumba, S. Gillerman, L. De Malach, Y. and Oron, G. (2010). *Sustainable Domestic Effluent Reuse Via Subsurface Drip Irrigation (SDI): Alfalfa as a Perennial Model Crop*. Water Science and Technology 61(3):625-632.
- Keller, J. and Bliesner, R. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Chapman and Hall, New York.
- Keller, J. and Karmeli, D. (1974). *Trickle Irrigation Design Parameters*. Trans aSae 7:678–684.
- Kong, Q.Li.G. Wang, Y. and Huo, H. (2011). *Bell Pepper Response to Surface and Subsurface Drip Irrigation under Different Fertigation Levels*. Irrig Sci. DOI 10.1007/s00271-011-0278-0.
- Kong, V. (2014). *Numerical Simulation of Soil-Water Distribution and Root Uptake from Subsurface Drip Irrigation Considering its Design and Management Parameters Using Hydrus-2D*. Doctoral Thesis, Under the direction of Dr. Garry L. Grabow.
- Lafolie, F. Guennelon, R. and van Genuchten, M.T. (1989). *Analysis of Water-Flow under Trickle Irrigation: 2-Experimental Evaluation*. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1318- 1323.
- Lamm, F.R. (2002). *Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation*. In: Proc International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation, Puerto de La Cruz, Tenerife, December 2-5, Canary Islands.
- Lamm, F.R. Abou Kheira A. and Trooien T. (2010). *Sunflower, Soybean and Grain Sorghum Crop Production as Affected by Drip Line Depth*. Applied Engineering in Agriculture, 26(5): 873-882.
- Lamm, F.R. and Camp, C.R. (2007). *Microirrigation for Crop Production: Design, Operation and Management*. Kidlington, Oxford, The United Kingdom: Elsevier, pp. 473–551.
- Lamm, F.R. Manges, H.L. Rogers, D.H. Spurgeon, W.E. and Farmer, M.H, (1990). *Design and Installation of a Drip Irrigation System for Research Purposes*. ASAE Paper No: 90-2530. St. Joseph Mich.: ASAE.
- Lazarovitch, N. Šimůnek, J. and Shani, U. (2005). *System Dependent Boundary Condition for Water Flow from Subsurface Source*. Soil Science Society of America Journal, 69, 1: 46-50.
- Leinonen, I. and Jones, H.G. (2004). *Combining Thermal and Visible Imagery for Estimating Canopy Temperature and Identifying Plant Stress*. Journal of Experimental Botany, Volume 55, Issue 401, 1 June 2004, Pages 1423–1431.
- Machado, Rma. and Oliveira, Gmr. (2005). *Tomato Root Distribution, Yield and Fruit Quality under Different Subsurface Drip Irrigation Regimes and Depths*. IrrSci (2005) 24: 15-24.
- Mailhol, J.C. Ruelle, P. and Nemeth, I. (2001). *Impact of Fertilization Practices on Nitrogen Leaching under Irrigation*. Irrigation Science 20, 139–147.
- McCoy, E.L. and McCoy, K.R. (2009). *Simulation of Putting-Green Soil Water Dynamics: Implications for Turfgrass Water Use*. Agricultural Water Management, 96: 405-414.
- McCready, M.S. Dukes, M.D. and Miller, G.L. (2009). *Water Conservation Potential of Smart Irrigation Controllers on St. Augustinegrass*. Agricultural Water Management. 96: 1623-1632.

- Meshkat, M. Warner, R.C. and Workman, S.R. (2000). *Evaporation Reduction Potential in an Undisturbed Soil Irrigated with Surface and Sand Tube Irrigation*. Transactions of ASAE 43, 79–86.
- Mmolawa, K. and Or, D. (2000). *Water and Solute Dynamics under a Drip-Irrigated Crop: Experiments and Analytical Model*. Trans. ASAE 43:1597-1608
- Naglič, B. (2014). *Numerical and Experimental Evaluation of Wetted Soil Volume in Surface Drip Irrigation Systems*. Doctoral Thesis, Ljubljana Univ. of Ljubljana, Biotechnical Faculty.
- O'Brien, D.M. Rogers, D.H. Lamm, F.R. and Clark, G.A. (1998). *An Economic Comparison of Subsurface Drip and Center Pivot Sprinkler Irrigation Systems*. Appl. Eng. Agric. 14:391–398. doi:10.13031/2013.19401.
- Ödemiş, B. ve Baştuğ, R. (1999). *İnfrared Termometre Tekniği Kullanılarak Pamukta Bitki Su Stresinin Değerlendirilmesi ve Sulamaların Programlanması*. Agriculture and Forestry 23 (1999) 31-37.
- Özçelik, Ş. Yüzbaşı, Ş. Aras, S. Şen, S. Tarı Akap, P. Şen, O.F. Pamuk Mengü, G. ve Akkuzu, E. (2017). *Menemen Ovasında Farklı Sulama Programlarının İkinci Ürün Mısır Bitkisinin Verim ve Bazı Gelişim Parametreleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi ve Ceres-Maize Bitki Büyüme Modeli ile Test Edilmesi*. TAGEM/TSKAD/13/A13/P02/1 Nolu Proje Sonuç Raporu.
- Pablo, A.L. Reay, T. Dewald, J.R. and Casebeer, A.L. (2007). *Identifying Enabling and Managing Dynamic Capabilities in the Public Sector*. Journal of Management Studies. 44(5). pp. 687-708.
- Patel, N. and Rajput, T.B.S. (2008). *Dynamics And Modeling Of Soil Water Under Subsurface Drip Irrigated Onion*. Agricultural Water Management, Volume 95, Issue 12, December 2008, Pages 1335-1349.
- Pereira, J. R. Guerra, H.O.C. Zonta, J.H. Bezerra, J.R.C. Almeida, E.S.A.B. and Araújo, W. P. (2017). *Behavior And Water Needs Of Sesame Under Different Irrigation Regimes: III. Production and Hydric Efficiency*. African Journal of Agricultural Research, Vol. 12(13), pp. 1158-1163.
- Phene, C.J. (1989). *Technics for Computerized Irrigation Management*. Computers and Electronics in Agriculture. V:3, P:189-200.
- Phene, C.J. and Beale, O.W. (1976). *High-Frequency Irrigation for Water Nutrient Manegement in Humid Regions*. Soil Sci. Soc. Am. J. 40(3):430-436.
- Phene, C.J. Davis, K.R. Hutmacher, R.B. and McCormick, R.L. (1987). *Advantage of Subsurface Irrigation for Processing Tomatoes*. Acta Hort. 200: 101–113.
- Phene, C.J. De Tar, W.R. and Clark. (1992). *Real-time Irrigation Scheduling of Cotton with an Automated Pan Evaporation System*. Applied Engineering in Agriculture 8(6):787-793.
- Philip, J.R. (1968). *Steady Infiltration from Buried Point Sources and Spherical Cavities*. Water Resour. Res. 4:1039-1047.
- Philip, J.R. (1984). *Travel-Times from Buried and Surface Infiltration Point Sources*. Water Resour. Res 20:990-994.
- Philip, J.R. (1991). *Effect of Root and Sub Irrigation on Evaporation and Percolation Losses*. Soil Science Society of America Journal 55, 1520–1523
- Phogat, V. Mahadevan, M. Skewes, M. and Cox, J.W. (2011). *Modelling Soil Water and Salt Dynamics under Pulsed and Continuous Surface Drip Irrigation of Almond and Implications of System Design*. Irrigation Science, 30, 4: 315-333.

- Provenzano, G. (2007). *Using HYDRUS-2D Simulation Model to Evaluate Wetted Soil Volume in Subsurface Drip Irrigation Systems*. J. Irrig. Drain. Eng. 133(4): 342–349.
- Rajput, N.P. (2008). *Dynamics and Modeling of Soil Water Under Subsurface Drip Irrigated Onion*. Agricultural Water Management 95 (2008) 1335–1349. DOI:10.1016/j.agwat.2008.06.002.
- Sağlam, M. Sintima, H.Y. Barya, A.I. Miles, C.A. Ghimire, S. Debra, A. Inglis, D.A. and Flury, M. (2017). *Modeling the effect of biodegradable paper and plastic mulch on soil moisture dynamics*. Agricultural Water Management 193 (2017) 240-250.
- Shae, J.B. and Gregor, B.L. (1999). *Irrigation Scheduling Methods for Potatoes in the Northern Great Plains*. Trans. ASAE 42(2): 351-360.
- Šimůnek, J. Šejna, M. and van Genuchten M.T. (1999). *The Hydrus-2D Software Package for Simulating the Two-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably Saturated Media*. Release 2.0. IGWMC-TPS 53- 251, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines. Golden, CO.
- Šimůnek, J. Šejna, M. and van Genuchten, M.T. (2006). *The Hydrus Software Package for Simulating Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media*. User Manual, Release 1.0. PC Progress, Prague, Czech Republic.
- Singh, Dk. and Rajput, Tbs. (2007). *Response of Lateral Place Ment Depths of Subsurface Drip Irrigation on okra (Abelmos Chuses Culentus)*. International Journal of Plant Production. 1: 73.84.
- Skaggs, T.H. Trout, T.J. Simunek, J. and Shouse, P.J. (2004). *Comparison of HYDRUS–2D Simulations of Drip Irrigation with Experimental Observations*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE). 130 (4): 304–310.
- Stewart, J.I. (1976). *Water Production Functions and Predicted Irrigation Programs for Principal Crop as Required for Water Resources Planning and Increased Water Use Efficiency*. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 33. United States. National Technical Information Service.
- Şimşek, M. Boydak, E. Kırnak, H. Gerçek, S. ve Kasap, Y. (2003). *Susam Bitkisinde Farklı Sulama ve Sıra Aralıklarında Yağmurlama Sulamanın Su-Verim İlişkisine Etkisi*. Tarım Bilimleri Dergisi, 9(2), 136-142.
- Tekelioğlu, B. Büyüktaş, D. Baştuğ, R. Aydınşakir, K. Karaca, C. ve Dinç, N. (2018). *Bitki Su Stresi İndeksini (CWSI) Belirlemede Kullanılan Yöntemlerin Nar Ağacı ve Soya Bitkisinde Karşılaştırılması. 1 st International, 14th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation, 26-28 September 2018 Antalya*.
- Tunalı, S.P. ve Dağdelen, N. (2015). *Yüzeyaltı Damla Sulama Sistemlerinde Damlatıcı Debi Değişimlerinin Tarla Koşullarında Su Uygulama Eşdağılımı Açısından Değerlendirilerek Modellenmesi*. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2015; 12(2) : 33 – 43.
- Tunç, T. Evren, S. Daşçı, E. Güney, E. Şahin, Ü. ve Aslantaş, R. (2018). *Kısıntılı Sulama Koşullarında Yüzeyüstü, Yüzeyaltı ve Malç Uygulamalı Yüzeyüstü Damla Sulama Sistemlerinin Çileğin Su Tüketimine ve Verimine Etkisinin Belirlenmesi*. TAGEM/TSKAD/14/A13/P02/04 Proje Sonuç Raporu.
- TÜİK, (2016). <http://www.Tuik.Gov.Tr>. Erişim Tarihi: 09.12.2016
- Uçan, K. Kılı, F. Gençdoğan, C. ve Merdun, H. (2007). *Effect of Irrigation Frequency and Amount on Water Use Efficiency and Yield of Sesame (Sesamum Indicum L.) Under Field Conditions*. Field Crops Research 101 (2007) 249–258.

- Umar, UA. Falaki, A.M. Abubakar, I.U. and Mani, H. (2015). *Productivity of sesame (Sesamum indicum L.) varieties as influenced by irrigation scheduling*. Pacific J Sci Technol 16:262–269.
- Vermeiren, L. Jobling, and GA. (1984). *Localized Irrigation*. FaO Irrigation and Drainage Paper 36, FaO-Un, Rome, Italy.
- Vories, E. Tacker, P. and Hall, S. (2009). *The Arkansas Irrigation Scheduler*. World Environmental and Water Resources Congress 2009: pp. 1-10.
- Vrugt, J.A. Van Wijk, M.T. Hopmans, J.W. and Simunek, J. (2001). *One, Two and Three-Dimensional Root Water Uptake Functions for Transient Modeling*. Water Resources Research. 37 (10): 2457–2470.
- Ward, A.D. and Elliot, W.J. (1995). *Environmental Hydrolgy*. CRC Press. 462. USA.
- Warrick, A.W. and Shani, U. (1996). *Soil-Limiting Flow from Subsurface Emitters. 2- Effect on Uniformity*. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 122:296-300.
- Went, C.W. Onken, A.B. Wilke, O.C. Hargrove, R. Bausch, W. and Barnes, L. (1977). *Effect of Irrigation Systems on the Water Requirement of Sweet Corn*. Soil Sci. Soc. Am. J. 41(4): 785-788.
- William, W. (1993). *Preparation of Ester Derivatives of Fatty Acids for Chromatographic Analysis*. Advances in Lipid Methodology, 2(69), e111.
- Yurtseven, E. Šimunek, J. Avcı, S. and Öztürk, H.S. (2013). *Comparison of HYDRUS-1D Simulations and Ion (Salt) Movement in the Soil Profile Subject to Leaching*. Proceedings of the 4th International Conference "HYDRUS Software Applications to Subsurface Flow and Contaminant Transport Problems".
- Yurtsever, N. (1984). *Deneyisel istatistik metotları*. Köy Hizmetleri Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü yayınları. Yayın no. 121. Teknik yayın no. 56, Ankara.
- Zhou, Q. Kang, S. Zhang, L. and Li, F. (2007). *Comparison of APRI and HYDRUS-2D Models to Simulate Soil Water Dynamics in a Vineyard Under Alternate Partial Root Zone Drip Irrigation*. Plant Soil. 291: 211-223.
- Zoldoske, D.F. (1993). *The Future of Irrigation is Buried*. In Proc. Int'l. Irrigation Expo and Technical Conf., 86-88, Arlington. Va.: Irrig. Assoc.

EKLER

Ek 1. Deneme konularına göre bitki su tüketimi değerleri (2019 yılı)

Lateral Derinliği (cm)	Konular	Aylar	I (mm)	P (mm)	ΔS (mm)	DP (mm)	ETc (mm)	Toplam ETc (mm)
20	S1	Mayıs	24.4	0.0	-16.7	0.0	41.2	431.3
		Haziran	49.2	12.4	-14.2	0.0	75.8	
		Temmuz	227.0	0.2	-28.7	0.0	255.9	
		Ağustos	55.3	0.0	-3.1	0.0	58.5	
	S2	Mayıs	21.0	0.0	18.3	0.0	3.2	284.7
		Haziran	34.4	12.4	-23.7	0.0	71.7	
		Temmuz	158.9	0.2	-1.6	0.0	168.0	
		Ağustos	38.7	0.0	-10.3	0.0	41.8	
	S3	Mayıs	17.5	0.0	-14.7	0.0	35.8	256.9
		Haziran	19.7	12.4	-29.1	0.0	66.9	
		Temmuz	90.8	0.2	-14.4	0.0	119.6	
		Ağustos	22.1	0.0	-10.3	0.0	34.6	
	S4	Mayıs	12.9	0.0	-26.8	0.0	39.7	150.6
		Haziran	0.0	12.4	-36.7	0.0	49.1	
		Temmuz	0.0	0.2	-41.2	0.0	41.4	
		Ağustos	0.0	0.0	-20.4	0.0	20.4	
30	S1	Mayıs	25.2	0.0	12.7	0.0	12.5	312.4
		Haziran	39.7	12.4	-29.1	0.0	81.2	
		Temmuz	174.0	0.2	11.6	0.0	162.6	
		Ağustos	31.2	0.0	-24.9	0.0	56.1	
	S2	Mayıs	21.5	0.0	6.6	0.0	15.8	283.1
		Haziran	27.8	12.4	-28.4	0.0	74.5	
		Temmuz	121.8	0.2	-7.2	0.0	148.1	
		Ağustos	21.8	0.0	-13.8	0.0	44.7	
	S3	Mayıs	17.8	0.0	2.6	0.0	15.9	205.7
		Haziran	15.9	12.4	-17.0	0.0	48.9	
		Temmuz	69.6	0.2	-27.1	0.0	108.4	
		Ağustos	12.5	0.0	-13.8	0.0	32.6	
	S4	Mayıs	12.9	0.0	-26.7	0.0	43.4	147.0
		Haziran	0.0	12.4	-15.9	0.0	28.3	
		Temmuz	0.0	0.2	-71.3	0.0	71.5	
		Ağustos	0.0	0.0	-3.8	0.0	3.8	
40	S1	Mayıs	25.2	0.0	-6.5	0.0	31.7	288.1
		Haziran	47.0	12.4	-3.1	0.0	62.5	
		Temmuz	159.6	0.2	2.4	0.0	157.4	
		Ağustos	34.3	0.0	-2.2	0.0	36.5	
	S2	Mayıs	21.5	0.0	-7.0	0.0	30.0	283.3
		Haziran	32.9	12.4	-15.7	0.0	64.2	
		Temmuz	111.7	0.2	-14.0	0.0	153.7	
		Ağustos	24.0	0.0	-0.4	0.0	35.4	
	S3	Mayıs	17.8	0.0	-12.3	0.0	31.2	272.5
		Haziran	18.8	12.4	-27.3	0.0	64.4	
		Temmuz	63.8	0.2	-33.3	0.0	144.4	
		Ağustos	13.7	0.0	-6.2	0.0	32.5	
	S4	Mayıs	12.9	0.0	-14.2	0.0	27.1	142.8
		Haziran	0.0	12.4	-41.7	0.0	54.1	
		Temmuz	0.0	0.2	-49.3	0.0	49.5	
		Ağustos	0.0	0.0	-12.1	0.0	12.1	

Ek 2. Deneme konularına göre bitki su tüketimi değerleri (2020 yılı)

Lateral Derinliği (cm)	Konular	Aylar	I (mm)	P (mm)	ΔS (mm)	DP (mm)	ETc (mm)	Toplam ETc (mm)
20	S1	Mayıs	18.0	8.0	-18.3	0.0	44.3	389.8
		Haziran	44.0	0.0	-17.2	0.0	61.2	
		Temmuz	191.0	0.0	-20.1	0.0	211.1	
		Ağustos	68.0	0.0	-5.2	0.0	73.2	
	S2	Mayıs	15.0	8.0	-14.9	0.0	37.9	288.0
		Haziran	35.2	0.0	-19.9	0.0	55.4	
		Temmuz	143.0	0.0	-6.7	0.0	149.7	
		Ağustos	36.0	0.0	-9.0	0.0	45.0	
	S3	Mayıs	16.2	8.0	4.1	0.0	17.9	203.5
		Haziran	21.0	0.0	-12.0	0.0	33.0	
		Temmuz	82.0	0.0	-30.7	0.0	112.7	
		Ağustos	18.0	0.0	-21.9	0.0	39.9	
	S4	Mayıs	14.7	8.0	-24.2	0.0	46.2	153.6
		Haziran	0.0	0.0	-16.4	0.0	16.4	
		Temmuz	0.0	0.0	-53.0	0.0	53.0	
		Ağustos	0.0	0.0	-38.0	0.0	38.0	
30	S1	Mayıs	14.7	8.0	5.4	0.0	17.6	294.2
		Haziran	51.7	0.0	-10.1	0.0	61.9	
		Temmuz	161.2	0.0	-19.9	0.0	181.1	
		Ağustos	28.4	0.0	-5.2	0.0	33.6	
	S2	Mayıs	14.7	8.0	-19.8	0.0	43.8	276.1
		Haziran	36.2	0.0	-21.8	0.0	66.5	
		Temmuz	112.8	0.0	-26.9	0.0	124.8	
		Ağustos	19.9	0.0	-15.0	0.0	41.0	
	S3	Mayıs	14.7	8.0	-12.7	0.0	33.7	191.5
		Haziran	20.7	0.0	-17.0	0.0	30.0	
		Temmuz	64.5	0.0	-22.8	0.0	94.8	
		Ağustos	11.4	0.0	-12.0	0.0	33.0	
	S4	Mayıs	14.7	8.0	-11.8	0.0	33.8	141.2
		Haziran	0.0	0.0	-16.4	0.0	16.4	
		Temmuz	0.0	0.0	-53.0	0.0	53.0	
		Ağustos	0.0	0.0	-38.0	0.0	38.0	
40	S1	Mayıs	14.7	0.0	-6.5	0.0	31.7	288.1
		Haziran	39.4	12.4	-3.1	0.0	62.5	
		Temmuz	159.6	0.2	2.4	0.0	157.4	
		Ağustos	34.3	0.0	-2.2	0.0	36.5	
	S2	Mayıs	14.7	0.0	-7.0	0.0	30.0	283.3
		Haziran	27.6	12.4	-15.7	0.0	64.2	
		Temmuz	111.7	0.2	-14.0	0.0	153.7	
		Ağustos	24.0	0.0	-0.4	0.0	35.4	
	S3	Mayıs	14.7	0.0	-12.3	0.0	31.2	272.5
		Haziran	15.8	12.4	-27.3	0.0	64.4	
		Temmuz	63.8	0.2	-33.3	0.0	144.4	
		Ağustos	13.7	0.0	-6.2	0.0	32.5	
	S4	Mayıs	14.7	0.0	-14.2	0.0	27.1	142.8
		Haziran	0.0	12.4	-41.7	0.0	54.1	
		Temmuz	0.0	0.2	-49.3	0.0	49.5	
		Ağustos	0.0	0.0	-12.1	0.0	12.1	

ÖZ GEÇMİŞ

Filiz AKIN, Antalya Anadolu Öğretmen Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nden 2009 yılında mezun oldu. 2012 yılında OMÜ Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında Yüksek Lisans programını bitirdi. Mezuniyetinden bu yana Mühendis olarak görev yapan Filiz AKIN, iyi derecede İngilizce bilmektedir (16.06.2021).

İletişim Bilgileri

Öğrenci no : 12210773

ORCID ID : 0000-0002-0902-475X

Yayınlar:

1. Kara, F. and Cemek, B. (2019). *Estimation of Soil Temperatures by Using Artificial Neural Networks For The Provinces of Middle Black Sea Region*. Derim, Vol.36 No.2 pp.192-198.
2. Kara, F. ve Cemek, B. (2019). *Orta Karadeniz Bölgesi Toprak Sıcaklığının Zaman Serisi Analizi Yöntemi ile Modellenmesi*. Toprak Su Dergisi, Özel Sayı: (115-121).
3. Kara, F. (2019). Farklı Damlatıcı Debilerinin Topraktaki Nem Dağılımına Etkisi ve HYDRUS-2D\3D Programı ile Modellenmesi. *1th International Biosystem Engineering Congress*, 24-27 September, 2019, Hatay.