

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TOPRAK ALTI DAMLA SULAMA SİSTEMİNDE FARKLI LATERAL
DERİNLİKLERİNİN SORGUM BİTKİSİNİN GELİŞMESİ İLE BİYOETANOL
VERİMİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE HYDRUS/2D MODELİYLE
TOPRAK PROFİLİNDEKİ NEM DAĞILIMININ SİMÜLASYONU**

Begüm POLAT

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TOPRAK ALTI DAMLA SULAMA SİSTEMİNDE FARKLI LATERAL
DERİNLİKLERİNİN SORGUM BİTKİSİNİN GELİŞMESİ İLE BİYOETANOL
VERİMİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE HYDRUS/2D MODELİYLE
TOPRAK PROFİLİNDEKİ NEM DAĞILIMININ SİMÜLASYONU**

Begüm POLAT

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOPRAK ALTI DAMLA SULAMA SİSTEMİNDE FARKLI LATERAL
DERİNLİKLERİNİN SORGUM BİTKİSİNİN GELİŞMESİ İLE BİYOETANOL
VERİMİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE HYDRUS/2D MODELİYLE
TOPRAK PROFİLİNDEKİ NEM DAĞILIMININ SİMÜLASYONU**

**Begüm POLAT
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**Bu tez T.C. Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon
Birimi Tarafından FDK-2020-5355 nolu proje ile desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2022

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPRAK ALTI DAMLA SULAMA SİSTEMİNDE FARKLI LATERAL
DERİNLİKLERİNİN SORGUM BİTKİSİNİN GELİŞMESİ İLE BİYOETANOL
VERİMİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE HYDRUS/2D MODELİYLE
TOPRAK PROFİLİNDEKİ NEM DAĞILIMININ SİMÜLASYONU**

Begüm POLAT
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 24/06/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ (Danışman)
Prof. Dr. Ruhi BAŞTUĞ
Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT
Prof. Dr. İrfan TURHAN
Prof. Dr. Berkant ÖDEMİŞ

ÖZET

TOPRAK ALTI DAMLA SULAMA SİSTEMİNDE FARKLI LATERAL DERİNLİKLERİNİN SORGUM BİTKİSİNİN GELİŞMESİ İLE BİYOETANOL VERİMİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE HYDRUS/2D MODELİYLE TOPRAK PROFİLİNDEKİ NEM DAĞILIMININ SİMÜLASYONU

Begüm POLAT

Doktora Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ

Haziran 2022; 149 sayfa

Bu çalışmada, toprak altı damla sulama yönteminde farklı lateral derinlikleri ve sulama suyu düzeylerinin sorgum bitkisinin verim ve bitki gelişim parametrelerine olan etkilerinin değerlendirilmesini ve HYDRUS/2D modeli yardımı ile en uygun lateral derinliğinin ve sulama suyu miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma 2020-2021 yılları arasında Antalya bölgesinde tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre üç yinelemeli olarak yürütülmüştür. Deneme konuları olarak, yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün, %66'sının ve %33'ünün sulama suyu olarak uygulandığı üç farklı sulama suyu düzeyi (sırasıyla S100, S66, S33) ve laterallerin 25 cm ve 50 cm olmak üzere iki farklı derinliğe yerleştirildiği (sırasıyla D25 ve D50) lateral derinliği kombinasyonları kullanılmıştır. Her iki yetiştirme mevsiminde de lateral derinliğinin, lateral derinliği ve sulama seviyesinin interaksiyonunun biyoetanol verim değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. Buna karşın, farklı sulama seviyelerinin ortalama biyoetanol verim değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık ($p < 0.01$) belirlenmiştir. Uygulanan sulama seviyesi azaldıkça biyoetanol veriminin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Her iki yetiştirme mevsiminin sonunda en yüksek biyoetanol verimi S100 konusunda belirlenirken, ikinci yetiştirme döneminde S66 ve S100 konuları arasında farklılık saptanmamıştır. Genel olarak her iki yetiştirme mevsiminde lateral derinliğinin, lateral derinliği ve sulama suyu seviyesinin interaksiyonunun sorgum bitkisinin gelişim parametrelerini etkilemediği belirlense de 50 cm lateral derinliğinde bitki gelişim parametrelerinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada HYDRUS/2D programı kullanarak tahmin edilen ve ölçülen toprak su içeriği için belirlenen R^2 değerleri, 0.49-0.92, RMSE değerleri 16.76-70.50 mm ve MAE değerleri 16.18-66.36 mm arasında değişmiştir. Elde edilen sonuçlar HYDRUS/2D programının toprak su içeriğini tahmin etmek için başarılı bir model olduğunu göstermiştir. Hazırlanan senaryolarda en uygun ıslatma deseni ve dönem boyunca simüle edilen toprak su içeriği değişimi 40 cm lateral derinliğinde S66 konusundan, aynı hat üzerinde iki farklı lateral derinliği (25 ve 50 cm) kullanılarak oluşturulan konfigürasyonlarda aynı derinliklerde, sulama suyu miktarının eşit bölüştürülerek uygulandığı S100 konusundan elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Sulama, Sorgum, Toprak altı Damla Sulama, Lateral Derinliği, HYDRUS/2D

JÜRİ: Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ

Prof. Dr. Ruhi BAŞTUĞ

Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT

Prof. Dr. İrfan TURHAN

Prof. Dr. Berkant ÖDEMİŞ



ABSTRACT

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT LATERAL DEPTH IN SUBSURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEM ON BIOETHANOL PRODUCTION TOGETHER WITH GROWTH OF SORGHUM PLANT AND SIMULATION OF MOISTURE DISTRIBUTION IN THE SOIL PROFILE WITH HYDRUS/2D MODEL

Begüm POLAT

Ph.D. Thesis in Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ

June 2022; 149 pages

In this study, it was aimed to evaluate the effects of different lateral depths and irrigation water levels on the yield and plant growth parameters of the sorghum plant in the subsurface drip irrigation method and to determine the most appropriate lateral depth and amount of irrigation water in subsurface drip irrigation on the sorghum plant with the HYDRUS/2D model. The experiment was carried out in three replications in a randomized block trial design between 2020-2021 in Antalya. In irrigation treatments, three different irrigation water levels (S100, S66, S33, respectively) in which 100%, 66% and 33% of the amount were applied as irrigation water, when the cumulative reference crop evapotranspiration reached 25 ± 5 mm and lateral depth combinations in which the laterals were placed at two different depths, 25 cm and 50 cm (D25 and D50, respectively) were used. It was determined that lateral depth and, the interaction of lateral depth and irrigation level did not affect the bioethanol yield values in both growing seasons. On the other hand, a statistical difference ($p < 0.01$) was determined between the average bioethanol yield values of different irrigation levels. It was concluded that the bioethanol yield decreased as the applied irrigation level decreased. While the highest bioethanol yield was determined in S100 at the end of both growing seasons, no difference was found between S66 and S100 subjects in the second growing season. In general, although it was determined that lateral depth, the interaction of lateral depth and irrigation water level did not affect the growth parameters of sorghum plant in both growing seasons, it was concluded that plant growth parameters were better at 50 cm lateral depth. The R^2 values determined for the estimated and measured soil water content using the HYDRUS/2D model ranged from 0.49-0.92, RMSE values between 16.76-70.50 mm and MAE values between 16.18-66.36 mm. Obtained results showed that HYDRUS/2D program is a successful model for estimating soil water content. In the scenarios prepared, the most suitable wetting pattern and the change in soil water content during the period were obtained from the S66 topic at 40 cm lateral depth and from the S100 topic at configurations using two different lateral depths (25 and 50 cm) where the irrigation water amount was applied equally.

KEYWORDS: Irrigation, Sorghum, Subsurface Drip Irrigation, Lateral Depth, HYDRUS\2D

COMMITTEE: Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ

Prof. Dr. Ruhi BAŞTUĞ

Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT

Prof. Dr. İrfan TURHAN

Prof. Dr. Berkant ÖDEMİŞ



ÖNSÖZ

Tarım alanlarında bitki gelişimini sınırlayan en önemli çevresel faktörlerden biri kuraklıktır. Küresel ısınmanın etki ve nedenleri bölgesel anlamda farklılık gösterse de olumsuz sonuçları günümüzde önemli ve yaygın bir sorun haline gelmiştir. Yaşanan süreç özellikle su kaynaklarını olumsuz anlamda etkilemektedir. Ülkemizde mevcut su potansiyelimizin %49'u, kullanılan suyun ise %77'si tarımda kullanılmaktadır. Tarımsal amaçlı kullanımda yapılacak su tasarrufu, su kullanımında en fazla paya sahip olmasından dolayı oldukça önemlidir. Bu nedenle tarımsal alanda sudan tasarruf sağlayacak yöntem ve stratejiler günümüzde büyük önem kazanmıştır. Bu stratejilerden biri de toprak altı damla sulama yöntemidir. Toprak altı damla sulama yöntemi yeni gelişen bir yöntem olup, su tasarrufunun yanında, su ve bitki besin maddesinin daha randımanlı uygulanmasını sağlayan bir yöntemdir. Yöntemin uygulamasının sürdürülebilir olması için toprak altı damla sulama sisteminin tasarımının ve yönetiminin farklı bitki, iklim ve toprak koşullarında belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada HYDRUS/2D programı kullanılarak toprak altı damla sulama sisteminin tasarımına katkıda bulunmak ve Antalya koşullarında sorgum bitkisinde toprak altı damla sulamada en uygun lateral derinliğini ve biyoetanol üretimi için en uygun sulama seviyesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu konuda yapılacak olan çalışmalar hem su kaynaklarının optimizasyonuna hem de enerji bitkilerinin üretiminin iyileştirilmesine yönelik çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Çalışmam süresince bana büyük bir sabırla yol gösteren olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan, beraber çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ'a sonsuz teşekkür ediyorum. Tezimin planlanması ve yürütülmesinde değerli görüş ve önerilerinden yararlandığım Prof. Dr. Ruhi Baştuğ, Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT, Prof.Dr. İrfan TURHAN ve Prof.Dr. Berkant ÖDEMİŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Labaratuvar çalışmalarında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen Ziraat Yüksek Mühendisi Ayşe Mine Yıldız'a ve Doktora öğrencisi Selime Benemir Erkan Ünsal'a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca her zaman yanımda olan tüm aileme ve çalışmamın her aşamasında desteğini gördüğüm sevgili eşim Alper POLAT'a ve enerjisi ile beni motive eden oğlum Ozan Aras POLAT'a teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	7
2.1. Sulama Uygulamalarının Biyoetanol Verimi ile Bitki Gelişim Parametrelerine Etkileri ve Sorgum Bitkisinde Yapılan Damla Sulama ve Toprak altı Damla Sulama Çalışmaları	7
2.2. Hydrus/2D Programı ile Yapılan Önceki Çalışmalar	16
3. MATERYAL VE METOT.....	24
3.1. Materyal	24
3.1.1. Araştırma yeri.....	24
3.1.2. Araştırma yerinin iklim özellikleri.....	24
3.1.3. Araştırma alanının toprak özellikleri	25
3.1.4. Araştırmada kullanılan sulama suyunun özellikleri	26
3.1.5. Araştırmada kullanılan toprak altı damla sulama sisteminin özellikleri	26
3.1.6. Araştırmada kullanılan bitkisel materyal	27
3.1.7. Araştırmada kullanılan sayısal model	27
3.2. Metot	32
3.2.1. Araştırma konuları	32
3.2.2. Deneme deseni	33
3.2.3. Toprak hazırlığı, ekim ve kültürel uygulamalar.....	35
3.2.4. Toprak nem içeriğinin izlenmesi.....	36
3.2.5. Uygulanacak sulama suyu miktarının hesaplanması.....	37

3.2.6. Bitki su tüketiminin hesaplanması	38
3.2.7. Biyoetanol verimi için su kullanım randımanı (WUE_b) ve sulama suyu kullanım randımanı ($IWUE_b$)	38
3.2.8. Verim tepki etmeni (k_y).....	38
3.2.9. Yaprak alan indeksinin belirlenmesi	39
3.2.10. Bitki boyu ölçümü	39
3.2.11. Stoma iletkenliği ölçümleri.....	40
3.2.12. Klorofil indeks içeriğinin belirlenmesi (CCI).....	40
3.2.13. Hasat sonrası verim ve verim bileşenlerinin belirlenmesi	40
3.2.14. HYDRUS/2D sayısal modelinin kullanımı.....	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
4.1. İklimsel Değerlere İlişkin Bulgular	51
4.2. Toprak nem içeriğinin değişimi	52
4.3. Uygulanan sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi.....	54
4.4. Bitki Gelişim Parametreleri	57
4.4.1. Bitki boylarının mevsimlik değişimleri ve mevsim sonu bitki boyları arasındaki istatistiksel ilişkiler.....	57
4.4.2. Klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin mevsimlik değişimleri ve ortalama klorofil indeks içeriği değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler.....	61
4.4.3. Stoma iletkenliği değerlerinin mevsimlik değişimleri ve ortalama stoma iletkenliği değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler	65
4.4.4. Yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin mevsimlik değişimleri ve mevsim sonu yaprak alan indeksi arasındaki istatistiksel ilişkiler	69
4.5. Hasat Sonrası Verim ve Verim Parametrelerinin Belirlenmesi	72
4.5.1. Yaş ot verimi	72
4.5.2. Kuru ot verimi	74
4.5.3. Başak, sap ve yaprak ağırlıkları	76
4.5.4. Özsu verimi	81
4.5.5. Briks içeriği	83
4.5.6. Biyoetanol verimi.....	85
4.5.7. Toplam şeker	87
4.5.8. Glikoz, Fruktöz ve Sakkaroz.....	90

4.6. Biyoetanol verimi için su kullanım randımanı (WUE_b), sulama suyu kullanım randımanı ($IWUE_b$) ve verim tepki etmeni (k_y)	94
4.7. HYDRUS/2D programı ile elde edilen bulgular ve değerlendirilmesi	97
4.7.1. Kalibrasyon	97
4.7.2. Doğrulama	102
4.7.2.1. Farklı su uygulama stratejilerine ilişkin bulguların değerlendirilmesi	106
4.7.3.2 . Farklı lateral derinliklerine ilişkin bulguların değerlendirilmesi	114
5. SONUÇLAR.....	130
6. KAYNAKLAR.....	137
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Toprak altı Damla Sulama Sisteminde Farklı Lateral Derinliklerinin Sorgum Bitkisinin Gelişmesi ile Biyoetanol Verimine Etkilerinin Belirlenmesi ve HYDRUS/2D Modeliyle Toprak Profilineki Nem Dağılımının Simülasyonu” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

24/06/2022

Begüm POLAT



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
a_0	: Kalibrasyon katsayısı
a_1	: Kalibrasyon katsayısı
ΔS	: Topraktaki nem miktarının değişimi
$^{\circ}C$	: Santigrad derece
A	: Sulanacak alan
b	: Normalleştirilmiş su alımının dağılımı
BA	: Bitki alanı
CO_3^{-2}	: Karbonat
Ca^{+2}	: Kalsiyum
cal	: Kalori
Cl^{-}	: Klor
cm^{-3}	: Santimetre küp
D	: Drene olan su miktarı
D_s	: Derine sızma
E	: Evaporasyon
EC	: Elektriksel iletkenlik
E_p	: Buharlaşma kabında ölçülen buharlaşma miktarı
ET	: Bitki su tüketimi
ET_c	: Gerçek bitki su tüketimi
ET_o	: Kıyas bitki su tüketimi
ϵ	: Toprağın permittivitesini
g	: Gram
H	: Hidrolik yük

h	: Suya doymuş koşullarda basınç yükü, suya doymamış koşullarda matriks
HCO_3^-	: Bikarbonat
I	: Uygulanan net sulama suyu miktarı
IWUE	: Sulama suyu kullanım etkinliği
IWUE_b etkinliği	: Biyoetanol verim değerlerine bağlı olarak hesaplanan sulama suyu kullanım etkinliği
IWUE_b etkinliği	: Biyoetanol verim değerlerine bağlı olarak hesaplanan sulama suyu kullanım etkinliği
k	: Güneş radyasyonu için bir katsayı
K	: Hidrolik iletkenlik
K^+	: Potasyum
k_c	: Bitki katsayısı
kg	: Kilogram
k_p	: Buharlaşma kabı katsayısı
K_{py}	: Kapillar yükselme
K_s	: Doymuş hidrolik iletkenlik
k_y	: Verim tepki etmeni
L	: Uzunluk birimi
L_d	: Damlatıcının çevresi
L_t	: İlişkili toprak yüzeyinin ıslanan yarıçapı
L_x	: Kök bölgesinin genişliği
L_z	: Kök bölgesinin uzunluğu
l	: Litre
m	: Metre
MAE	: Ortalama mutlak hata
Mg	: Megagram
mg	: Miligram

Mg^{+2}	: Magnezyum
mm	: Milimetre
Na^{+}	: Sodyum
n_y	: Yaprak sayısı
P	: Yağış
Ph	: Potansiyel hidrojen
P_w	: Kuru ağırlık yüzdesi cinsinden toprak su içeriği
P_y	: Islatılan alan yüzdesi
q	: Su akısı
Q	: Damlatıcı debisi
$q_{çıkan}$	: Çıkan su akısı
q_{giren}	: Giren su akısı
r	: Lateralin yarıçapı
R	: Yüzey akışı
R^2	: Determinasyon katsayısı
r_m	: Yatay yönde maksimum köklenme uzunluğu
RMSE	: Ortalama hatanın karesi
S	: Bitkinin birim zamanda çıkardığı su hacmi
s	: Saniye
$S(h)$	: Su alımının dağılımı
sa	: Saat
SAR	: Sodyum adsorbsiyon oranı
S_d	: Damlatıcı aralığı
SO_4^{-2}	: Sülfat
Sp	: Su alım oranı
Ss	: Uygulanan sulama suyu miktarı

S_t	: Transpirasyon süreci ile ilişkili olan toprak yüzeyinin genişliği
T	: Transpirasyon
t	: Zaman
T_p	: Potansiyel transpirasyon hızı
V	: Profil prob aletinden okunan voltaj (V)
$V_{b\text{ susuz}}$	: Susuz konudan elde edilen biyoetanol verim
V_b	: Biyoetanol verimi
w_c	: Su stresi indeksi
WUE	: Su kullanım etkinliği
WUE_b	: Biyoetanol verim değerlerine bağlı olarak hesaplanan su kullanım etkinliği
X	: Ölçülen hacimsel su içeriği ortalaması
x	: Yatay koordinat
X_i	: Ölçülen hacimsel su içeriği
Y	: Tahmin edilen hacimsel su içeriği ortalaması
Y_a	: Bitkinin yetiştirildiği koşullarda gerçek bitki su tüketimine karşılık elde edilen gerçek verim
YAI	: Yaprak alan indeksi
Y_i	: Tahmin edilen hacimsel su içeriği
Y_m	: Yetiştirme mevsimi boyunca herhangi bir su eksikliğinin olmadığı maksimum su tüketimine karşılık elde edilen verim
z	: Dikey koordinat
z_m	: Derinlik yönü
α	: Su stresi nedeniyle kök su alımını maksimum değerinden azaltan su stresi
θ_r	: Hacimsel olarak kalıcı su içeriği
θ_s	: Doygun hacimsel su içeriği
θ	: Hacimsel su içeriği
π	: Pi sayısı

Tezde ondalık ayıraç olarak nokta (.) kullanılmıştır.

Kısaltmalar

BATEM : Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

DSİ : Devlet Su İşleri

FAO : Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü

HA : Hacim ağırlığı

SN : Solma noktası

TK : Tarla kapasitesi

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

YAI : Yaprak Alan İndeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Araştırma alanının yeri ve konumu	24
Şekil 3.2. Sorgum bitkisinin gelişme dönemleri (Murty vd. 1994; Allamine 2021)	27
Şekil 3.3. Kararsız toprak su hareketine ilişkin, üç boyutlu ortamda su akısının değişimini gösteren model	28
Şekil 3.4. Araştırmada uygulanan deneme planı	34
Şekil 3.5. Araştırmada uygulanan parsel detayı.....	35
Şekil 3.6. Mibzerle tohum ekimi	36
Şekil 3.7. Bitki boyu ölçümü	39
Şekil 3.8. Biyoetanol analiz aşamaları; a) Örneklerin santrifüj makinasına aktarılması; b) erlenlere aktarılan örneklerle besiyer ortamı hazırlanması; c) örneklerin çalkalamalı inkübatöre aktarılması; d) örneklerin otoklav içerisinde steril edilmesi	42
Şekil 3.9. Simüle edilen toprak kesiti	43
Şekil 3.10. Simüle edilen alanın arazide gösterimi.....	44
Şekil 3.11. HYDRUS/2D programında simüle edilen toprak kesiti; a) lateralın 25cm derinliğinde bulunma durumu, b) laterin 50cm derinliğinde bulunma durumu.....	44
Şekil 3.12. HYDRUS/2D programında simüle edilen kök dağılımı.....	46
Şekil 3.13. HYDRUS/2D programında toprak kesitinde yerleştirilen gözlem noktaları	47
Şekil 4.1. Birinci yetiştirme mevsimi boyunca günlük ortalama sıcaklık (°C), nispi nem (%) ve yağış değişimi.....	51
Şekil 4.2. İkinci yetiştirme mevsimi boyunca günlük ortalama sıcaklık (°C), nispi nem (%) ve yağış değişimi.....	51
Şekil 4.3. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının toprak nem içeriğinin zamanla değişimi.....	52
Şekil 4.4. Birinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının toprak nem içeriğinin zamanla değişimi.....	53
Şekil 4.5. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının toprak nem içeriğinin zamanla değişimi.....	53
Şekil 4.6. İkinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının toprak nem içeriğinin zamanla değişimi.....	53

Şekil 4.7. Birinci yetiştirme mevsimi boyunca D25 konularının bitki boyu değerlerinin değişimi.....	57
Şekil 4.8. Birinci yetiştirme mevsimi boyunca D50 konularının bitki boyu değerlerinin değişimi.....	58
Şekil 4.9. İkinci yetiştirme mevsimi boyunca D25 konularının bitki boyu değerlerinin değişimi.....	58
Şekil 4.10. İkinci yetiştirme mevsimi boyunca D50 konularının bitki boyu değerlerinin değişimi.....	58
Şekil 4.11. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin zamanla değişimi	61
Şekil 4.12. Birinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin zamanla değişimi	62
Şekil 4.13. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin zamanla değişimi	62
Şekil 4.14. İkinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin zamanla değişimi	62
Şekil 4.15. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının stoma iletkenliği değerlerinin zamanla değişimi	65
Şekil 4.16. Birinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının stoma iletkenliği değerlerinin zamanla değişimi	65
Şekil 4.17. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının stoma iletkenliği değerlerinin zamanla değişimi	66
Şekil 4.18. İkinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının stoma iletkenliği değerlerinin zamanla değişimi	66
Şekil 4.19. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin zamanla değişimi.....	69
Şekil 4.20. Birinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin zamanla değişimi.....	69
Şekil 4.21. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin zamanla değişimi	70
Şekil 4.22. İkinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin zamanla değişimi	70
Şekil 4.23. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 ve D50 konularından elde edilen verim tepki etmeni (k_y).....	96

Şekil 4.24. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 ve D50 konularından elde edilen verim tepki etmeni (k_y).....	96
Şekil 4.25. Kalibrasyon aşamasında ölçülen ve tahmin edilen toprak su içeriklerinin değişimi.....	102
Şekil 4.26. Birinci yıl yapılan doğrulama aşamasında ölçülen ve tahmin edilen toprak su içeriğinin değişimi.....	104
Şekil 4.27. İkinci yıl yapılan doğrulama aşamasında ölçülen ve tahmin edilen toprak su içeriğinin değişimi.....	105
Şekil 4.28. (D25/50)1/2 S33, S66 ve S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki toprak su içeriği dağılımı.....	107
Şekil 4.29. Dönem boyunca, (D25/50)1/2 S33, S66 ve S100 konularının, su içeriği değişimleri.....	108
Şekil 4.30. a) (D25/50)1/2S33; b) (D25/50)1/2S66; c) (D25/50)1/2S100 konularında, sulamadan bir gün sonra toprak su içeriği dağılımı.....	109
Şekil 4.31. (D25//50) S33, S66 ve S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri.....	111
Şekil 4.32. Dönem boyunca (D25//50) S33, S66 ve S100 konularının su içeriği değişimleri.....	112
Şekil 4.33. a) (D25//50)S33; b) (D25//50)S66; c) (D25//50)S100 konularında, sulamadan bir gün sonra (sulama 50 cm lateral derinliğinde gerçekleştirildiği zaman) su içeriği değişimlerinin haritası.....	112
Şekil 4.34. a) (D25//50)S33; b) (D25//50)S66; c) (D25//50)S100 konularında, sulamadan bir gün sonra (sulama 25 cm lateral derinliğinde gerçekleştirildiği zaman) su içeriği değişimlerinin haritası.....	113
Şekil 4.35. D10S33, D10S66 ve D10S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan bir gün sonra 0-90 cm toprak derinliğindeki toprak su içeriğinin değişimleri.....	115
Şekil 4.36. Dönem boyunca D10S33, D10S66 ve D10S100 konularında, 0-90 cm derinliğinde toprak su içeriği değişimleri.....	116
Şekil 4.37. Sulamadan bir gün sonra, a) D10S33; b) D10S66; c) D10S100 konularında, toprak su içeriği dağılımı.....	116
Şekil 4.38. D20S33, D20S66 ve D20S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan bir gün sonra 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri.....	117

Şekil 4.39. Dönem boyunca D20S33, D20S66, D20S100 konularında, toprak su içeriği değişimleri	118
Şekil 4.40. Sulamadan bir gün sonra, a) D20S33; b) D20S66; c) D20S100 konularında toprak su içeriği dağılımı	118
Şekil 4.41. D30S33, D30S66 ve D30S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan sonraki gün 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri.....	120
Şekil 4.42. D30S33, D30S66, D30S100 konularında dönem boyunca su içeriği değişimleri.....	121
Şekil 4.43. Sulamadan bir gün sonra, a) D30S33; b) D30S66; c) D30S100 konularında toprak su içeriği dağılımı	121
Şekil 4.44. D40S33, D40S66 ve D40S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan bir gün sonra 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri.....	124
Şekil 4.45. Dönem boyunca, D40S33, D40S66, D40S100 konularında toprak su içeriği değişimleri	125
Şekil 4.46. Sulamadan bir gün sonra, a) D40S33; b) D40S66; c) D40S100 konularında toprak su içeriği dağılımı	125
Şekil 4.47. D50S33, D50S66 ve D50S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan bir gün sonra 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri.....	126
Şekil 4.48. Dönem boyunca, D50S33, D50S66, konularında su içeriği değişimler.....	127
Şekil 4.49. Sulamadan bir gün sonra, a) D50S33; b) D50S66; c) D50S100 konularında toprak su içeriği dağılımı	127
Şekil 4.50. D60S33, D60S66 ve D60S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri.....	129
Şekil 4.51. D60S33, D60S66, D60S100 konularında su içeriği değişimleri	130
Şekil 4.52. Sulamadan bir gün sonra, a) D60S33; b) D60S66; c) D60S100 konularında toprak su içeriği dağılımı	130

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Antalya iline ilişkin uzun yıllık ortalama iklim verileri	25
Çizelge 3.2. Deneme alanı toprağının fiziksel özellikleri.....	26
Çizelge 3.3. Deneme alanı toprağının kimyasal özellikleri	26
Çizelge 3.4. Denemede kullanılan sulama suyunun kimyasal özellikleri.....	26
Çizelge 3.5. Araştırma konuları	32
Çizelge 3.6. Sayısal ortamda oluşturulan senaryolar	48
Çizelge 4.1. Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularında uygulanan sulama suyu miktarları	54
Çizelge 4.2. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularına ait mevsimlik su bütçesi bileşenleri	56
Çizelge 4.3. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularına ait mevsimlik su bütçesi bileşenleri.....	56
Çizelge 4.4. Birinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin bitki boyu (m) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	59
Çizelge 4.5. İkinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin bitki boyu (m) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	60
Çizelge 4.6. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama klorofil indeks içeriği değerlerine (CCI) ilişkin istatistiksel analiz sonuçları	63
Çizelge 4.7. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama klorofil indeks içeriği değerlerine (CCI) ilişkin istatistiksel analiz sonuçları	64
Çizelge 4.8. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama stoma iletkenliği değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	67
Çizelge 4.9. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama stoma iletkenliği değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	68
Çizelge 4.10. Birinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaprak alan indeksi (YAI) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları	71

Çizelge 4.11. İkinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaprak alan indeksi (YAI) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları	71
Çizelge 4.12. Birinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaş ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	72
Çizelge 4.13. İkinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaş ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	73
Çizelge 4.14. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin kuru ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	75
Çizelge 4.15. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin kuru ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	75
Çizelge 4.16. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin başak ağırlığı (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	77
Çizelge 4.17. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin sap ağırlığı (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	77
Çizelge 4.18. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaprak ağırlığı (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	78
Çizelge 4.19. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin başak ağırlığı (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	78
Çizelge 4.20. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin sap ağırlığı (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	79
Çizelge 4.21. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaprak ağırlığı (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	79
Çizelge 4.22. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin özsu verimi (l da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	81

Çizelge 4.23. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin özsu verimi ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	81
Çizelge 4.24. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin briks değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	83
Çizelge 4.25. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin briks değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	83
Çizelge 4.26. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin biyoetanol verim ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	85
Çizelge 4.27. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin biyoetanol verim ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	86
Çizelge 4.28. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin şeker verimi ($kg\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	88
Çizelge 4.29. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin şeker verimi ($kg\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	88
Çizelge 4.30. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Glukoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	90
Çizelge 4.31. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Glukoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	90
Çizelge 4.32. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Fruktoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	91
Çizelge 4.33. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Fruktoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	91
Çizelge 4.34. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Sakkaroz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	92

Çizelge 4.35. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Sakkaroz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları.....	92
Çizelge 4.36. Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde sorgumun biyoetanol verimi için hesaplanan WUE_b ve $IWUE_b$ değerleri.....	94
Çizelge 4.37. HYDRUS programında D50S33 konusunda değiştirilen şekil parametreleri ve istatistiksel değerlendirmelerin karşılaştırılması.....	98
Çizelge 4.38. Kalibre edilen modelin farklı konular için doğrulama işlemlerine ilişkin istatistiksel değerlendirme parametreleri	103



1. GİRİŞ

Küresel ısınmanın etki ve nedenleri bölgesel anlamda farklılık gösterse de, olumsuz sonuçları günümüzde küresel bir sorun haline gelmiştir. CO₂, CH₄, N₂O, O₃, CFCs ve H₂O (karbondioksit, metan, azot oksit, ozon, kloroflorokarbon ve su buharı) gibi insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ve sera gazları olarak adlandırılan bu gazların atmosferde artması sonucunda, yeryüzü ve atmosferin alt bölümlerindeki sıcaklık artışı, küresel ısınma olarak tanımlanmaktadır (Houghton vd. 1990). İklim değişikliği ise, küresel ısınma sonucunda iklim öğelerinin karşılaştırabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal değişikliğine ek olarak doğrudan veya dolaylı olarak atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucu iklimde oluşan değişiklik olarak tanımlanmaktadır (Broecker 1975). Özellikle, fosil yakıtların kullanımı sırasında ısı tutucu gazların artması, küresel ısınmaya neden olan en önemli faktörlerden biridir (Wuebbles ve Jain, 2001).

Havada en çok ısı tutma özelliği olan ve sera gazları içerisinde en fazla miktara sahip olan CO₂ gazı emisyonunun iki katına çıkması halinde, küresel sıcaklığın 2.5-3°C artacağı tahmin edilmektedir (Bayraç, 2010). Bir ülkede, şehirde veya herhangi bir bölgede fosil yakıtlara bağlı karbon emisyonunun azaltılması, sonuçta tüm dünyanın sıcaklığını azaltacağından, her bir ülkede küresel ısınmanın önlenmesi için atılacak adımlar önem taşımaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğini önlemek amacıyla uluslararası düzeyde birçok anlaşma hazırlanmış ve protokol imzalanmıştır. Bunlardan en önemlisi, ülkemizin de içinde bulunduğu ve imzaladığımız Paris İklim Anlaşması'dır. Uzun dönemde anlaşmanın hedefi, sanayileşme öncesi döneme göre küresel ortalama sıcaklık artışının 2 °C'nin altında tutulması ve mümkünse 1.5 °C ile sınırlandırılmasına yönelik küresel çabaların sürdürülmesi olarak ifade edilmektedir.

2020 yılında 523.9 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak belirlenen toplam sera gazı emisyonumuzun 413.4 milyon tonu CO₂ emisyonundan kaynaklanmıştır. Ülkemizde atmosfere salınan CO₂, 2000 yılında 229.8 milyon ton CO₂ eşdeğeri iken, 2020 yılında 413.4 milyon tona yükselmiştir. Sadece bir yıl içerisinde toplam emisyondaki artış oranı %3.1 olarak belirlenirken, bu artışın %2.9'u CO₂ emisyonundan meydana gelmiştir. (TUİK, 2021). Artan sanayileşme, kentleşme ve nüfus ile büyüyen ulaşım ve taşımacılık sektörleri nedeniyle fosil yakıt kullanımının artması CO₂ emisyonlarının atmosferde artmasına neden olan en büyük etkidir. Toplam CO₂ emisyonlarının 2019 yılında %87.4'ü enerji sektöründen, %34.6'sı elektrik ve ısı üretiminden, %12.3'ü endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen, %0.3'ü ise tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanmıştır (TUİK, 2021). Kullanılan enerjinin %80'inden fazlası kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (IPPC 2021). Fosil yakıtların tükenbilir olması ve bu yakıtların neden olduğu küresel ısınma, bilim insanlarını farklı enerji kaynakları bulmaya ve buna bağlı olarak küresel ısınma ve iklim değişikliğini önleme arayışına yöneltmiştir.

Fosil yakıtlar, hidrokarbon ve yüksek oranlarda karbon içeren, ölen canlı organizmaların oksijensiz ortamda milyonlarca yıl çözülmesi ile oluşan enerji kaynaklarıdır. 2020 yılında dünyada birincil enerji kaynaklarının %31.2'si petrol, %27.2'si kömür, %24.7'si doğalgaz ve %5.7'si yenilenebilir enerjidir (IPPC, 2021). Birincil enerji kaynakları içerisinde en büyük paya sahip olan fosil yakıt petroldür (Looney, 2021). Dünya petrol rezervlerinin sınırlı ve yakın zamanda tükenecek olması, birçok ülkenin bu konuda dışa bağımlı olması, petrol fiyatlarındaki artış ve tüketiminin

küresel ısınma ve çevre kirliliğine neden olması yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde, biyoetanolün ön plana çıkmasına neden olmuştur (Goldemberg, 2007).

Biyoetanolün en önemli özelliklerinden biri, üretimi ve kullanımı sırasında ortaya çıkan karbondioksitin fotosentez yoluyla tekrar bitkiler tarafından kullanılması nedeniyle, yarattığı sera etkisine neden olan gaz emisyonunun çok düşük miktarlarda olmasıdır (Lal 2008). Biyoetanol benzine değişik oranlarda karıştırılarak veya direkt yakıt olarak kullanılabilen bir biyoyakıttır. Karıştırılma oranına göre E-2 (%2 biyoetanol+%98 benzin), E-10 (%10 biyoetanol, %90 benzin) ve E-85 (%85 biyoetanol, %15 benzin) birçok ülke tarafından kullanılan en yaygın uygulama şekilleridir (Bayram ve Turgut 2015). Dünya biyoyakıt üretimi 2020 yılında toplam 165 milyar litre olup bunun 118 milyar litresi biyoetanol, 47 milyar litresi ise biyodizeldir. 2020 yılında üretilen biyoetanolün 54.4 milyar litresi ABD’de, 30.6 milyar litresi Brezilya’da, 5 milyar litresi ise Avrupa Birliği ülkeleri tarafından üretilmiştir. Türkiye’de ise 2020 yılında, 131 milyon litre biyoetanol üretimi gerçekleştirilmiştir. 2030 yılında ise dünyada mevcut koşullarda biyoetanol üretiminin 132 milyar litre artacağı tahmin edilmektedir (OECD-FAO, 2021). Gelişmiş ülkeler seviyesinde biyoetanol üretim değerlerine ulaşabilmemiz için, daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır.

Ülkemizde, 27.09.2011 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan karara göre; piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerine, 1 Ocak 2013 tarihinden itibaren %2 (E-2) ve 1 Ocak 2014 tarihi itibarıyla de en az %3 (E-3) oranında yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyoetanol ilave edilmesi yasal zorunluluk haline getirilmiş olmasına rağmen bu konuda herhangi bir çalışma yapılmamıştır (EPDK, 2011). Türkiye’de yıllık ortalama benzin tüketimi 4.2 milyar litredir. Bir litre benzinden elde edilen enerji ile 1.65 litre biyoetanolden elde edilen enerji aynıdır. Türkiye’nin yıllık benzin tüketimini karşılamak için 6.93 milyar litre biyoetanol üretilmesi gerekmektedir. E-2 (%2 biyoetanol+%98 benzin) kullanım düzeyi için 8.4 milyon litre, E-3 için 12.6 milyon litre biyoetanol üretimine ihtiyaç vardır (Bengisu 2014; Bayram ve Turgut 2015). Mevcut durumda bu yasal zorunluluk uygulansa bile elde edilecek olan biyoetanol miktarı benzin tüketimimizi karşılayacak miktardan oldukça altındadır. Ülkemizde enerji konusunda dışa bağımlılığımızı azaltmak için karıştırılma oranlarını arttıracak yasal düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi için ise biyoetanol üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Biyoetanol üretiminin sürdürülebilir olması için kullanılacak hammaddenin seçimi önem taşımaktadır. Biyokütleden etanol (biyoetanol) üretimi, hem ham petrol tüketimini hem de çevre kirliliğini azaltmanın bir yoludur (Balat ve Balat, 2009). Biyoetanol moleküler bakımdan C_2H_5OH kapalı formülüne sahip, şeker pancarı, mısır, buğday, sorgum ve odunsular gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranlarda harmanlanarak kullanılan alternatif bir yakıttır (Canan ve Ceyhan 2016; Kannah vd. 2020). Biyoetanol üretimiyle ilgili en önemli sorun, üretim için hammaddelerin mevcudiyetidir. Biyoetanol için hammaddelerin mevcut durumu, mevsimden mevsime önemli ölçüde değişebilir olması ile beraber yetiştirildiği coğrafi bölgelerin iklim koşullarına da bağlıdır (Balat, 2010). Dünyada biyoetanol üretiminin en fazla gerçekleştiği ABD’de hammadde olarak mısır kullanılmaktadır. Biyoetanol üretiminde ikinci sırada olan Brezilya’da şeker kamışı, Avrupa’da ise buğday kullanılmaktadır (Melikoğlu ve Albostan 2011). Sorgum, biyoetanol üretimi için değerlendirilen bitkiler arasında birçok üstün özelliğinden dolayı

ön plana çıkmaktadır. Hızlı büyüme, yüksek şeker birikimi ve biyokütle üretim potansiyeline sahip olmasının yanı sıra, tatlı sorgum daha geniş bir adaptasyon kabiliyetine sahiptir. (Almodares vd. 1994; Almodares vd. 1996; Reddy vd. 2005; Almodares vd. 2009).

Mısır, şeker kamışı ve buğday bitkileri ile karşılaştırıldığı zaman, biyoetanol üretimi için sorgum bitkisinin daha uygun olduğunu destekler nitelikte birçok çalışma vardır. Biyoetanol üretimi için şeker kamışı ve mısıra göre sorgumun tuza ve kuraklığa karşı toleransı daha yüksek olup, gübre isteği daha azdır. Dolayısıyla, sorgumun üretim maliyeti bu iki bitkiye göre daha düşüktür. Sorguma 56 kg ha⁻¹'dan daha yüksek azot oranlarında gübre uygulandığı zaman kuru madde veriminin artmasına rağmen toplam şeker veriminin artmadığı buna bağlı olarak da etanol veriminin değişmediği birçok çalışmada doğrulanmıştır (Lueschen vd. 1991; Hunter 1994).

Ayrıca, aynı teorik etanol verimini elde edebilmek için gerekli azot miktarları karşılaştırıldığında, mısır, tane sorgum ve tatlı sorgum için sırasıyla 190, 140 ve yaklaşık 90 kg N ha⁻¹ gereklidir (Wiedenfeld 1984). Sorgumdan yaklaşık olarak hektar başına 5.400 litre biyoetanol elde edilirken iken, mısırdan elde edilen 2.874 litredir. Sorgumdan elde edilen biyoetanol mısırdan elde edilenin 1.9 katı kadar daha fazladır. Sorgum ve şeker kamışı karşılaştırıldığı zaman, hektar başına elde edilen biyoetanol miktarı aynıdır (5400 lt ha⁻¹). Ancak, şeker kamışı tuza dayanıklı bir bitki değildir. Öte yandan, tatlı sorgum sapındaki yüksek fermente edilebilir şeker içeriği, etanole fermentasyon için daha uygun olmasını sağlamaktadır (Almodares vd. 2009). Ayrıca, sorgumun büyüme mevsimi (3-5 ay), şeker kamışından (12 ay) daha kısadır (Davila-Gomez vd. 2011). Almodares vd. (2009), tatlı sorgumun dört aylık ürün döngüsü boyunca 12000 m³ su tükettiğini, şeker kamışının ise 9 ayda 36000 m³ su tükettiğini belirlemişlerdir. Buğdaydan elde edilen etanol verimi ise, 2854 lt ha⁻¹ olup, sorgumdan elde edilen etanolden 1.9 kat daha azdır (El Bassam 2010). Buna rağmen buğdayın üretim maliyeti yaklaşık olarak iki kat daha fazladır (Grassi 2000). Mısır, şeker kamışı, buğday ve sorgumdan elde edilen şeker verimleri sırası ile 4.49, 8.0, 4.46, 9.0 t ha⁻¹ olup en yüksek şeker verimine sahip bitki sorgumdur. Tatlı sorgum, yetiştirme mevsimi boyunca yaklaşık olarak 45 t ha⁻¹ CO₂ soğurumu gerçekleştirir ve bunun yaklaşık olarak 1.5 t ha⁻¹'ını (%4'ünü) solunum yolu ile atmosfere geri verir, 35 t ha⁻¹'ı kullanımı için açığa çıkar ve 8.5 t/ha'ı ise dönüşümü için harcanır. Dolayısı ile tatlı sorgum bitkisinin toplam CO₂ dengesi sıfır olur (Reddy vd. 2008). Fosil yakıtların kullanımı sırasında açığa çıkan CO₂ emisyonlarının tetiklediği küresel ısınma problemleri göz önüne alındığında, sorgum bitkisinin biyoyakıt amacı ile kullanımı sorunların büyük ölçüde azaltılmasını sağlayacaktır.

Dünyada, sorgum üretimi yapan en önemli ülkeler, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği ülkeleri, Çin ve Brezilyadır. 2020 yılında sorgum üretim miktarları incelendiğinde en fazla üretim yapan ülke 94736057 ton ile Amerika Birleşik Devletleri'dir. Çin ise 35520504 ton ile ikinci sırada yer almaktadır. Çin'den sonra, Brezilya 27692718 ton ile üçüncü sırada yer almıştır. Avrupa ülkelerinde ise toplam 11322070 ton sorgum üretimi gerçekleşmiştir (Faostat 2022). 2020 yılında, sorgum üretimi yapan ülkelerin üretim alanları incelendiğinde yine en fazla üretim alanı 2061900 ha ile Amerika Birleşik Devletleridir. 2020 yılında sorgum üretiminde üçüncü sırada yer alan Brezilya, 879106 ha ile ikinci sıradadır. Çin 731778 ha üretim alanı ile üçüncü sırada yer alırken, Avrupa Birliği ülkeleri 217260 ha ile son sırada yer almaktadır. 2020 yılında ise Türkiye'de 50 ton sorgum üretimi gerçekleşirken, 1 ha'lık alanda sorgum üretimi

yapıldığı belirlenmiştir (Faostat 2022). Sorgum üretimi yapan ülkelerle karşılaştırıldığı zaman, Türkiye’de belirlenen sorgum üretim miktarı ve alanının oldukça az olduğu görülmektedir. Türkiye sorgum üretimi açısından, güneşlenme ve su kaynakları, iklim koşulları, alan kullanılabilirliği gibi özelliklerin uygun olduğu bir ülkedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, 5 milyon hektar alana, tatlı sorgum ekilmesiyle elde edilecek enerji miktarı, yaklaşık 80 milyon ton eşdeğer petrol olarak hesaplanmıştır (Öztürk, 2012). Bu miktar ise Türkiye’nin şu an mevcut enerji tüketimi ile eşdeğerdir. Türkiye’de yaklaşık 25 milyon hektar ekilebilir alan olduğu düşünülürse bu alanın sadece 5’te 1’inde sorgum üretilmesi durumunda, yıllık enerji ihtiyacımızın önemli bir bölümü karşılanabilecektir. Sorgum bitkisinin verim ve kalitenin artırılması yönünde yapılacak olan çalışmalar enerji üretimine katkıda bulunacağı gibi aynı zamanda tarımsal üretimi de etkileyecektir. Verim ve kaliteyi artırmak için sulama, gübreleme, iyi tohumluk, ilaçlama gibi girdilerin optimum düzeyde kullanılması gerekmektedir. Bu girdiler arasında özellikle sulama, diğer tarımsal girdilerin etkinliğini artıran ve tarımsal üretimde kararlılığı sağlayan en önemli uygulama olarak görülmektedir.

Su kaynaklarının yönetiminde en önemli unsur tarımsal sulamadır. Teknik ve ekonomik anlamda kullanılabilecek su miktarımız 112 milyar m³ olup bunun 57 milyar m³’ü kullanılmaktadır. Kullanılan suyun, 13 milyar m³’ü içme-kullanma ve sanayi sektörlerinde, 44 milyar m³’ü ise tarımsal sulama amacı ile kullanılmaktadır. Tarımda kullanılan su, mevcut su potansiyeli olan 112 milyar m³’ün %49’una, kullanılan suyun ise %77’sine tekabül etmektedir (DSİ 2022). Tarımsal amaçlı kullanımda yapılacak su tasarrufu, su kullanımında en fazla paya sahip olmasından dolayı oldukça önemlidir. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1652 m³, 2009 yılında 1544 m³, 2020 yılında ise 1346 m³ olmuştur. Ülkemiz, kişi başına kullanılabilir su potansiyeline göre değerlendirildiği zaman, su fakiri olmamakla beraber su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Ayrıca, TÜİK, 2040 yılında nüfusumuzun 100 milyon 331 bin kişiye ulaşacağını tahmin etmektedir. Bu durumda ülkemizin su sıkıntısı yaşayan ülke konumundan su fakiri konumuna gelmesi kaçınılmazdır.

Sulama yöntemleri içerisinde, üniform su kullanımı, yüksek randıman, sulama suyu tasarrufu ve işletme kolaylığı bakımından damla sulama yöntemi ön plana çıkmaktadır. Sulama etkinliği (randımanı) yaklaşık olarak, yağmurlama sulama yönteminde %60-70, damla sulamada %80-90 arasındadır (James, 1988). Damla sulama yöntemi ile tarımda kullanılan suyun büyük bir kısmı tasarruf edilebilir. Damla sulama yöntemi teknolojinin gelişmesi ile sürekli bir değişim içerisinde. Damla sulama yönteminin uygulama şekillerinden birisi olan toprak altı damla sulama yöntemi genel bir ifadeyle, suyun nokta veya çizgi kaynaklı damlatıcılar aracılığı ile toprak yüzeyinin hemen altına verildiği yöntem olarak tanımlanır. (Kanber, 2002).

Toprak altı damla sulama sisteminde lateraller toprak altına gömülü olduğundan sulama suyu direkt olarak kök bölgesine uygulanmaktadır. Bu nedenle, bu yöntemle buharlaşma kaybı olmamaktadır. Toprak yüzeyinde buharlaşma olmadığından toplam sulama suyu gereksinimi azalmaktadır (Ayars vd. 1999). Bu sulama yöntemiyle sulanan alanların toprak yüzeyleri ıslatılmadığından kültürel işlemler rahatlıkla yapılabilen ve mevcut su ile daha fazla alan sulanabilmektedir. Toprak altı damla sulama yöntemi, su tasarrufunun yanında, su ve bitki besin maddesinin daha randımanlı uygulanmasını sağlar ve bu da bitkinin verim ve gelişiminin artmasına neden olur (Camp vd. 2000).

Toprak altı damla sulama yöntemi uygulamaları son yıllarda önem kazandığı için yöntemin sistem özellikleri ve bu özelliklerin parsel bazında bitkinin verimine ve su kullanımına olan katkısı incelenmeli, avantajları ve dezavantajlarını belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Nispeten yeni bir yöntem olduğu için, özellikle toprak altındaki infiltrasyon sürecinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunun için özellikle farklı lateral derinliklerinin bitki ve toprak nemi üzerindeki etkileri değerlendirilmelidir. Toprak altı damla sulama yönteminde lateral derinliklerinin incelendiği çalışmalar oldukça azdır. Sorgum bitkisinin verim ve kalitesini arttıracak önemli uygulamalardan biri olarak görülen toprak altı damla sulama ile ilgili çalışmalar sınırlı, farklı lateral derinliklerinin değerlendirildiği çalışmalar ise yok denecek kadar azdır. Sorgum bitkisinin verim ve kalitesini arttırmaya yönelik olarak yapılacak olan toprak altı damla sulama yöntemi çalışmaları enerji üretimine katkıda bulunacağı gibi, tarımsal üretimi de olumlu yönde etkileyecektir. Aynı zamanda da su kaynaklarının optimizasyonuna katkı sağlayacaktır.

Toprak altı damla sulama sisteminde, gömülü damlatıcı etrafındaki infiltrasyon sürecinin daha iyi bilinmesi su kullanım verimliliğinin artmasına ve dolayısıyla bu sistemin başarısına katkıda bulunabilir. Ayrıca, böyle bir sistemin uygun tasarımı ve yönetimi lateral aralığı, lateral derinliği, sulama süresi ve zamanın uygun bir kombinasyonunu gerektirir. Uygulamada bu kombinasyonu farklı iklim ve toprak koşullarında gerçekleştirmek hem zaman alıcı hem de yüksek bir maliyet gerektirir. Bu amaç için, sayısal modeller, toprak altı damla sulama yönetim stratejilerini (sulama süresini ve zamanını ayarlamak, uygun lateral derinliği ve aralığını belirlemek gibi) farklı iklim, bitki ve toprak koşullarında araştırmak ve su kullanım verimliliğini optimize etmek amacıyla kullanılabilen güçlü araçlardır. HYDRUS/2D benzeri simülasyon programları ile en uygun toprak altı damla sulama stratejilerinin yanı sıra optimum sistem tasarımının, farklı bitki, iklim ve toprak koşullarında toprak nemine olan etkileri deneme yapılmaksızın belirlenebilir.

Tarımda verimin ve üretim miktarının artırılabilmesi için bitkilerin yetiştirme koşullarını etkileyen faktörlerin etkilerinin belirlenmesi gerekir. Bu faktörlerin en önemlilerinden biri toprak nemidir. Bitkinin verim ve gelişiminin istenen düzeyde olması için toprak nemi belirli bir düzeyde olmalıdır. Toprak neminin yersel ve zamansal değişiminin bilinmesiyle hem su kaynaklarımız daha verimli olarak kullanılabilir hem de bitkinin verim düzeyi artırılabilir. Toprak nemi; gravimetrik yöntem, nötron prob yöntemi, tansiyometre ve elektriksel direnç blokları gibi farklı yöntemlerle belirlenebilir. Bu yöntemlerden gravimetrik yöntemle toprak neminin belirlenmesi uzun zaman almakta ve fazla işgücüne gereksinim duyulmaktadır. Elektromanyetik sensörler (algılayıcılar) ise son yıllarda toprak neminin belirlenmesi ve izlenmesinde kullanılan yeni bir yöntemdir. Toprak nem sensörlerinin, toprağın yüzeyine yakın kısımlarında da doğru ölçümler yapılabilmesi, toprak neminin anlık olarak izlenmesi, çok az veya hiç bakım istememesi, tüm yıl boyunca toprak içerisinde kalabilmesi, son yıllarda maliyetlerinin azalması, bitkinin optimum gelişimi için verilmesi gereken su miktarının hesaplanmasında diğer yöntemlere göre olan kolaylığı gibi nedenlerle sulama uygulamalarında kullanımı artmıştır (Topp 2003; Demirel 2014). Elektromanyetik algılayıcılar ile toprak içerisindeki nem değişiminin ve su akışının belirlenmesi, kolay olmasına rağmen, her toprak bünyesi için kalibre edilmesi gibi zorlukları bulunmakta ve maliyetli olmaktadır. Ancak, toprak su hareketinin simülasyon modellerinin kullanımı ile belirlenmesi pahalı olmayan bir

yöntemdir. Bu amaçla, bilgisayar modelleri topraklarda su hareketini tahmin etmek için etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Simunek vd. 1999; Anlauf vd. 2012).

Toprak ve yer altı sularında; su, besin elementi, kimyasal elementlerin taşınımının modellenmesi ile ilgili birçok program bulunmaktadır. HYDRUS yazılım programları toprak içerisindeki su akışı ve çözünmüş madde taşınımı konusunda en çok kullanılan modeller arasındadır (Simunek vd. 2008). Üç farklı HYDRUS (HYDRUS-1D (Simunek vd. 1998), HYDRUS/2D (Simunek vd. 1999), HYDRUS-2D/3D yazılım paketi bulunmaktadır. Her üç yazılım da temel olarak benzer çalışma prensibine sahip olmasına rağmen, HYDRUS-1D; lizimetre, toprak profili ve parsellerde tek boyutlu problemleri, HYDRUS/2D; laboratuvar ve arazi ölçekli çalışmalarda karşılaşılan iki veya üç boyutlu problemlerin, HYDRUS-2D/3D ise, iki ve üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Simunek vd. 2008). HYDRUS/2D modelleme programı kullanılarak toprak içerisinde su, besin elementi ve sıcaklık hareketi iki boyutlu olarak belirlenebilmektedir (Simunek vd. 1999). Toprak içerisinde su hareketinin belirlenmesi, belirli bir toprak suyu basıncındaki ölçülen ve tahmin edilen hacimsel su içeriği arasındaki farkın azaltılması esasına dayanmaktadır (Büyüktaş ve Havgören 2005). Toprak nem sensörleri veya gravimetrik yöntemle belirlenen toprak nem değerleri, programda belirli girdi parametreleri kullanılarak tahmin edilen nem değerleri ile grafiklenerek kalibre edilir. Daha sonra ölçülen verilerin bir kısmı da doğrulama aşamasında kullanılır. Vrugt vd. (2001) ve Simunek vd. (2012), model kalibrasyonunu, girdi parametrelerini (toprağın hidrolik özellikleri, kök bölgesindeki su dağılımı vb.), simüle edilen model sonuçları ve gözlemlenen veya ölçülen sonuç değerleri (toprak su içeriği) eşleşene kadar makul aralıklarda ve belirli başlangıç ve sınır koşullarında değiştirilme işlemi olarak tanımlamışlardır. Model kalibrasyonu bazı girdi parametrelerinin eksik veya bağımsız olarak ölçüldüğü zaman ve ölçülen ile modelde tahmin edilen sonuçlar arasındaki regresyon ilişkisi düşük çıktığı zaman yapılmalıdır. Regresyon katsayısı bir veya bu değere yakın çıktığı zaman yapılmasına gerek yoktur. Kalibrasyon işleminde iki adım vardır. İlk adım, modelin kalibre edilmesi ve gerekli tüm girdi parametrelerinin tahmin edilmesi için mevcut verilerin kullanılmasını içerirken, ikinci adım olan doğrulama işlemi, ilk işlemde bulunan kalibre edilmiş parametrelerin tahminlerini kullanarak simüle edilen ve ölçülen veri çıktılarını karşılaştırır (Simunek ve Vos 1999). İkinci süreçte, model kalibrasyonunun başarısını, model cevaplarının kabul edilebilir doğruluk sınırları içinde olup olmadığı belirlemektedir (Simunek ve Vos 1999).

Bu çalışmada, artan sanayileşme, kentleşme ve nüfus baskısı sonucu oluşan enerji gereksiniminin, güvenli ve kaliteli bir şekilde mevcut toprak ve su kaynaklarımızı kullanarak yerli ve yenilenebilir kaynaklardan nasıl karşılanabileceğini ortaya koymak için, biyoetanol amaçlı üretimi ülkemizde gittikçe artmaya başlayan sorgum bitkisinin toprak altı damla sulama yöntemi ile sulanması durumunda, farklı lateral derinliği ve sulama suyu düzeylerinin biyoetanol verim ve kalite unsurlarına etkilerinin, ayrıca tarla koşullarında kalibrasyonu ve doğrulaması yapılarak kullanılan HYDRUS/2D modeli aracılığıyla, farklı lateral derinlikleri ve su uygulama stratejilerinin toprak profilindeki nem dağılımına etkilerinin sayısal ortamda belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Sulama Uygulamalarının Biyoetanol Verimi ile Bitki Gelişim Parametrelerine Etkileri ve Sorgum Bitkisinde Yapılan Damla Sulama ve Toprak altı Damla Sulama Çalışmaları

Yağışların ağırlıklı olarak kış aylarında gerçekleştiği Akdeniz bölgesinde, su özellikle sorgum gibi yaz bitkileri için bitki verimini sınırlayan faktördür. Sorgum bitkisinde uygun sulama zamanı ve miktarı bitki gelişimi ve verim parametreleri için oldukça önemlidir. Toprakta su açığındaki artışın bir sonucu olarak büyüme ve kuru madde birikiminde belirgin bir azalma gerçekleşir (Garofalo ve Rinaldi 2013).

Turner (1974), topraktaki su eksikliğinin stoma iletkenliğini, terlemeyi, fotosentez hızını ve kuru madde birikimini azalttığını vurgulamıştır. Ayrıca Rosenthal vd. (1987), yaprak alanı, gövde yüksekliği ve biyokütle üretimi gibi bazı ürün değişkenleri üzerinde toprak suyunun azalmasıyla birlikte olumsuz etkiler görüldüğünü bildirmişlerdir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle su kaynaklarında azalma meydana gelmesi, kurak ve yarı kurak bölgelerde, tarıma ayrılan suyun kullanım verimliliğini artırmak için tarımsal üretimde kısıntılı sulama kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Kısıntılı sulama ile su kaynaklarının optimizasyonuna katkı sağlanırken, bitki için en uygun sulama suyu miktarı da belirlenebilir. Bitkiler, ihtiyaç duyduğu su miktarından fazlası uygulandığı zaman da su stresine maruz kalırlar. Kısıntılı sulama, belirli bir büyüme periyodu boyunca veya tüm büyüme mevsimi boyunca, bitkilerin veriminde önemli bir azalma olmaksızın, belirli seviyelerde su stresine maruz bırakıldığı bir uygulama olarak kabul edilmektedir. Kısıntılı sulamanın temel amacı, verim üzerinde çok az etkisi olan sulamaları ortadan kaldırarak bitki su kullanım randımanını (WUE) arttırmaktır. Kısıntılı sulamada, elde edilen su tasarrufu ile başka bitkilerin sulanması sonucu elde edilecek fayda, kısıntılı sulama uygulaması sonucunda meydana gelen verim kaybından fazladır (Kirda 2002; Kanber vd. 2010). Kısıntılı bir sulama programı uygulamadan önce, su stresine karşı verim tepki etmenini (k_y) bilmek gerekir. Verim tepki etmenini (k_y), bitkinin su stresine karşı hassas olup olmadığının bir göstergesidir (Kirda 2002). Verim tepki etmeni yüksek olan bitkilerde kısıntılı sulamanın olumsuz bir etkisi olabilir. Kısıntılı sulama için en uygun bitki veya bitki çeşitleri, kısa büyüme mevsimi olan ve kuraklığa toleranslı olanlardır (Stewart ve Musick 1982). Sorgum bitkisinin büyüme mevsiminin kısa olması ve kuraklığa karşı dirençli olması kısıntılı sulamanın uygulanabileceğinin bir göstergesidir.

Verim tepki etmeninin (k_y) 1'den büyük olması, bitkinin su stresine çok duyarlı olduğu, 1'den küçük olması ise, su stresine toleranslı olduğu anlamına gelmektedir (Smith ve Steduto 2012). FAO (2012), sorgum için k_y değerini 0.90 olarak belirlemiştir. Manyathi (2014), sorgumda verim tepki etmeninin çeşitlere göre değişebileceğini vurgulamışlar ve Macia ve PAN8816 çeşitleri için verim tepki etmenini 0.70, Ujiba çeşidi için 1.20 olarak hesaplamıştır. Ayrıca, araştırmacı, tüm çeşitler için vejetatif dönemde k_y değerini 1'den küçük, su stresine en az duyarlı dönemi vejetatif dönem olarak belirlemişlerdir. Wani (2012), sorgum bitkisinde k_y değerini 0.90 olarak belirlemiştir. Aydınsakir vd. (2021), Antalya bölgesinde, sorgum için k_y değerinin 0.77-0.82 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Allamine (2021), Antalya koşullarında dane sorgum bitkisinin k_y değerini 0.72 olarak belirlemiştir. Sorgum bitkisi için hesaplanan k_y değeri genellikle

1'den düşüktür. Bununla beraber bu değer, farklı sorgum çeşitlerine, yetiştirildiği bölgenin iklim özelliklerine göre değişmektedir. Ülkemizde Akdeniz bölgesinde, sorgum bitkisi için hesaplanan ky değerleri göz önüne alındığında, kısıntılı sulama çalışmalarının sorgum bitkisi için uygun olduğu görülmektedir. Dünyada yapılan birçok çalışmada, sorgum bitkisinde farklı sulama yöntemlerinde kısıntılı sulamanın bitkinin verim ve gelişimine olan etkileri ve sulama suyunda önemli tasarrufların mümkün olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Dündar ve Ünlü (2019), Adana koşullarında damla sulama yöntemini kullanarak uyguladıkları farklı sulama suyu düzeylerinin (sırasıyla %100, 75, 50 ve 25 oranında sulama uygulanan I1, I2, I3 ve I4 konuları) sorgum bitkisinin verim parametrelerine olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, farklı sulama konulardan elde edilen kuru ot, özsü, şeker ve biyoetanol verimlerinin sırasıyla, 3661.8 - 6007.4 kg da⁻¹, 2310 - 3997 l da⁻¹, 354 - 612 kg da⁻¹, 189 - 326 l da⁻¹ değerleri arasında değiştiğini, en yüksek kuru ot, özsü, şeker ve biyoetanol veriminin tam sulama konusundan (I1) elde edildiğini, I3 ve I4 konuları arasında ise istatistiksel olarak bir farklılık olmadığını saptamışlardır. Ayrıca farklı sulama suyu seviyelerinin verim parametreleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu buna karşı, briks değerlerinin farklı sulama suyu seviyelerinden etkilenmediğini açıklayan araştırmacılar, tam sulama konusuna uygulanan sulama suyundan %50 kısıntı yapılması durumunda sorgum bitkisinin kuru madde veriminde %39'luk, etanol, şeker ve özsü verimlerinde %42'lik bir azalmanın meydana geldiğini saptamışlardır.

Liu vd. (2013), sorgum bitkisinde beş farklı sulama seviyesinin (76.2 ve 304.8 mm arasında değişen) biyoetanol verimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, sulama seviyelerinin biyoetanol verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu, uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça biyoetanol veriminin arttığını belirtmişlerdir. En az sulanan sorgum bitkilerinden (kg sorgum başına 434,52 ml etanol) en fazla sulananlara göre (kg sorgum başına 473,32 ml etanol), yaklaşık %8.9 daha az biyoetanol verimi elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Su stresinin etkisinin büyüklüğü, sorgum çeşitlerinin fizyolojik ve morfolojik özelliklerinin doğasına göre değişebilir. Tatlı sorgumun fizyolojisi, kuraklığa uyum mekanizmalarında temel bir rol oynayabilecek olan gövdelerde büyük miktarda şeker birikmesi nedeniyle, dane ve lif sorgum çeşitlerinden farklıdır (Massacci vd. 1996; Zegada vd. 2011). Tane sorgumun kuraklığa adaptasyonunun fenolojik, morfolojik ve fizyolojik mekanizmaları genel olarak iyi anlaşılmış olsa da, yeni geliştirilen tatlı sorgum genotiplerinin su eksikliklerine, özellikle kök seviyesindeki tepkileri ve biyoetanol verimine olan etkileri hakkında çok az şey bilinmektedir (Zegada vd. 2011). Dalla Marta vd. (2014), sorgum bitkisinin en önemli özelliklerinden birinin geniş çapta yayılan ve dallanan bir kök sistemine sahip olmasını belirtmektedir. Bununla birlikte, özellikle yeni geliştirilen tatlı sorgum genotipleri için, su stresine tepki olarak kök çoğalması ve işleyişi net değildir. Aslında, literatürde su stresi koşulları altında sorgumun yüksek su kullanım randımanını (WUE) açıklamanın nedenlerinden biri olarak, kök sisteminin diğer bitkilere kıyasla toprağa daha hızlı, daha yoğun ve daha derine nüfuz etme kapasitesinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı bildirilmektedir (Squire 1990; Xie ve Su 2012). Daha önce yapılan çalışmalarda, su stresinin artması durumunda sabit bir WUE gerçekleştiği ve bitki gelişiminin geç aşamasında uygulanan bir su stresinin WUE üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir (Curt vd. 1995; Mastroilli vd. 1999). Bununla beraber, tartışılan sonuçlar, sorgumun WUE'sinin orta derecede su stresi altında arttığı ve bitkinin

yarı kurak koşullarda diğer C4 bitkilerine kıyasla suyu daha verimli kullanma kapasitesine sahip olduğu yönündedir. Bu çalışmaların aksine, sorgum bitkisinde su stresi arttıkça, WUE değerinin azaldığı belirlenen birçok çalışma da mevcuttur. Su stresi koşullarında biyokütle için hesaplanan WUE değerinin arttığı, azaldığı veya değişmediği yönünde birçok çalışma olsa da, literatürde net bir sonuca ulaşılammıştır. Biyoetanol için hesaplanan WUE değeri ile ilgili yapılan çalışmalar ise sınırlıdır. Sorgum bitkisinin su stresi koşulları altında, biyoetanol üretimi için WUE değerine olan etkilerinin anlaşılması, sınırlı su kaynağına sahip olan bölgelerde, sorgum bitkisinin yeni bir potansiyel enerji bitkisi olarak kuraklık direncini ve üretkenliğini daha da geliştirmek için faydalı olacaktır.

Dalla Marta vd. (2014), sorgum bitkisinde su stresinin biyoetanol verimine etkisini araştırmışlardır. Kullanılabilir su tutma kapasitesinin %100'ünü (H1), %75' ini (M1) ve %50'sini (L1) uyguladıkları üç farklı sulama suyu seviyesinde ve iki farklı hasat zamanında sorgum bitkisinden elde ettikleri verim parametreleri, briks ve su kullanım verimliliği (WUE) değerlerini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, ekim gününden sonra geçen 130. günde ve 169. günde olmak üzere iki farklı dönemde hasat ettikleri sorgum bitkilerinden farklı sulama konularına göre belirledikleri biyoetanol veriminin ilk hasat döneminde 1824-3164 l ha⁻¹ arasında, ikinci hasat döneminde ise 1564-3074 l ha⁻¹ arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, tatlı sorgum için en iyi hasat zamanının çiçeklenmeden hemen sonra olduğunu, birinci hasat döneminde elde ettikleri biyoetanol, yaş ot ve şeker veriminin ayrıca şeker verim değerlerini kullanarak hesapladıkları WUE değerlerinin de daha yüksek olduğunu saptamışlardır. İlk hasat döneminde elde edilen verim parametreleri incelendiğinde, yaş ot verim değerlerinin 106.87-168.79 g bitki⁻¹, kuru ot verim değerlerinin 19.34-33.51 g bitki⁻¹ arasında değiştiğini ve su stresi arttıkça yaş ot ve kuru ot verim değerlerinin de azaldığını belirlemişlerdir. Bununla beraber, farklı sulama seviyelerinde oluşturdukları konuları değerlendirdikleri zaman, H1 ve M1 konularından elde ettikleri biyoetanol verimleri arasında farklılık olmadığını, M1 konusunda ise 0.0001 önem seviyesinde daha az biyoetanol verimi elde ettiklerini açıklamışlardır. Çalışmadan elde edilen şeker verimlerinin 7.07-12.26 g bitki⁻¹ arasında, şeker verim değerleri kullanarak hesapladıkları WUE değerlerinin 0.74-0.89 g l⁻¹ arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, H1 ve M1 konularından elde ettikleri şeker verim değerleri arasında farklılık olmadığını, L1 konusundan ise 0.0001 önem seviyesinde daha az şeker verimi elde ettiklerini ifade ederken, üç farklı konu için şeker verim değerlerine göre hesaplanan WUE değerleri arasında bir farklılık elde etmediklerini açıklamışlardır. Araştırmacılar ayrıca, farklı sulama konularından elde ettikleri briks değerleri arasında bir farklılık belirlemediklerini, elde ettikleri briks değerlerinin %14.26-14.36 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Zegada vd. (2011), damla sulama yöntemini kullanarak, su stresinin şeker sorgum ve mısır bitkisinin büyüme ve gelişme özellikleri üzerine olan etkilerini karşılaştırmak amacıyla çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, 3-4 günde bir tarla kapasitesinin %25 (stresiz konu) ve %12'si (stresli konu) kadar sulama suyu uyguladıkları iki farklı sulama konusu belirlemişlerdir. Kurak koşullarda, sorgum bitkisinde biyokütle üretim potansiyeli yaklaşık %38 azalırken, mısırdaki %47'lik bir azalma belirlediklerini, WUE (biyokütle için hesaplanan) değerlerinde ise kurak koşullarda sorgum bitkisinin WUE değerinin %20 oranında arttığını, mısırdaki ise %5 oranında bir azalma olduğunu belirlemişlerdir. Kurak koşullarda, mısır bitkisinin aksine, sorgumda kök uzunluğu ve

yoğunluğunun bununla beraber su tutma kapasitesinin arttığını ve bunun WUE değerini arttıracak bir etmen olabileceğini bildirmişlerdir.

Mastrorilli vd. (2011), Akdeniz iklimi koşullarında farklı çeşitlerin ve su stresinin kuru ot verimi ve kuru ot verim değerlerini kullanarak hesapladıkları WUE değerleri üzerinde olan etkilerini belirlemek amacı ile çalışma yapmışlardır. Biomass 133 ve Sucro 506 olmak üzere iki farklı sorgum çeşidinde, ET değerinin tamamını uyguladıkları tam sulama konusu ve tam sulamanın %50'sini uyguladıkları stresli konu olmak üzere iki farklı sulama konusu oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, Biomass 133 çeşidinde elde ettikleri kuru ot veriminin 12-20 ton ha⁻¹ arasında, Sucro 506 çeşidinde ise 12-17 ton ha⁻¹ arasında değiştiğini, her iki çeşitte de tam sulama konusundan daha fazla kuru ot verimi elde ettiklerini bildirmişlerdir. Bununla beraber, Biomass 133 ve Sucro 506 çeşidinde elde ettikleri WUE değerlerinin sırasıyla, 3.6-4.6 kg m⁻³ ve 3.6-3.9 kg m⁻³ arasında değiştiğini ve su stresinin sorgum bitkisinde su kullanım randımanını azalttığı sonucuna varmışlardır. Araştırmacılar sorgum bitkisinde su stresinin yanında, kullanılan çeşidin de kuru ot verimi ve su kullanım randımanını etkilediğini bildirmişlerdir.

Xie ve Su (2012), farklı sulama suyu düzeylerinin (NW, tarla kapasitesi (TK) değerinin %70'inin uygulandığı normal konu; MD, TK değerinin %50'sinin uygulandığı orta stresli konu ve SD, TK değerinin %30'unun uygulandığı şiddetli su stresi konusu) sorgum bitkisinin biyokütle ve WUE değerlerine olan etkisini inceledikleri çalışmalarında en yüksek biyokütle verimini MD konusunda, en düşük biyokütle verimini ise SD uygulamasında elde ettiklerini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, NW konusu ile karşılaştırıldığında, MD konusunda, fotosentez ve biyokütle veriminde önemli bir azalma olmadığını, aynı zamanda WUE'nin önemli ölçüde arttığını bildirirken aşırı yüksek veya düşük toprak neminin, tatlı sorgumun WUE ve biyokütle verimini önemli ölçüde arttırmadığını ve tatlı sorgum bitkisinde uygulanacak su kısıtı ile önemli düzeyde su tasarrufu yapılabileceğini bildirmişlerdir.

Amaducci vd. (2016), 2006-2010 yılları arasında damla sulama yöntemi ile uygulanan farklı sulama seviyelerinin (I0, sulanmayan konu; I1, ET değerinin %17-52'sinin uygulandığı konu; I2, ET değerinin %28-%59'unun uygulandığı konu) sorgum bitkisinin WUE değerleri üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, I0, I1, I2 konularının 5 yıl sonunda ortalama WUE değerlerini sırası ile, 55.5, 51, 52.4 kg mm⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Sorgum WUE değerlerinin sulama seviyelerinden önemli ölçüde etkilenmediğini ve en düşük yağışın gerçekleştiği yıl, en yüksek WUE değerlerini elde ettiklerini bildirmişlerdir. Ayrıca, su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde enerji bitkisi olarak mısır yerine sorgum kullanmanın, önemli ölçüde su tasarrufu sağlayacağını vurgulamışlardır.

Garofalo ve Rinaldi (2013), Akdeniz koşullarında sorgum bitkisinde üç yıl süre ile (2008, 2009 ve 2010) dört farklı sulama seviyesinde oluşturdukları sulama konularında hesapladıkları WUE ve IWUE (sulama suyu kullanım etkinliği) değerlerini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, I-100 tam sulama konusunu, Penman-Monteith yöntemi ile hesaplanan bitki su tüketimi değeri (ETc) 60 mm'ye ulaştığında azalan miktar kadar sulama suyu uygulayarak belirlemişlerdir. Tam sulama konusuna verilen suyun %125'i, %75'i ve %50'sini sırasıyla, I-125, I75 ve I-50 konularına uygulamışlardır. Araştırmacılar, 2008 ve 2009 yılında farklı sulama suyu seviyelerinin WUE değerlerini etkilemediğini, 2010 yılında ise en yüksek WUE değerini I-125 ve I-100 konularında elde

ettiklerini ve bu iki konu arasında istatistiksel anlamda bir farklılık belirlemediklerini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, hesapladıkları WUE değerlerinin 4.00-8.49 kg m⁻³ arasında değiştiğini açıklamışlardır. Araştırmacılar ayrıca, farklı sulama konuları için hesaplanan IWUE değerlerini karşılaştırdıkları zaman, 2008 ve 2010 yılında en yüksek IWUE değerini I-50 konusunda elde ettiklerini belirlerken 2009 yılında farklı sulama seviyelerinin IWUE değerlerini etkilemediğini saptamışlardır. Farklı yıllarda ve konularda hesapladıkları IWUE değerlerinin 4.38-12.42 kg m⁻³ arasında değiştiğini ve ortalama IWUE değerini 7.90 kg m⁻³ olarak belirlediklerini açıklamışlardır.

Smith ve Buxton (1993), farklı koşullarda sorgum bitkisinin şeker verimini etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla, 2 yetiştirme dönemi boyunca çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, hiç sulanmayan ve büyüme mevsimi boyunca 3 hafta aralıklarla karık sulama yöntemi ile sulanan sorgum bitkilerinin şeker ve biyoetanol verimleri arasında önemli bir ölçüde farklılık olmadığı, buna rağmen, sulanan konulardan, sulanmayan konulara göre daha fazla yaş ağırlık elde edildiği sonucuna varmışlardır.

Howell vd. (2007), sorgum bitkisinde kısıntılı sulamanın WUE değerlerine olan etkilerini belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. I-100 (tam sulama) ve I-50 (tam sulama konusuna uygulanan suyun yarısının verildiği konu) olmak üzere iki sulama konusu oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, çalışmadan elde ettikleri ET değerinin 560-621 mm arasında, WUE değerinin 3.23-3.65 kg m⁻³ arasında, kuru ot veriminin ise 77-91 g m⁻² arasında olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar, I-50 konusunda, daha yüksek kuru ot verimi ve WUE değeri elde ettiklerini, sorgum bitkisinde su kısıtı uygulamalarının su kaynaklarının optimizasyonuna katkı sağlayacağını vurgulamışlardır.

Dercas ve Liakatas (2006), iki farklı yetiştirme döneminde, su stresinin, sorgum bitkisinin kuru ot verimi ve WUE değerleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, IH (stresiz konu), IM (orta stresli konu), IL (çok stresli konu) olmak üzere 3 farklı sulama konusu oluşturmuşlardır. IH konusunda, kullanılabilir su tutma kapasitesinin %25'i tüketildiği zaman, TK değerine getirmek için gerekli olan sulama suyu miktarını Penman-Monteith yöntemi ile hesapladıklarını, IM konusunda, ilk yetiştirme döneminde IH konusunun 0.56'sı ikinci yetiştirme döneminde ise IH konusunun 0.64'ü kadar sulama suyu, IL konusunda ise, ilk yetiştirme döneminde IH konusunun 0.34'ü ikinci yetiştirme döneminde ise IH konusunun 0.46'sı kadar sulama suyu uyguladıklarını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, iki yetiştirme dönemi sonunda hesapladıkları WUE değerlerinin 4.6-5.1 g m⁻² mm⁻¹ arasında değiştiğini ve en yüksek WUE değerinin IM konusundan elde edildiğini ifade ederlerken, IH ve IL konularında hesapladıkları WUE değerleri arasında bir farklılık belirlememişlerdir. Buna karşı, su stresi arttıkça verimin azaldığını ve IH konusu ile karşılaştırıldığı zaman, IM konusunda %17, IL konusunda ise %36 oranında bir verim kaybı meydana geldiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonunda farklı konulara göre hesapladıkları verim değerlerinin 1914-2979 g m⁻² arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Sorgum bitkisinde, uygulanacak sulama suyu miktarının yanında, kullanılacak sulama yöntemi de oldukça önemlidir. Toprak altı damla sulama yönteminin birçok üstün özelliği olmasına rağmen sorgum bitkisinin verim ve gelişim parametrelerine olan etkisinin değerlendirildiği çalışmalar sınırlıdır.

Vasilakoglou vd. (2011), Yunanistan’da biyoetanol üretimi amacı ile yetiştirilen farklı sorgum çeşitlerinin ve su stresinin biyoetanol ve şeker verim değerlerine olan etkisini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, 6 farklı sorgum çeşidinde (Sugar greze, M-81E, Urja, Topper-76-6, Susu ve KN-300) damla sulama yöntemiyle %50 kısıntılı ve tam sulama konusu olmak üzere iki farklı sulama suyu seviyesi kullanmışlardır. Araştırmacılar, farklı çeşitlerde tam sulama konularında elde ettikleri biyoetanol verim değerlerinin 1913-7620 l ha⁻¹ arasında, %50 kısıntılı sulama konularında ise 1433-3591 l ha⁻¹ arasında değiştiğini ve tüm çeşitlerde tam sulama konusunda daha fazla biyoetanol verimi elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Ayrıca, tam sulama konularında hesaplanan toplam şeker verim değerlerinin, %50 su kısıntısı ile sulanan sorgum çeşitlerinin ortalama veriminden %88 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada su stresinin biyoetanol ve şeker verimini azalttığı belirlenirken, verim parametrelerinin farklı çeşitlere göre değişebileceği vurgulanmıştır.

Campi vd. (2014), İtalya’da su kısıtı koşullarında sorgum bitkisinden elde edilen kuru ot verimi ve IWUE değerlerinin değişimini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, damla sulama yönteminin kullanıldığı çalışmada, haftada bir kez belirledikleri bitki su tüketimi değeri kadar sulama suyu uyguladıkları tam sulama konusu AC-100 ve AC-100’ün %50’ si kadar sulama suyu uyguladıkları kısıntılı sulama konusu AC-50 olmak üzere 2 farklı konu belirlemişlerdir. Çalışma sonunda, kuru ot verim değerlerinin 16.78-20.8 t ha⁻¹ arasında olduğunu ve su kısıntısının kuru ot verim değerleri üzerinde etkisi olmadığını açıklayan araştırmacılar AC-50 konusunda hesaplanan IWUE değerinin (8.3 kg m⁻³) AC-100 (6.9 kg m⁻³) konusundan daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, AC-50 konusunda, AC-100 konusuna göre yaprak alan indeksi değerlerinde %35’lik bir azalma olduğunu saptamışlardır.

Miller ve Ottman (2012), toprak altı damla sulama yöntemi ile sorgum bitkisinde 2 farklı yetiştirme döneminde (2007-2008 yılları), kullanılabilir suyun %35, %50 ve %65’i tüketildiği zaman, tekrar TK değerine getirecek kadar sulama suyu uyguladıkları 3 farklı sulama konusunun, bitkinin verim ve gelişimine olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada toprak altı damla sulama yönteminde lateraller 1 m aralıklarla ve 25 cm derinliğinde yerleştirilmiştir. Sulama sıklığının biyokütle verimi, özsu verimi, biyoetanol verimi ve şeker verimi üzerinde hiçbir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır. Her iki yıl dikkate alındığı zaman, tüm konuların biyokütle verimi 23.5-26.0 Mg ha⁻¹ değerleri arasında değişmiş ve ortalama 25.1 Mg ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Tüm konular için biyoetanol verimi 2316-2878 l ha⁻¹ değerleri arasında değişmiş ve ortalama biyoetanol verimi 2726 l ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Şeker verimi, tüm konular değerlendirildiği zaman 3.5-4.45 Mg ha⁻¹ arasında değişmiş ve ortalama 4.25 Mg ha⁻¹ olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, glukoz, fruktoz ve sakkaroz şekerleri arasında da sulama sıklığına göre değişen bir eğilim gözlemlemediklerini bildirmişlerdir. Bununla beraber, elde ettikleri özsu içerisinde, sakkaroz şekerinin, glukoz ve fruktoz şekerinden daha yüksek miktarlarda bulunduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, WUE ve IWUE değerlerini biyoetanol verim ve biyokütle verim değerlerini kullanarak ayrı ayrı hesaplamışlardır. Biyokütle verimi için hesaplanan WUE değerleri tüm konularda, iki yılın ortalamaları değerlendirildiğinde, 24.3 ila 28.8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ arasında değişmektedir. Biyoetanol verimi için hesaplanan WUE değerleri ise 2.90-3.18 l ha⁻¹ mm⁻¹ arasında değişmektedir. Araştırmacılar biyokütle verimi kullanılarak hesaplanan IWUE değerlerinin 19.4-21.9 kg ha⁻¹ mm arasında ve biyoetanol verimi için hesaplanan IWUE

değerlerini ise $2.16-2.42 \text{ l ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar sulama sıklığının biyoetanol verimi kullanılarak hesaplanan WUE ve IWUE değerleri üzerinde bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Mengistu vd. (2016), Güney Afrika’da iki farklı yetiştirme döneminde (2010-2011 ve 2011-2012 yılında), damla sulama yöntemi kullanarak sulama yaptıkları iki farklı sorgum çeşidinin (Hatfield ve Ukulinga), verim parametreleri ve WUE değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacı ile çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, farklı çeşitlerden elde ettikleri kuru ot veriminin $7.3-18.1 \text{ t ha}^{-1}$ arasında, şeker veriminin $2.2-5.8 \text{ t ha}^{-1}$ arasında, etanol veriminin $1075-2828 \text{ l ha}^{-1}$ arasında, briks değerinin % 8.9-15.2 arasında değiştiğini bildirirken, Hatfield çeşidinde tüm verim parametrelerinin daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Çalışmada, şeker verim değerleri kullanılarak hesaplanan WUE değerlerinin $0.56-1.41 \text{ kg m}^{-3}$ arasında, biyoetanol verim değerleri kullanılarak hesaplanan WUE değerlerinin $0.27-0.70 \text{ l m}^{-3}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmacılar Hatfield ve Ukulinga çeşitlerinde biyoetanol verim değerlerini kullanarak hesapladıkları WUE değerlerini sırası ile 0.62 ve 0.44 l m^{-3} olarak belirlediklerini ve sorgum bitkisinde biyoetanol verim değerleri kullanılarak hesaplanan WUE değerlerinin bitki çeşidine göre değişebileceğini vurgulamışlardır.

Papanikolaou ve Sakellariou-Makrantonaki (2013), Yunanistan’da, sorgum bitkisinde iki farklı yetiştirme döneminde, damla sulama yöntemini kullanarak PSDI-100 ve ASDI-100 olmak üzere iki farklı sulama programı oluşturmuşlardır. PSDI-100 programında, A sınıfı buharlaşma kabı kullanarak hesapladıkları günlük buharlaşma miktarının %100’ ü kadar sulama suyunu iki gün aralıklarla, ASDI-100 programında ise A sınıfı buharlaşma kabı kullanarak hesapladıkları günlük buharlaşma miktarının %100’ ü kadar sulama suyunu kullanılabilir suyun %43’ü tüketildiği zaman uygulamışlardır. Araştırmacılar ASDI-100 programında sulama zamanını toprak nem sensörlerini kullanarak belirlediklerini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar iki yetiştirme dönemi sonunda PSDI-100 ve ASDI-100 programından elde ettikleri kuru ot verim değerlerinin 3.94×10^4 - $4.19 \times 10^4 \text{ kg ha}^{-1}$ arasında değiştiğini ve aralarında istatistiksel olarak bir farklılık olmadığını bildirmişlerdir. Çalışmada elde edilen ortalama IWUE değerlerinin $6.79-7.50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ arasında değiştiği, istatistiksel anlamda bir farklılık olmasa da ASDI-100 konusunda hesaplanan IWUE değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, ASDI-100 konusunda %12.5 su tasarrufu ve %12.4 enerji tasarrufu elde ettiklerini, toprak nem sensörlerinin ilk kurulum maliyetinin daha yüksek olmasına rağmen daha karlı bir yöntem olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca, sorgum bitkisinde uygun sulama programının belirlenmesi, verim değerlerinin yanında su ve enerji tasarrufu açısından da önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Allamine (2021), Antalya’da iki farklı yetiştirme döneminde (2019 ve 2020 yılı) dane sorgum bitkisinde damla sulama yöntemi ile su kısıtı uygulamalarının WUE değeri, bazı verim bileşenleri ve bitki gelişim parametrelerine olan etkilerini araştırmıştır. Araştırmacı, etkili kök derinliğindeki kullanılabilir suyun %40-45’i tüketildiğinde, toprağı tarla kapasitesine çıkarmak için gerekli olan suyun tamamını tam sulama konusuna (I-100) uygulamıştır. Çalışmada, I100 konusuna uygulanan sulama suyu miktarının %70, %35’i kadarını sırası ile I70 ve I35 konularına uygulayarak iki farklı su kısıtı konusunun su tasarrufuna olan katkıları değerlendirilmiştir. Araştırmacı, iki yetiştirme süresince susuz konu da dahil olmak üzere dört farklı sulama konusunda hesaplanan WUE değerlerinin $1.36-2.51 \text{ kg da}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ arasında değiştiğini bildirmiştir.

Her iki yetiştirme döneminde bitki boyu, klorofil içeriği (SPAD), stoma iletkenliği, ortalama yaprak alanı, yaprak alan indeksi, yaprak ağırlığı, sap ağırlığı gibi parameterlerin su stresine bağlı olarak önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir. Araştırma sonunda, I70 konusunda I100 konusuna göre verimde %9 oranında bir azalma olduğu ve bu nedenle Antalya bölgesinde suyun yetersiz olduğu durumlarda %30 su kısıntısının uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Camp vd. (2000), toprak altı damla sulama yönteminin geçmişi, mevcut durumu ve geleceğini inceledikleri çalışmalarında, yöntemin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmişlerdir. İlk yıllarda, ekonomik değeri yüksek olan meyve ve sebzelerde uygulanan yöntemin, günümüzde pamuk, mısır, yonca, sorgum gibi bitkilerin sulanmasında da yaygın olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Bitki verimi ve su kullanımı açısından toprak altı damla sulama yöntemini diğer sulama yöntemleri ile kıyasladıklarında, eşit veya daha yüksek değerler elde ettiklerini vurgulamışlardır. Bu yöntemin, bitki besin elementlerinin doğrudan kök bölgesine uygulanması, toprak yüzeyinde otlama sorununu azaltması, toprak yüzeyinin kuru kalması, hasat gibi tarımsal işlemlerin kolay yapılması gibi üstün özellikleri olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, sulama suyu gereksinimlerinin diğer sulama yöntemlerine göre %40'a varan oranda daha az olduğunu bildirmişlerdir. Toprak altı damla sulama yönteminin, uygun tasarım, kurulum ve yönetimi ile 10-20 yıl boyunca iyi ve güvenilir bir performans sağlayabileceğini vurgulamışlardır.

Thomson vd. (2009), ABD'nin batı bölgesinde, su sıkıntısı olan alanlarda, su tasarrufu sağlayan tarımsal uygulamaları değerlendirmişlerdir. Toprak altı damla sulamanın düşük su kullanım etkinliği sorunu için çözüm olduğunu, bu yöntemle yüksek verim elde edilebileceğini, yabancı ot kontrolünün sağlanabileceğini bildirmişlerdir. Toprak altı damla sulamanın verim, kalite ve su kullanım etkinliğini arttırdığını açıklamışlardır.

Sakellariou–Makrantonaki vd. (2006), Yunanistan'da sorgum bitkisinde (Lif sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) çeşidi) iki farklı yetiştirme döneminde (2001-2002 yılları), toprak altı ve topraküstü damla sulama yöntemlerinin bitkinin gelişimine ve biyokütle verimine olan etkilerini karşılaştırmak ve su tasarrufuna olan katkılarını belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. İlk yıl her iki sulama yönteminde de A sınıfı buharlaşma kabı yöntemi ile hesapladıkları ET ihtiyacının yarısını, ikinci yıl ise tamamını düzenli aralıklarla uygulamışlardır. Her iki yöntemde lateraller 16 cm aralıklarla, toprak altı damla sulama yönteminde lateraller 45 cm derinliğe yerleştirilmiştir. Her iki yılda toprak altı damla sulama yönteminde bitki büyüme ve gelişim parametrelerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, iki yıl boyunca toprak altı damla sulama yönteminde biyokütle veriminin 18-38.6 t ha⁻¹ arasında, toprak üstü damla sulamada ise 12-33.3 t ha⁻¹ arasında değiştiğini ve toprak altı damla sulama yönteminde biyokütle verim değerlerini daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Su stresinin biyokütle verimini etkilediğini ve su kısıtı uyguladıkları yıl daha düşük biyokütle verim değerleri elde ettiklerini açıklamışlardır. Ayrıca, 1 kg kuru biyokütle üretimi için toprak altı damla sulama yönteminde 48.4 l toprak üstü damla sulama yönteminde ise 66.1 l su kullandıklarını ve özellikle Akdeniz bölgesinde sorgum bitkisi için toprak altı damla sulama yönteminin kullanımının daha uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Sakellariou-Makrantonaki vd. (2007), Yunanistan'da tatlı sorgum bitkisinde toprak altı ve toprak üstü damla sulama yöntemlerini kullanarak elde ettikleri biyoetanol verim değerlerini karşılaştırmak ve su kısıntısı uygulanması durumunda verim parametrelerinde belirledikleri değişimleri değerlendirmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Lateraller, her iki yöntemde de 16 cm aralıklarla, toprak altı damla sulamada toprağın 45 cm derinliğine yerleştirilmiştir. Araştırmacılar, toprak altı damla sulama yönteminde, A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşmanın %80'ini uyguladıkları bir konu (SDI-80), toprak üstü damla sulamada ise, %80 ve %100'ünü uyguladıkları iki sulama konusu (DI-80 ve DI-100) ve sadece yağışa bağlı hiç sulanmayan bir konu (kontrol konusu) oluşturmuşlardır. Araştırmacılar farklı konulardan elde ettikleri WUE değerlerinin 3.3-5.3 kg ha⁻¹ mm⁻¹ arasında değiştiğini ve toprak altı damla sulamanın WUE değerini arttırdığını saptamışlardır. SDI-80, DI-80, DI-100 konularında elde edilen yaş ot veriminin 85.10-148.20 Mg ha⁻¹, kuru ot veriminin 21-33.6 Mg ha⁻¹ arasında değiştiği belirlenirken, en yüksek yaş ot ve kuru ot verimi SDI-80 konusundan elde edilmiştir. Araştırmacılar, SDI-80, DI-80, DI-100 ve kontrol konularında elde ettikleri biyoetanol verim değerlerini, sırası ile, 9150, 5120, 8390, 670 l ha⁻¹ olarak belirlediklerini ve 1 kg kuru biyokütle üretimi için SDI-80 konusunda 189 l su, DI-80 konusunda 302 l ve DI-100 konusunda 240 l su kullandıklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, toprak altı damla sulama yönteminde daha az su kullanarak daha fazla biyoetanol verimi elde edilebileceği ve bu yöntem ile su tasarrufunun sağlanabileceğini vurgulamışlardır.

Mygdakos vd. (2009), sorgum bitkisinde toprak altı ve toprak üstü damla sulama yöntemlerinde farklı sulama seviyelerinin biyokütle verim değerlerine olan etkisini değerlendirmişlerdir. Her iki sulama yönteminde de A sınıfı buharlaşma kabından hesapladıkları günlük ET değerlerinin %100, %75 ve %50'si kadar sulama suyu uyguladıkları üç farklı sulama konusu oluşturmuşlardır. Araştırmacılar toprak altı damla sulama yönteminde biyokütle verim değerlerinin 32585-42875 kg ha⁻¹ arasında, toprak üstü damla sulamada 27195-35525 kg ha⁻¹ arasında değiştiğini ve iki yöntemde aynı miktarda sulanan konuları karşılaştırdıklarında toprak altı damla sulama yönteminde daha fazla biyokütle verimi elde ettiklerini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, toprak altı damla sulama yönteminde, suyun tamamı doğrudan etkili kök bölgesine verildiği için, buharlaşma kayıplarının önlenildiği ve bu nedenle bitkilerin suyu daha verimli kullandığını bu çalışma ile doğruladıklarını vurgulamışlardır.

Lamm vd. (2012), sorgum bitkisinde iki farklı yetiştirme döneminde toprak altı damla sulama yönteminde farklı lateral derinliklerinin verim değerleri üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Araştırmada, 20, 30, 40, 50 ve 60 cm olmak üzere altı farklı sulama konusunda toprak su açığı 25 mm değerine ulaştığı zaman tüm konulara eşit miktarda sulama suyu uygulanmıştır. Araştırmacılar farklı lateral derinliklerinde elde ettikleri verim değerlerinin 8.9-10.4 Mg ha⁻¹ arasında değiştiğini ve verim değerleri arasında istatistiksel olarak bir farklılık belirlemediklerini bununla beraber en yüksek verimi 40 cm lateral derinliğinde elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, farklı lateral derinliklerinde belirlenen IWUE değerlerinin 16.23-20.1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ arasında değiştiğini ve en yüksek IWUE değerini 40 cm lateral derinliğinde elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Aydinsakir vd. (2021), Antalya'da, iki farklı yetiştirme döneminde sorgum bitkisinde iki yıl boyunca toprak altı ve toprak üstü damla sulama yöntemlerinde farklı

sulama düzeylerinin bitkinin verim ve gelişimine olan etkilerini inceleyerek, yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, toprak altı ve toprak üstü damla sulama yöntemlerinin her birinde beş farklı (%100 (I100), %75 (I75), %50(I50), %25 (I25) ve %0 (IO, yağışa bağlı konu) sulama düzeyi oluşturmuşlardır. Kontrol konusunda (I100), elverişli nemin %40'ı tüketildiğinde, TK değerine getirecek kadar sulama suyu miktarı uygularken, tam sulama konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %75, %50, %25'i kadar sulama suyunu sırası ile I75, I50, I25 konularına uyguladıklarını bildirmişlerdir. Araştırmada farklı konularda belirlenen iki yıllık bitki su tüketim değerlerinin ortalamasının toprak altı damla sulama yönteminde 199-526 mm, toprak üstü damla sulama yönteminde 198-553 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmacılar, toprak altı damla sulama yönteminde verimde azalma olmadan, I100 konusunda ilk yıl yaklaşık 27 mm, ikinci yıl 21 mm'lik su tasarrufu elde ettiklerini bildirmişlerdir. Çalışmada her iki yöntemde de uygulanan farklı sulama suyu seviyelerinin bitki boyu, yaprak sayısı, yaprak alan indeksi, klorofil içeriği, briks, sakaroz, glikoz, fruktoz ve biyoetanol gibi verim ve verim bileşenleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu ve her iki damla sulama yönteminde de su stresinin biyoetanol verimini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, farklı sulama suyu seviyelerinden elde ettikleri biyoetanol veriminin toprak altı damla sulama yönteminde 156-239 l da⁻¹, toprak üstü damla sulama yönteminde ise 141-227 l da⁻¹ arasında değiştiğini, sulama seviyelerine bağlı olarak her iki yöntemde de en yüksek biyoetanol verimini tam sulama konusundan elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

2.2. Hydrus/2D Programı ile Yapılan Önceki Çalışmalar

Dünyada kurak ve yarı kurak bölgelerde su kıtlığı sorunu, toprak altı ve topraküstü damla sulama gibi yüksek performanslı yöntemlerin kullanımını arttırmıştır. Bu yöntemler geleneksel sulama yöntemlerine göre su kullanım verimliliğini önemli ölçüde arttırdığı için hem su kaynaklarının optimizasyonunu sağlar hem de bitkinin verimini artırır.

Toprak altı damla sulama sistemi tasarımı, bitki kök bölgesinde optimum su dağılımını elde etmek için, laterallerin kurulum derinliğini ve aralığını belirlemede ana faktörlerden ikisi, ıslanan hacmin boyutlarını ve bu hacim içindeki toprak neminin dağılımını belirlemektir. Toprak altı damla sulamada su kaynağı belirli bir derinlikte olduğundan, toprak yüzeyi genellikle toprak üstü damla sulamaya göre daha kuru kalır. Bu, toprak yüzeyinden buharlaşmanın azalmasına ve sonuç olarak transpirasyon ve su kullanım verimliliğinde bir artışa yol açar (Romero, 2004). Bununla beraber, laterallerin daha derine yerleştirilmesi, derine sızma nedeniyle su kayıplarını arttırabilir ve bitki köklerinin kullanabileceği suyu azaltabilir (Dukes ve Scholberg 2005). Toprak altı damla sulama yöntemlerini uygun bir biçimde yönetmek için, kök bölgesinde homojen bir şekilde su dağılımı sağlanması ve damlatıcı etrafındaki toprak nem değişiminin net olarak bilinmesi gerekir (Kandelous ve Simunek 2010b).

Farklı iklim, bitki ve toprak koşullarında toprak altı damla sulama yöntemi ile laterallerin yerleştirileceği uygun derinlik ve uygulanacak sulama suyu miktarlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır ve bu kapsamda daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Uygulamada, farklı iklim ve toprak koşullarında sulama sisteminin özelliklerini ve bu özelliklerin verime ve toprak nemine olan etkilerini değerlendirmek maliyetli ve zaman alıcıdır. Ancak, HYDRUS/2D benzeri simülasyon

programları ile en uygun toprak altı damla sulama stratejileri ve optimum sistem tasarımı, farklı bitki, iklim ve toprak koşullarında deneme yapmaksızın belirlenebilir.

Sulama sistemlerinde yapılan deneysel ve teorik çalışmaların temel amacı, su uygulamasını ve su kullanım verimliliğini artırabilecek sürdürülebilir sistemler tasarlamaktır. Bu tür sistemleri belirlemek için önerilen sulama suyu yönetimi uygulamalarının ve sulama sistemi tasarımlarının kapsamlı bir değerlendirmesi gerekmektedir. Toprak altı damla sulama sistemleri için, verimlilik ölçütlerine göre lateral derinliği, lateral aralığı ve uygulanacak sulama suyu kombinasyonlarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Sayısal bir model, toprak altı damla sulama tasarımı ve yönetim senaryolarının değerlendirilmesini hızlandırmak için iyi bir araçtır (Kong 2014).

Sulamanın planlanmasında uygulanacak sulama suyu miktarını, toprak bünyesi, kökün su alım modeli ve dağılımı, lateral derinliği, lateral aralığı, damlatıcı aralığı suyun dikey ve yanal hareketi etkilemektedir. Toprak altı damla sulama yönteminde toprakta su hareketinin modellenmesi, sistemin tasarım ve yönetimini etkileyeceği için, toprak-su içeriğinin doğru bir şekilde ölçülmesi önemlidir. Toprak-su içeriğinin tahmin yöntemleri, basit ve doğrudan gravimetrik ölçüm prosedürlerinden sensörlere, farklı zaman ve mekânda toprak-su içeriğini tahmin edebilen bilgisayar simülasyonlarına kadar uzanır. Bu nedenle, toprak-su dağılımını doğru bir şekilde tahmin edebilen bir araç seçmek, toprak altı damla sulama yönetim stratejilerinin ve sistem kurulumu kılavuzlarının geliştirilmesi için önemlidir.

Toprak nem içeriğini belirlemek için kullanılan en doğru yöntem, bilinen bir hacimdeki toprağın kurutulmazdan önceki ve sonraki ağırlığının belirlenmesini gerektiren gravimetrik toprak-su içeriği tayinidir. Gravimetrik yöntem, toprak-su içeriğini ölçmek için en basit yöntem olarak kabul edilmekle birlikte, ölçümü oldukça hassastır (Demiralay 1977; Gardner 1986). Ayrıca bu yöntem yüksek iş gücü gerektiren ve zaman alıcı bir yöntem olarak kabul görmektedir. Sensör kalibrasyonu dışındaki çoğu amaç için pratik değildir. Elektromanyetik algılayıcılar ile toprak içerisindeki nem değişiminin ve su akışının belirlenmesi, kolay olmasına rağmen, her toprak bünyesi için kalibre edilmesi gerekir ve elde edilen su içeriğinin gerçeği temsil etme ihtimali gravimetrik yöntemle göre daha düşük ve birçok sensör cihazı ve kurulumu gerektiği için maliyeti yüksek, zaman alıcı ve iş gücü gerektirmektedir (IAEA 2008). Sonuç olarak, toprak-su içeriğini değerlendirmede hızlı ve güvenilir bir araç sağlamak için alternatif yöntemlere ihtiyaç vardır.

Toprak altı damla sulama ve toprak üstü damla sulama yöntemleri için, topraktaki nem dağılımının ve ıslatma cephesinin zamansal ve mekânsal değişimini simüle etmek üzere çeşitli ampirik, analitik ve sayısal modeller geliştirilmiştir (Philip 1984; Schwartzman ve Zur 1986; Angelakis vd. 1993; Ben-Asher ve Phene 1996; Warrick ve Shani 1996; Moncef vd. 2002; Cook vd. 2003). Ampirik modeller, genel olarak, arazide gözlemlenen değerleri regresyon analizi kullanılarak geliştirirken, analitik ve sayısal modeller belirli başlangıç ve sınır koşulları için akış denklemlerini çözmektedirler (Kandelous ve Simunek, 2010a). Grabow vd. (2006), lateralden farklı mesafelerde ölçtükleri nem değerleri ile, ampirik bir istatistiksel analiz yöntemi ile belirledikleri su içeriği değerlerini karşılaştırmışlardır. Schwartzman ve Zur (1986), Singh vd. (2006) ve Kandelous vd. (2008), yanal ve dikey toprak-su dağılımını tahmin etmek için farklı ampirik modeller geliştirmişlerdir. Kandelous ve Simunek (2010a), daha sonra, ampirik

modellerin, arazideki koşulların, modelde geliştirilen koşullara benzer olmadıkça, ıslanma modelinin iyi bir tanımını sağlayamayacağını açıklamışlardır.

Çok sayıda bilim insanı, yüzeydeki bir nokta kaynaktan veya gömülü bir nokta kaynaktan sürekli su akışını modellemek amacıyla farklı analitik çözümler geliştirilmişleridir. Philips (1984) ve Cook vd. (2003), damlatıcılardan gelen SDI ıslatma modelini anlamak için analitik bir araç olarak “WetUp” yazılımını kullanmışlardır. Mmolawa ve Or (2000), bitkili (bitki su alımı olduğunda) ve bitkisiz (bitki su alımı olmadığı) durumdaki sürekli olmayan akış koşulları altında toprak-su içeriğinin değişimini belirlemek için iki boyutlu analitik bir model geliştirmişler ve bitki su alımı dahil edilmediği zaman, analitik modelin toprak su içeriği değişimini doğru tahmin ettiğini belirtmişlerdir.

Analitik modellerin önemli bir dezavantajı, çoğu zaman akış denkleminin doğrusallaştırılmasına ilişkin, gözlemlenen gerçeği tam olarak temsil edemeyecek birçok sınırlayıcı varsayımlar (homojen topraklarda modelin kullanılması gibi) içermesidir (Li vd. 2005). Bu varsayımlar, analitik modellerin damla sulama yönetimlerinde ölçülen su içeriğini etkin bir şekilde temsil etmemesine neden olur. Ayrıca, analitik çözümler, yalnızca sabit durum akışı veya yerçekimi etkilerinin ihmal edilebileceği kısa süreli su hareketini tanımladığı için, gerçek koşulları tam olarak yansıtamaz (Moncef vd. 2002).

Analitik ve ampirik modellere kıyasla birçok parametreyi kullanabilmesi nedeniyle sayısal modellerin kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Bilgisayar hızındaki gelişmeler ve toprakta su akışını ve çözünen madde taşınımını simüle eden sayısal modellerin kaynak kodları ile beraber yayınlanması nedeniyle birçok araştırmacı toprak altı damla sulama yönteminde, toprakta su akışını değerlendirmek için sayısal modellerin kullanımını araştırmaya başlamışlardır (Ben-Asher ve Phene 1996; Schmitz vd. 2002; Cote vd. 2003; Skaggs vd. 2004; Lazarovitch vd. 2005; Provenzano 2007).

Bunlar içerisinde yaygın olarak kullanılan modellerden biri HYDRUS sayısal modelidir. HYDRUS modellerinin önemli bir avantajı, herhangi bir özel uzaysal veya zamansal ölçekle sınırlı olmamalarıdır. HYDRUS modeli, değişken şekilde doymuş, doymamış, kısmen doymuş veya tamamen doymamış gözenekli ortamlarda su, ısı ve çözünen maddelerin hareketini simüle etmek için kullanılan bir sonlu eleman modelidir. Sonlu elemanlar metodundaki temel mantık, karmaşık bir problemi basite indirgeyerek çözüme ulaştırmaktır. Bu yöntemde çözüm bölgesi, çok sayıda basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmaktadır. Birbirine çok sayıda düğüm noktalarıyla bağlanmış parçalara ayrılan problemin çözümü kolay bir şekilde yapılabilir. Model, doymamış ortamlarda su akışı için, Richards denklemini, ısı ve çözünen madde taşınımı için ise Fickian tabanlı adveksiyon dispersiyon denklemlerini kullanarak çözüm yapmaktadır. Akış denklemi için, bitki kökleri tarafından su alımını ve doymamış toprak hidrolik özelliklerini zamana bağlı olarak dikkate almaktadır. Akış ve taşıma denklemleri, sonlu eleman yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülür. HYDRUS/2D (Simunek vd. 1999), iki boyutlu değişken doymuş gözenekli ortamlarda su, ısı ve çözünen hareketini simüle etmek için kullanılan, iyi bilinen bir Windows tabanlı bilgisayar yazılım paketidir. HYDRUS/2D, toprak-su içeriğinin çok küçük zaman adımlarında çok ince dikey ve yanal çözünürlükte belirlenebilen değişken akış için Richards denklemini kullanır. HYDRUS/2D'nin sulama sırasında ve sonrasında toprak ıslatma desenini, toprak-su içeriğini ve matrik potansiyel dağılımını aynı anda değerlendirme kapasitesi, onu toprak

altı damla sulama yöntemini tasarlamak, izlemek ve yönetmek için güvenilir ve kullanışlı bir araç haline getirmektedir (Kandelous ve Simunek 2010a).

Birçok çalışma, HYDRUS/2D'nin toprak-su dağılımının modellenmesi için iyi bir araç olduğunu ve program ile toprak su içeriğinin tahmin edilebileceğini bildirmişlerdir (Skaggs vd. 2004; Ajdary vd. 2005; Gardenas vd. 2005; Ghazouani vd. 2016; Abid ve Abid 2019; ElNesr 2019; Sakaguchi vd. 2019; Shan vd. 2019).

Kandelous ve Simunek (2010b), toprak altı damla sulama yönteminde, arazi ve laboratuvar gözlemlerinden elde ettikleri ıslanma deseninin boyutlarını, sayısal HYDRUS/2D modeli, analitik WetUp yazılımı ve seçilen ampirik bir modelden elde ettikleri tahminleri karşılaştırarak bu yaklaşımların doğruluğunu değerlendirmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, farklı modeller için elde ettikleri MAE değerini, HYDRUS/2D için 0.87-4.34 cm, WetUp için 1 ila 58.1 cm ve ampirik modeller için 1.34 ila 12.24 cm arasında değiştiğini saptamışlardır. Ampirik modellerin, farklı koşullar için kullanılacak kadar genel olmadığını ve modelin farklı toprak tipleri, farklı başlangıç toprak suyu koşulları ve belki de diğer faktörler göz önünde bulundurularak daha da geliştirilmesi gerektiğini bildirmişler ve önemli dezavantajının ise, suyun toprağa ilk ulaştığı anda, su cephesi ile toprak yüzeyi arasındaki etkileşimi dikkate almaması olduğunu belirtmişlerdir. Wetup yazılımlı analitik model içinde, ampirik olarak kullanılan modele benzer ve farklı toprak bünyelerinde ve farklı başlangıç koşullarında yöntemin doğru tahmin etmediğini modelin çok az girdi parametresi ve kısa zamanlı hesaplamalarda kullanılabileceğini açıklamışlardır. HYDRUS/2D sayısal tabanlı modelin topraktaki su hareketini simüle etmek için çok fazla girdi verisi gerektiren oldukça karmaşık bir model olmasına rağmen, su hareketini gerçeğe yakın tahmin ettiği ve doğru sonuçlar elde etmenin önemli olduğu durumlarda HYDRUS/2D programının kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Provenzano (2007), toprak altı damla sulama yönteminde toprak altında damlatıcı etrafındaki infiltrasyon sürecini değerlendirmek için HYDRUS/2D simülasyon modelinin uygunluğunu test etmiştir. Kumlu-tınlı bir toprakta 10 cm lateral derinliğinde kurulan sistem üzerinde yapılan araştırmada, modelin sulama sırasında damlatıcı etrafındaki infiltrasyon süreçlerini iyi bir şekilde simüle etmeye uygun olduğu bildirilmiştir. Araştırmacı, modelden elde edilen simülasyon sonuçları ile deneysel gözlemler arasındaki ilişkinin doğruluğunun yüksek olduğunu, gömülü damlatıcının etrafındaki infiltrasyon sürecini değerlendirmek için HYDRUS/2D simülasyon modelinin kullanılabilirliğini doğruladıklarını, fakat farklı toprak çeşitlerinde daha fazla çalışma yapılmasının gerekli olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacı ayrıca, gömülü bir damlatıcı etrafındaki ıslatma desenlerinin şekli ve boyutlarının, damlatıcı akış hızına ve uygulanan su hacmine ve ayrıca toprak tipine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Skaggs vd. (2004), HYDRUS/2D programı ile toprak altı damla sulama yönteminde, kumlu-tınlı toprakta su hareketini belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Üç farklı sulama konusu oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, damlatıcıda meydana gelen su akısını 6.37 cm h^{-1} olarak hesapladıklarını ve sulama konularını her sulamada 5, 10, 15 saat süre ile sulama biçiminde gerçekleştirdiklerini bildirmişlerdir. Tarla koşullarında, lateraller 6 cm derinliğine yerleştirilmiştir. Sulamadan bir gün sonraki gravimetrik su içeriği değerleri ile, HYDRUS/2D programında, belirli girdi parametrelerini kullanarak belirledikleri simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, arazi

alışmalarından elde ettikleri su içeriği dağılımları ile, HYDRUS/2D programı ile tahmin edilen su içeriği dağılımlarının uyum içinde olduğunu ve farklı uygulamalara göre hesapladıkları, RMSE değerlerinin 0.012–0.071 m³ m⁻³ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. HYDRUS/2D simülasyonlarını deneysel gözlemlerle başarılı bir şekilde karşılaştırdığında, modelin damlatıcının etrafındaki toprak su içeriği modellerini değerlendirmede yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir.

Kong (2014), toprak altı damla sulama yönteminde sistemin tasarım ve yönetimini belirlemek amacıyla, HYDRUS/2D programını kullanarak, toprak altı damla sulama yönteminde programın kullanılabilirliğini değerlendirmek ve mısır bitkisi (şeker mısır) için toprak altı damla sulama yönteminde farklı lateral aralığı, lateral derinliği ve sulama konularında konfigürasyonlar oluşturarak en iyi sistem tasarımını belirlemek amacıyla çalışma yapmıştır. Araştırmacı, tarla koşullarında lateralleri 25 cm derinliğine yerleştirdiğini ve damlatıcıda meydana gelen su akısını 2.97 cm h⁻¹ olarak hesapladığını bildirmiştir. Çalışmada, tarla koşullarında ölçülen su içeriği değerleri lateralin bulunduğu konuma göre 0.15 m ve 0.30 m derinliklerinde ve lateralden 0.15, 0.30, 0.50 m uzaklıklarda yerleştirilmiş Echo EC-5 toprak sensörleri aracılığı ile belirlenmiştir. HYDRUS/2D programında belirli hidrolik parametreleri uygun aralıklarda değiştirerek Rosetta yazılım paketi yardımıyla kalibrasyon aşamasını tamamlamışdır. Lateralden 0.15 m ve 0.5 m uzaklıklarda ölçülen ve simüle edilen su içeriği değerlerine ilişkin RMSE değerinin sırasıyla, 0.012-0.033 ve 0.018-0.058 cm³ cm⁻³ arasında değiştiğini bildirmişdir. Araştırmacı, lateralden uzaklařtıķķa programda tahmin edilen ve toprak sensörleri ile ölçülen su içeriği değerleri arasındaki uyumun azaldığını ifade etmiştir. Sensörler ile 50 cm mesafede ölçülen su içeriğinin modelin tahmin ettiğinden daha az olduğunu ve bunun nedenini toprak bünyesinin kil içeriğinin fazla olmasından ve suyun lateralden 50cm mesafeye kadar ulaşamamasından kaynaklandığını açıklamıştır. Çalışmada 0.15 m derinlikte pozitif ve 0.30 m derinlikte negatif ME değerleri elde edildiği yani modelin tahmin edilen su içeriğini 0.15 m derinlikte fazla, 0.30 m derinlikte ise eksik tahmin ettiği saptanmıştır. Araştırmacı, 0.15m derinlikte toprak su içeriğinin daha fazla tahmin edilmesinin modelde gerçekte olduğundan daha fazla yağmur suyunun sızmasından ve toprakta meydana gelen buharlaşmanın modelde daha az tahmin edilmesinden kaynaklanmış olabileceğini belirtmiştir. Ayrıca, 0.30 m derinliğinde su içeriğinin arazide belirlenen değerlerden daha az tahmin edilmesi, modelde kök derinliğinin, gerçekte olandan daha derinde olmasından kaynaklanabileceğini açıklamıştır. Çalışmada, her iki derinlik ve üç mesafede belirlenen toprak su içeriği ve programda simüle edilen toprak su içeriği değerleri arasındaki RMSE ve ME değerlerinin sırasıyla 0.012 ila 0.091 ve -0.08 ila 0.057 cm³ cm⁻³ arasında değiştiği ve bunun sonucu olarak programda belirlenen su içeriği değerlerinin, ölçülen değerlerle makul ölçüde uyuluştuğu belirlenmiştir. Araştırmacı geleceğe yönelik oluřturduķķı senaryolarda, iki lateral derinliği (0.20 ve 0.30 m), iki lateral aralığı (1.52 ve 2.28 m) ve iki sulama konusunun (ET_c değerinin %100 ve %75' inin uygulandığı) farklı konfigürasyonlarını oluşturmuştur. Araştırmacı, 20 cm lateral derinliğinde, ıslatma cephesinin yzeeye yakın oluştuğunu ve bitkinin transpirasyonunu arttırdığını bunun sonucunda bitkinin daha fazla su kullandığını açıklamıştır. ET_c değerinin %100 ve %75'inin uygulandığı konuları karşılaştırdığı zaman, ET_c değerinin %100'ünün uygulandığı konularda, toprağın kumlu tınlı bünyeye sahip olması nedeniyle, derine sızmanın daha fazla olduğunu belirtmişdir. Sonuç olarak, araştırmacı ET_c'nin %100'ünün uygulandığı sulama konusunda 0.20 m lateral derinliğinde, 1.52 m'lik bir lateral aralığının en başarılı tasarım olduğunu

bildirmiştir. Bunun yanında farklı damlatıcı aralıklarını değerlendirdiği simülasyonlarda herhangi bir farklılık elde etmediğini ve çalışmalarında lateral derinliğinin, suyun yanal hareketinden daha fazla dikey hareketini etkilediğini vurgulamıştır.

Cote vd (2003), toprak altı damla sulama da HYDRUS2/D programını kullanarak, 30 cm lateral derinliğinin farklı toprak bünyelerdeki su içeriği değişimini simüle etmişlerdir. Araştırmacılar, su hareketinin, kumlu toprakta toprak yüzeyinden aşağıya doğru olduğunu ve suyun toprak yüzeyine ulaşmadığını, siltli topraklarda küresel olduğunu ve killi topraklarda ise derine sızmanın çok az olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, HYDRUS2/D programının toprak altı damla sulama yönteminde, topraktaki nem değişimini belirlemek için kullanılabilecek bir program olduğunu belirtmişlerdir.

Kandelous ve Simunek (2010b), toprak altı damla sulama yönteminde, iki deney setinde (arazi ve laboratuvar), killi-tınlı bir toprakta farklı derinlik ve sulama konularından elde ettikleri su içeriği değerleri ve ıslatma desenini, HYDRUS/2D modelinden elde ettikleri simülasyonlar ile karşılaştırmışlardır. Arazi çalışmasında, A (5 cm lateral derinliğinde ve damlatıcı debisi $5.86 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), B (5 cm lateral derinliğinde ve damlatıcı debisi $8.06 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), C (15 cm lateral derinliğinde ve damlatıcı debisi $5.72 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ve D (25 cm lateral derinliğinde ve damlatıcı debisi $7.33 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) olmak üzere dört farklı sulama konusunu denemişlerdir. Sulamadan sonra belirli zamanlarda, farklı lateral derinliği (10, 20, 30, 40, 50, 60 cm) ve sulama aralıklarında (0, 12.5, 25 cm) gravimetrik olarak ölçtükleri su içeriği değerlerini hacim ağırlığı (1.55 g cm^{-3}) ile çarparak hacimsel su içeriği değerlerine dönüştürmüşlerdir. Laboratuvar çalışmasında su içeriği değerlerini, saydam bir lizimetrede 30 cm lateral derinliğinde ve ($3.6 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ debili damlatıcı kullanılan), sulamadan 1, 2, 3 ve 4 gün sonra, belirli kalibrasyon işlemlerini tamamladıktan sonra toprak nem sensörleri aracılığı ile belirlemişlerdir. Deney setlerinde ıslatma deseninin boyutları, damlatıcı etrafındaki ıslatma cephesinin, damlatıcıya olan mesafesi yatay, dikey aşağı ve dikey yukarı yönlerde ölçülmüştür. HYDRUS/2D programında simüle edilen ıslatma deseni ise, belirli yönlerde (yukarı, aşağı ve yatay) ıslatma cephesi ile damlatıcı arasındaki maksimum mesafeler kullanılarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, farklı konularda hesapladıkları RMSE değerlerinin, hacimsel su içeriği değerleri için 0.011 ile 0.045 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında ve ıslatma deseni boyutları için 0.98 ile 4.36 cm arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Arazi denemesinde A, B, C, D konuları için hesapladıkları R^2 değerlerini ise, sırası ile, 0.77, 0.88, 0.98 ve 0.60 olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar, HYDRUS/2D programının hem zamansal hem de mekânsal olarak, toprak altı damla sulama sisteminin tasarımında önemli olan su içeriği dağılımı ve toprak ıslatma deseni boyutlarının farklı koşullar (farklı lateral derinlikleri, farklı toprak türleri ve farklı başlangıç ve sınır koşulları) için başarılı bir şekilde simüle edebildiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, HYDRUS/2D'nin iki veya daha fazla ıslanma modelinin üst üste geldiği topraklarda su hareketini simüle edip edemediğini değerlendirmek için birden fazla damlatıcı konumu ile ilgili deneyler yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

İsmail vd. (2006), tarla koşullarında, gerekli su hacmini ikiye bölerek aynı hattaki iki farklı lateral derinliğinde yer alan damlatıcılardan uygulamak suretiyle, ıslatma düzenini belirlemeye çalışmışlardır. Kumlu tın bünyeli toprakta çalışan araştırmacılar, suyun kuru toprağa doğru daha hızlı hareket ettiğini ve böylece ikinci lateral hattının, birinci lateral hattının altındaki toprağı nemlendirdiğini ve suyun aşağıya doğru hareket etmek yerine toprak yüzeyine doğru hareket ettiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar

toprak bünyesi olarak kumlu tın kullandıklarını belirtmişlerdir. Kumlu topraklarda toprak yüzeyinden su daha hızlı buharlaştığı için, suyun toprak yüzeyine daha hızlı ulaşmasına neden olabileceğini düşünmüşlerdir. Lateral derinliği konfigürasyonlarının uygulanacağı toprak bünyesi de oldukça önemlidir. Belirlenen tasarımlarda toprak bünyesi de mutlaka değerlendirilmelidir.

El-Nesr vd. (2013), HYDRUS programında aynı hat üzerinde, 15 cm ve 25 cm lateral derinliğinde iki damlatıcı yerleştirmişlerdir. Araştırmacılar, iki damlatıcıyı aynı anda çalıştırdıkları ve ihtiyaç duydukları sulama suyu miktarını ikiye bölerek uyguladıkları ve 15 cm lateral derinliğindeki damlatıcıyı 30 dakika önce çalıştırdıkları olmak üzere iki farklı senaryoda su içeriği değişimini ayrıca iki damlatıcıda farklı sürelerde çözünen madde taşınımını simüle etmişlerdir. Araştırmacılar, çift lateral hattının kullanılmasının ıslatma deseninin modelini ve dağılımını önemli ölçüde değiştirdiğini ve iyileştirdiğini ve bu konfigürasyonun killi ve tınlı topraklarda uygulamanın kumlu topraklara göre daha yararlı olabileceğini ve iki damlatıcının işleyişinin değiştirilerek, özellikle de sıra ile çalıştırılabilen uygulamalarda, kök bölgesinde çözünen maddelerin dağılımının kontrol edilmesine olanak sağlanabileceğini bildirmişlerdir. Kök derinliğine ve yoğunluğuna bağlı olarak, alt ve üst damlatıcıları arasında sulama uygulamalarının ayarlanabilmesi ve bitki köklerinin sığ olduğu erken büyüme aşamalarında, üst damlatıcıdan daha fazla su uygulanabilmesinin bu yöntemin avantajlarından biri olduğunu belirlemişlerdir.

Genel olarak, bitki kök bök bölgesinin üst kısmı daha yüksek kök yoğunluğuna sahiptir. Bitkiler su ihtiyaçlarının, kök bölgesinin %40, 30, 20 ve %10'una karşılık gelen kısımlardan alırlar (El-Nesr vd. 2013). Bununla beraber, toprak altı damla sulama yönteminde, kök dağılımı farklı olabilir. Toprak altı ve toprak üstü yöntemlerin de benzer bir ıslatma modeli elde edilmesine rağmen, toprak altı damla sulamada su kök bölgesinden aşağı doğru sızarak, köklerin ulaşamayacağı kısımlara taşınabilir veya yanal olarak da kök bölgesinden uzaklaşabilir. Toprak altı damla sulamada en önemli sorun, ekim zamanında bitki kökleri gelişene kadar derine sızmanın fazla olması ve kök sisteminin büyümesi ile derine sızma miktarının azalmasıdır (El-Berry 1989). Aynı hat üzerinde farklı lateral derinliğinde sulama suyu uygulanması durumunda, bitkilerin ekildiği zaman yüzeye yakın olan lateraller çalıştırılabilir ve bu bitki kökleri geliştiği zamana kadar olan derine sızma kayıpları önlenabilir. Laterallerin toprak yüzeyine yakın olduğu durumlarda, toprak bünyesi ve bitki çeşidine bağlı olarak, kökler geliştiğinde, su buharlaşma kayıplarından dolayı kök bölgesine yeterli su ulaşamayabilir. Tam tersi durumda, laterallerin daha derine yerleştirildiği konfigürasyonlarda, bitki kökleri gelişene kadar su, toprak yüzeyine ulaşamayabilir ve derine sızma kayıpları yaşanabilir. Uygun lateral derinliği, hem bitkinin sudan maksimum seviyede yararlanabilmesi için hem de buharlaşma veya derine sızma kayıplarının önlenmesi için oldukça önemlidir.

Toprak altı damla sulama yöntemi kullanımı kurak ve yarı kurak bölgelerde son yıllarda artmıştır. Özellikle damla sulama yöntemi ile kıyaslandığı zaman, toprak yüzeyinden olan buharlaşma kayıplarını önlemesi, kök bölgesine direk olarak su ve gübre uygulanabilmesi ve toprak yüzeyinde tarımsal işlemlerin daha kolay yapılabilmesi gibi birçok üstün özelliği vardır (Kandelous ve Simunek 2010b). Toprak yüzeyinden olan buharlaşma kayıplarını ve derine sızan su miktarını en aza indiren, bitki köklerinin toprakta bulunan su miktarından en fazla yararlanabildiği, toprak altı damla sulama yönteminin uygun tasarımı için, damlatıcı etrafındaki su dağılım modelinin bilinmesi

gerekir (Kandelous vd. 2011b). Damlatıcının toprak yüzeyine göre bulunduğu derinlik, damlatıcının etrafındaki ıslanma modelini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Toprakta ıslan hacmin şekli ve su dağılımı, toprağın hidrolik özelliklerine, sulama suyunun uygulanma sıklığına ve miktarına, kök özelliklerine, buharlaşma ve transpirasyon miktarı gibi birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca ıslanan hacmin şekli, damlatıcının toprak yüzeyine olan konumuna da bağlıdır. (Kandelous ve Simunek 2010b; Subbaiah 2013). Bu çalışmada, farklı lateral derinliği senaryoları oluşturularak, en uygun ıslatma deseni, bununla beraber farklı lateral derinlikleri ve sulama suyu miktarlarının 0-90 cm toprak derinliğindeki nem değişimine olan etkisi, bitki kökleri tarafından su alım miktarının değişimi ve derine sızan su miktarları karşılaştırılarak en uygun tasarım belirlenmeye çalışılmıştır.

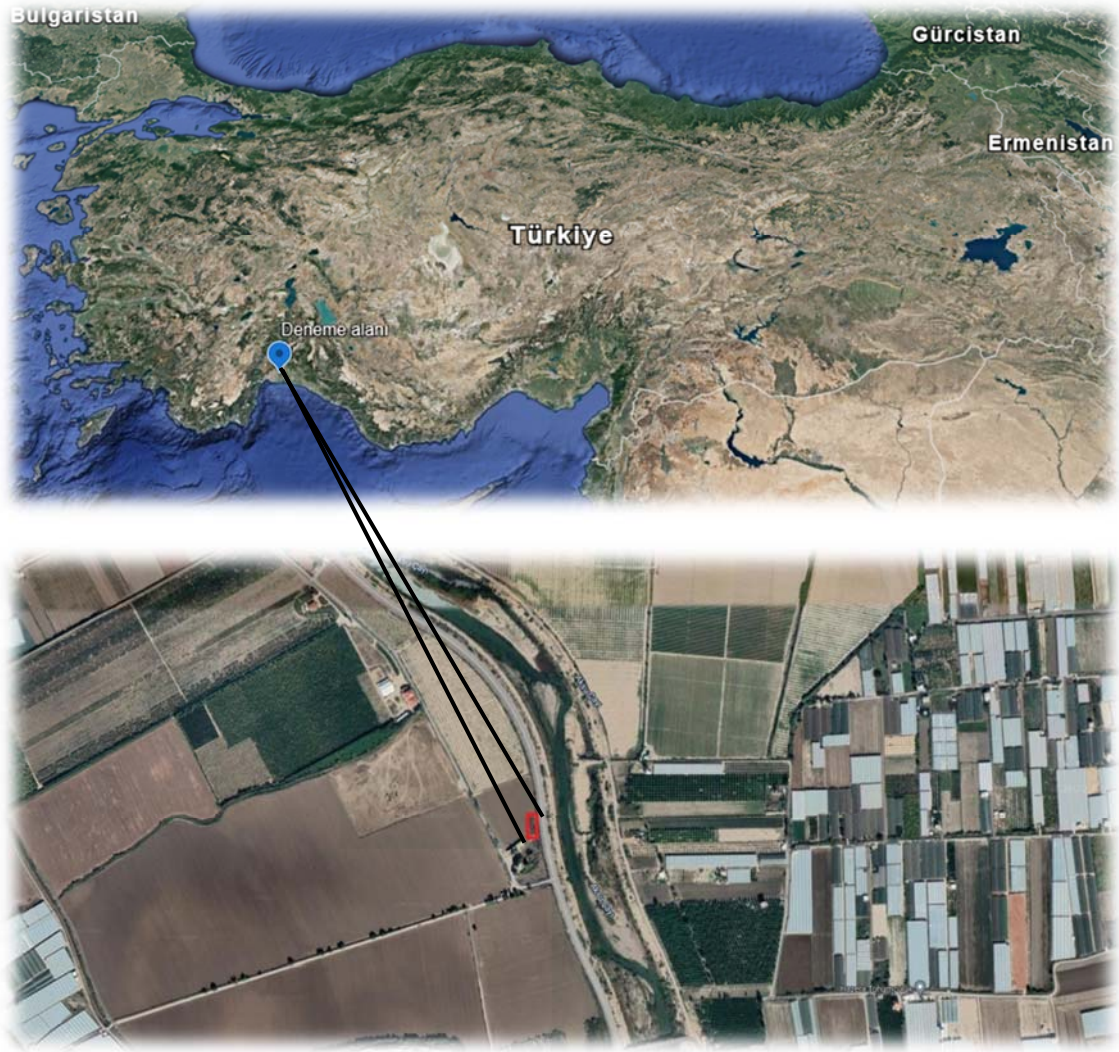


3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma yeri

Araştırma, Akdeniz Üniversitesi'nin Aksu yerleşkesi içerisinde bulunan araştırma ve uygulama alanında yürütülmüştür. Deneme alanı, Antalya il merkezine 20 km uzaklıkta, 36° 55' kuzey enlemi ve 30° 53' doğu boylamı arasında yer almakta olup, deniz seviyesinden yüksekliği 15 m'dir. Araştırma alanının genel görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma alanının yeri ve konumu

3.1.2. Araştırma yerinin iklim özellikleri

Araştırma alanındaki uzun yıllık ortalama iklimsel parametrelere ilişkin veriler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Uzun yıllık ve denemenin yürütüldüğü yetiştirme mevsimlerine ilişkin iklimsel veriler deneme alanına 6 km uzaklıkta bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Antalya Havalimanı Meteoroloji İstasyonundan alınmıştır.

Çizelge 3.1. Antalya iline ilişkin uzun yıllık ortalama iklim verileri

İklim Öğeleri									
Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık (°C)	Mak. Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m s ⁻¹)	Oransal Nem (%)	Toplam Yağış (mm)	Buharlaşma (mm)	Güneşlenme Süresi (sa gün ⁻¹)	Güneşlenme Şiddeti (cal cm ⁻² gün ⁻¹)
Ocak	9.9	6.0	14.9	3.5	65.5	236.3	70.7	5.2	195.4
Şubat	10.5	6.4	15.5	3.6	65.3	156.2	73.6	5.6	265.7
Mart	12.7	8.0	17.9	3.3	66.2	96.8	105.1	6.5	367.5
Nisan	16.2	11.2	21.3	3.0	67.6	52.5	127.9	8.1	449.4
Mayıs	20.5	15.1	25.6	2.6	66.6	31.5	172.9	10.6	531.1
Haziran	25.3	19.6	30.8	2.9	59.3	9.4	243.2	11.4	590.0
Temmuz	28.4	22.6	34.1	2.8	57.1	2.5	280.3	12.1	581.2
Ağustos	28.2	22.6	34.0	2.7	59.3	2.7	253.5	11.4	529.0
Eylül	24.8	19.3	31.0	2.8	59.1	14.5	203.4	10.0	450.7
Ekim	20.1	15.2	26.5	2.8	60.6	72.0	142.3	8.1	326.9
Kasım	15.1	10.7	21.2	2.9	64.6	131.4	85.3	6.3	224.9
Aralık	11.4	7.5	16.7	3.3	67.0	261.1	68.3	5.0	170.6
Ort./Top.*	18.6	13.7	24.1	3.0	63.2	1066.9	1826.5	8.4	390.2

3.1.3. Araştırma alanının toprak özellikleri

Araştırma alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlemek amacıyla sulama sistemi araziye kurulmadan önce, deneme alanında üç adet profil çukuru açılmıştır. Bozulmuş toprak örnekleri, Kacar (1995) tarafından verilen sistematik örnek alma esasına göre 0-30, 30-60 ve 60-90 cm derinliklerden toprak burgusu ile, bozulmamış toprak örnekleri ise, Richards (1954)'de verilen esaslara göre, açılan profil çukurlarından, 100 cm³'lük örnek alma silindirleri kullanılarak alınmıştır. Araştırma alanı topraklarının bünye sınıfı, tekstür bileşenlerinin (% kum, % kil ve % silt) Bouyoucus hidrometre yöntemi ile hesaplanmasından sonra tekstür üçgeninden belirlenmiştir (Gee ve Bauder 1986). Toprağın tarla kapasitesi ve solma noktasındaki su içeriği değerleri, laboratuarda basınç tablasında toprağın sırasıyla 1/3 ve 15 atmosfer basınç altında tutabildiği su miktarı, olarak belirlenmiştir (Klute 1986). Hacim ağırlığı, bozulmamış örnek alma silindirindeki toprağın kuru ağırlığının, silindirin hacmine bölünmesiyle hesaplanmıştır (Blake ve Hartge 1965). Toprağın elektriksel iletkenlik (ECe) ve pH değerleri, Richards (1954)'ın belirttiği esaslara göre Hach HQ serisi pH ve elektriksel iletkenlik aleti kullanılarak belirlenmiştir. Deneme alanı toprağının kimyasal özellikleri Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü laboratuvarında belirlenmiştir. Deneme alanı toprağının, yapılan analizler sonucunda belirlenen, bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri sırası ile Çizelge 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneme alanı toprağının fiziksel özellikleri

Derinlik (cm)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Bünye sınıfı	TK (P _w , %)	SN (P _w , %)	HA (g cm ⁻³)
0-30	17	41	42	Siltli kil	22.5	15.7	1,38
30-60	19	40	41	Siltli kil	23.2	16.2	1,51
60-90	18	35	47	Siltli killi tın	23.9	14.9	1,50

Çizelgede TK, tarla kapasitesini; SN, solma noktasını; HA, hacim ağırlığını ifade etmektedir.

Çizelge 3.3. Deneme alanı toprağının kimyasal özellikleri

Derinlik (cm)	EC (dS m ⁻¹)	pH	SAR	Ca ⁺² (mg l ⁻¹)	Mg ⁺² (mg l ⁻¹)	K ⁺ (mg l ⁻¹)	Na ⁺ (mg l ⁻¹)	C0 ₃ ⁻ (mg l ⁻¹)	HCO ₃ ⁻² (mg l ⁻¹)	Cl ⁻ (mg l ⁻¹)	SO ₄ ⁻² (mg l ⁻¹)
0-30	0.4	8.2	0.2	86.8	129.7	7.5	7.2	10.3	79.9	5.2	677.0
30-60	0.5	8.2	0.2	56.0	105.0	3.9	2.9	10.3	118.2	27.5	438.0
60-90	0.4	8.4	0.2	41.9	100.3	2.9	2.6	10.3	66.0	3.4	461.3

3.1.4. Araştırmada kullanılan sulama suyunun özellikleri

Araştırmada kullanılan sulama suyu arazi içerisinde bulunan derin bir kuyudan pompaj sistemi ile sağlanmıştır. Denemede kullanılan sulama suyunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Sulama suyunun kalite sınıfı C₂S₁ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Denemede kullanılan sulama suyunun kimyasal özellikleri

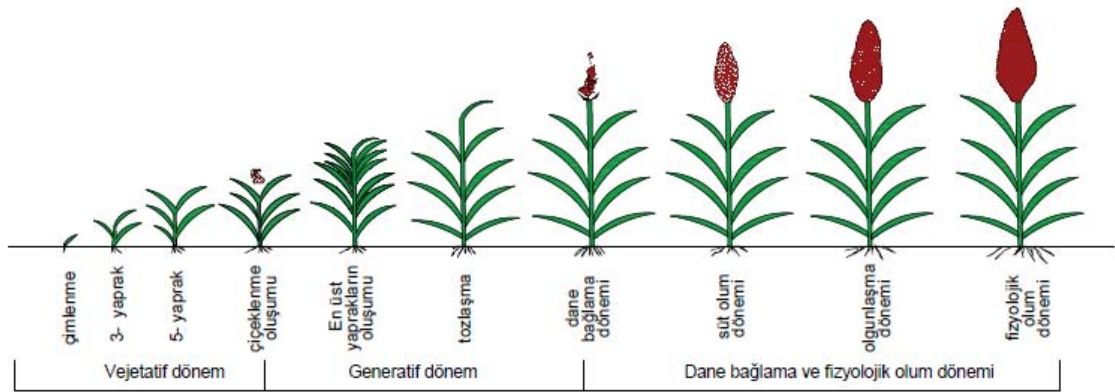
EC (dS m ⁻¹)	pH	SAR	%Na	Ca ⁺² (mg l ⁻¹)	Mg ⁺² (mg l ⁻¹)	K ⁺ (mg l ⁻¹)	Na ⁺ (mg l ⁻¹)	C0 ₃ ⁻ (mg l ⁻¹)	HCO ₃ ⁻² (mg l ⁻¹)	Cl ⁻ (mg l ⁻¹)	SO ₄ ⁻² (mg l ⁻¹)
0.6	7.3	0.4	10.0	77.5	36.0	20.0	18.7	6.8	234.2	27.0	159.5

3.1.5. Araştırmada kullanılan toprak altı damla sulama sisteminin özellikleri

Araştırmada sulama suyu toprak altı damla sulama sistemiyle uygulanmıştır. Sistemin kontrol biriminde; hidrosiklon, kum-çakıl filtre tankı, elek filtre, basınç düzenleyiciler, su sayaçları, vanalar, bağlantı parçaları, gübre tankı ve gübre enjeksiyon sistemi bulunmaktadır. Sulama sistemi PE borulardan oluşan ana hat, manifold (yan boru hatları), lateraller ve damlatıcılardan oluşmaktadır. Farklı konulara uygulanan sulama suyu miktarı, sisteme monte edilen su sayacı aracılığı ile ölçülmüştür. Lateraller üzerinde 2.1 l saat⁻¹ debili ve 40 cm aralıklı damlatıcılar bulunan 16 mm PE borulardır. Lateraller her bitki sırasına bir lateral olacak şekilde 70 cm aralıkla ve toprak altına 25 ve 50 cm olmak üzere iki farklı derinlikte yerleştirilmiştir.

3.1.6. Araştırmada kullanılan bitkisel materyal

Araştırmada bitkisel materyal olarak, Türkiye’de şeker sorgum olarak yetiştirilen iki çeşitten biri olan BATEM (Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü) adına tescilli Uzun (*Sorghum bicolor L.*) çeşidi kullanılmıştır. Tatlı sorgum Afrika kökenlidir ve Poacea familyasından Andropogonae Takımı’na aittir (Chopra 1982). Sorgum bitkisinin toplam kütlesinin, %70-75’i saptan, %10-15’i yapraktan, %7’si taneden ve %10’u köklerden meydana gelmektedir (Grassi, 2000). Şeker içeriği oldukça yüksek bir bitkidir. Sap kısmında sakkaroz, fruktoz ve glikoz gibi 14’ten fazla şeker çeşidi bulunmaktadır. Bitkinin şeker içeriği en fazla saplarda (%78.2), daha sonra salkım (%2.99) ve yapraklarda (%2.54) bulunur. Şeker üretimi için bitkinin sapsı kullanılır. Sorgum bitkisinin besin bileşiminin %35-50’si selüloz, %20-30’u hemiselüloz ve %15-25’si ligninden oluşur (Grassi 2000). Sorgum bitkisinin gelişim ve büyüme dönemleri, vejetatif, generatif ve fizyolojik olgunluk olmak üzere üç döneme ayrılmaktadır (Şekil 3.2).



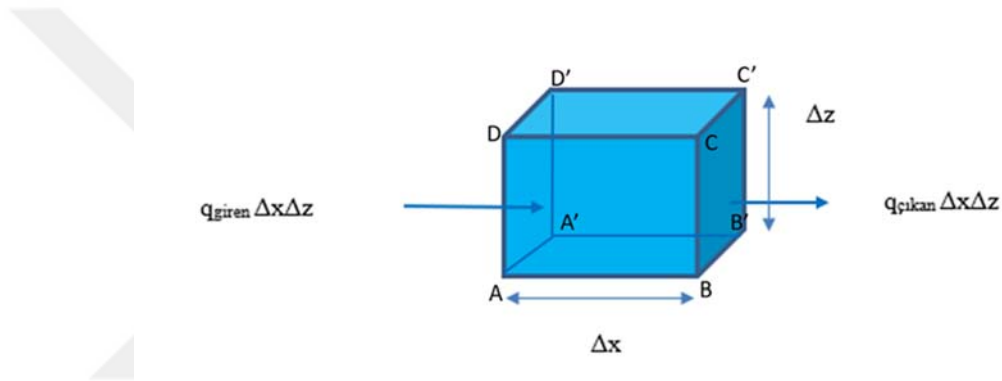
Şekil 3.2. Sorgum bitkisinin gelişme dönemleri (Murty vd. 1994; Allamine 2021)

3.1.7. Araştırmada kullanılan sayısal model

Araştırmada, HYDRUS/2D (Lisans numarası: 1002) sayısal modeli kullanılmıştır. HYDRUS/2D modeli, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Tarımsal Araştırma İstasyonu, Riverside, California’da geliştirilmiş olup yağış, sulama suyu miktarı, derine sızma, evaporasyon, kök su alımı, transpirasyon, toprak suyu depolama, kılcal yükselme, drenaj gibi parametrelerin işleyiş süreçlerini simüle etmek için kullanılmaktadır (Simunek vd. 2012). HYDRUS/2D, toprak içerisinde sürekli akışın olmadığı doymuş ve doymamış koşullar için Richards eşitliğinin iki boyutlu sayısal çözümünü bilgisayar ortamında çalıştıran bir programdır. Program, sonlu eleman yöntemini kullanarak, su akışı için Richards denklemini sayısal olarak çözer. Richards denklemi, süreklilik denkleminde ve Darcy yasasından türetilmiştir.

Suya doymun olmayan ancak toprak su içeriğinin zamanla değişmediği ($d\theta/dt = 0$) ve sabit olduğu kararlı koşullar altında, Darcy-Buckingham denklemi toprak su akışının hesaplanmasında güvenli bir şekilde kullanılabilir. Ancak su akışının ve toprak su

içeriğinin sabit olmadığı ($\partial q/\partial z \neq 0$) koşullar altında, su hareketinin tanımlanabilmesi için, Darcy denklemine ek olarak başka bir bağlantı gereklidir. Çünkü, sulama uygulamaları sırasında oluşan infiltrasyon olayının tanımlanabilmesi, yani toprak profili boyunca hem su içeriğinin zamanla değişmesi hem de su akısını farklı derinliklerdeki değişimini belirlemek için Darcy denklemi yetersiz kalmaktadır. İkinci bir denklemin oluşturulabilmesi (veya ikinci bir bağlantı) için, koordinat sistemine göre sınırları belirlenebilen, küp şeklinde bir toprak hacmi değerlendirilirse, küp şeklindeki toprak elementine A'B'C'D' yüzünden x eksenini doğrultusunda, içeri giren suyun akısı sabit olmayıp, akım yolu doğrultusunda değeri değişmektedir ($\partial x/\partial z \neq 0$) ve dolayısı ile küp içerisindeki su içeriği de zamanla değişecektir ($\partial \theta/\partial t \neq 0$). Küp içine A'B'C'D' yüzünden giren su miktarı ile ABCD yüzünden çıkan su miktarı arasında bir fark varsa, bu fark küp içerisindeki Δt süresi içinde su içeriği içindeki değişime eşittir (Şekil 3.3) (Kırda ve Sarıyev 2012).



Şekil 3.3. Kararsız toprak su hareketine ilişkin, üç boyutlu ortamda su akısının değişimini gösteren model

Kütle dengesi, iki boyutlu olacak şekilde yazılırsa,

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\Delta (\sum q_{giren} - \sum q_{çıkan})}{\Delta x} + \frac{\Delta \sum q_{giren}}{\Delta z} \quad (3.1)$$

veya,

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x} - \frac{\partial q}{\partial z} \quad (3.2)$$

Eşitlikte θ , hacimsel su içeriğini ($L^3 L^{-3}$); q , su akısını ($L T^{-1}$); t , zamanı (T); x , yatay koordinatı ve z , dikey koordinatı göstermektedir.

Yatay ve dikey su akısı Darcy yasası ile şu şekilde tanımlanabilir:

$$q_x = -K \frac{\partial H}{\partial x} \quad (3.3)$$

$$q_z = -K \frac{\partial H}{\partial z} \quad (3.4)$$

Eşitlikte K, hidrolik iletkenliği ($L T^{-1}$); H, hidrolik yükü (L) göstermektedir.

Eşitlik 3.3 ve 3.4'ü 3.1'de yerine koyduğumuzda, eşitlik 3.5 elde edilir.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial H}{\partial z} \right] \quad (3.5)$$

Dikey yön için suyun hidrolik yükü; $H = h + z$ olarak tanımlanır ve denklemde yerine konulduğu zaman, Richards eşitliği elde edilir (Eşitlik 3.6). Burada hidrolik iletkenlik ve hacimsel su içerikleri laboratuvar ve arazi koşullarında belirlenebilir ancak hidrolik iletkenlik ve hacimsel su içeriği HYDRUS programında toprağın bünyesi ve hacim ağırlığı verileri ile tahmin edilebilmektedir. $H = h + z$ bağlantısında, h, suya doymamış koşullarda ($h < 0$), yaygın olarak matriks veya kapiler yük, suya doymuş koşullarda ($h > 0$) ise basınç yükü olarak adlandırılır ve uzunluk (L) birimi ile ölçülür. Eşitlikte z, konum yüksekliği olarak ifade edilir ve uzunluk (L) birimi ile ölçülür.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] \quad (3.6)$$

Kökler tarafından su alımı $S(h)$, denkleme dahil edildiği zaman, Eşitlik 3.6 Eşitlik 3.7'ye dönüşür.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S(h) \quad (3.7)$$

$S(h)$ terimi, bitki su alımı nedeniyle birim hacimdeki topraktan birim zamanda çıkarılan su hacmini temsil eder. Feddes vd. (1976), $S(h)$ 'yi şu şekilde tanımlamıştır,

$$S(h) = \alpha(h) S_p \quad (3.8)$$

Eşitlikte $\alpha(h)$, toprak-su basınç yükünün su stresi tepki fonksiyonu ($0 \leq \alpha \leq 1$) (L^{-1}); S_p , ($\alpha(\square) = 1$) olmadığı dönemlerde su alım oranını ifade etmektedir.

Potansiyel su alım hızı, iki boyutlu bir dikdörtgen kök alanı üzerinde eşit olarak dağıtıldığında, S_p aşağıdaki şekilde ifade edilir (Eşitlik 3.9)

$$S_p = \frac{1}{L_x x L_z} S_t T_p \quad (3.9)$$

Eşitlikte T_p , potansiyel transpirasyon hızı ($L T^{-1}$) ($m s^{-1}$ olarak da yazılabilir.); L_z , kök bölgesinin uzunluğunu (L); L_x , kök bölgesinin genişliğini (L); S_t , transpirasyon süreci ile ilişkili olan toprak yüzeyinin genişliğini (L) göstermektedir.

Eşitlik 3.9, rastgele bir şekle sahip bir kök bölgesi üzerinde potansiyel su alım hızının eşit olmayan bir dağılımını ortaya koyarak genelleştirilebilir (Eşitlik 3.10):

$$S_p = b(x, z) S_t T_p \quad (3.10)$$

Gerçek su alımı dağılımı Eşitlik 3.10, Eşitlik 3.7'de değiştirilerek elde edilir, Eşitlik 3.8'de S_p yerine eşitlik 3.10 da verilen tanımı konulursa gerçek su alımı dağılımı şu şekilde ifade edilir;

$$S(h) = \alpha(h) b(x, z) S_t T_p \quad (3.11)$$

Eşitlikte $b(x, z)$ stressiz koşullarda kök su alımının boyutsuz uzaysal dağılımını göstermektedir ($L^2 L^{-2}$). Bu fonksiyon, S_p değerinin, kök bölgesi üzerindeki değişimini tanımlamaktadır.

Vrugt vd. (2001), tek tip olmayan durumlar için iki boyutlu kök dağılımı $b(x, z)$ 'yi şu şekilde tanımlamıştır:

$$b(r, z) = \left[\left(1 - \frac{z}{z_m} \right) \right] \left[1 - \frac{r}{r_m} \right] e^{-\left[\left(\frac{p_z}{z_m} \right) |z^* - z| + \left(\frac{p_r}{r_m} \right) |r^* - r| \right]} \quad (3.12)$$

Eşitlikte r_m , yatay yönde maksimum köklenme uzunluğu (L); z_m , derinlik yönü (L); p_z , z^* , p_r ve r^* ; simetrik olmayan kök geometrilerini tanımlayabilen ampirik parametreleri ifade etmektedir.

HYDRUS/2D programında, su akışının doğru belirlenebilmesi için başlangıç su içeriği ve van Genuchten toprak hidrolik parametrelerinin (şekil parametreleri) bilinmesi gerekir.

Van Genuchten fonksiyonları şu şekilde tanımlanır (Van Genuchten, 1980),

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (3.13)$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (3.14)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, m = 1 - \frac{1}{n} \quad (3.15)$$

Eşitliklerde θ , hacimsel su içeriğini ($L^3 L^{-3}$); θ_s , doymuş hacimsel su içeriğini ($L^3 L^{-3}$); θ_r , hacimsel olarak kalıcı su içeriğini ($L^3 L^{-3}$); K_s , doymuş hidrolik iletkenliği (LT^{-1}), l , gözenek boyutu dağılımını; S_e , etkili su içeriğin, ($L^3 L^{-3}$); α , ampirik sabit değerini (L^{-1}), m , n , ampirik sabitleri; h , basınç yükünü (L) ifade eder. Ampirik sabitler, eğrinin şeklini tanımlayan uygun parametrelerdir.

HYDRUS/2D modelinde farklı toprak suyu basıncında toprağın tutabileceği hacimsel su içeriği (θ) Eşitlik 3.16 yardımıyla belirlenmektedir (Van Genuchten 1980). Su tutma eğrisi için Van Genuchten–Mualem (Mualem 1976; Van Genuchten 1980) formülasyonunun kombinasyonu, doymamış koşullarda hidrolik iletkenlik fonksiyonunu açıklamak için kullanılmaktadır (Simunek vd. 2008).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (3.16)$$

Eşitlikte θ , hacimsel su içeriğini ($L^3 L^{-3}$); h , basınç yükünü (matris potansiyel) (L); θ_s : doymuş su içeriğini ($L^3 L^{-3}$); θ_r , hacimsel olarak kalıcı su içeriğini ($L^3 L^{-3}$); (L^{-1}), $n > 1$, n ve m : parametre ve m : $1 - 1/n$ olarak ifade edilmektedir.

HYDRUS/2D modelinde, iki boyutlu kök su alımı, Feddes vd. (1978) tarafından geliştirilen su stresinin fonksiyonu olan potansiyel transpirasyona dayalı olarak Eşitlik 3.17 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S(x, z) = \alpha(x, z)b(x, z)L_t T_p / w_c \quad (3.17)$$

Eşitlikte S , bitkinin birim topraktan çıkardığı su hacmini ($L T^{-1}$); α , su stresi nedeniyle kök su alımını maksimum değerinden azaltan su stresi fonksiyonunu (L^{-1}); b , normalleştirilmiş su alım dağılımını ($L^2 L^{-2}$); L_t , terleme süreciyle ilişkili toprak yüzeyinin ıslanan yarıçapını (L); T_p , potansiyel terleme hızını ($L T^{-1}$); w_c , su stresi indeksini; x, z , sırası ile yatay ve dikey alan yönleri göstermektedir.

HYDRUS/2D modelinde, evaporasyon ve transpirasyon değerlerinin programa ayrı ayrı girilmesi gerekir. Evaporasyon ve transpirasyon değerleri Eşitlik 3.18, 3.19, 3.20 ve 3.21 yardımı ile hesaplanmıştır (Blonquist vd. 2006).

$$E = ET_c x e^{-kxYAI} \quad (3.18)$$

$$T = ET_c - E \quad (3.19)$$

Eşitlikte k , güneş radyasyonu için bir katsayıyı (0.39); YAI, bitkinin yaprak alan indeksini; ET_c , bitki su tüketimini (mm); E , toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşma miktarını (evaporasyon) (mm); T , transpirasyon miktarını göstermektedir.

$$ET_c = ET_o \times k_c \quad (3.20)$$

$$ET_o = E_p \times k_p \quad (3.21)$$

Eşitlikte, ET_o ; Kıyas bitki su tüketimini (mm gün⁻¹), k_c , bitki katsayısını; k_p , buharlaşma kabı katsayısını ve E_p , kaptan ölçülen buharlaşma miktarını (mm gün⁻¹) göstermektedir. k_p pan katsayısı, buharlaşma kabının yerleştirildiği çevre koşullarına göre 0.75 olarak belirlenmiştir (Doorenbos ve Pruitt 1977).

3.2. Metot

3.2.1. Araştırma konuları

Araştırma, tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 yinelemeli olarak yürütülmüştür. Araştırmada, üç farklı sulama suyu düzeyi (yığışimli kıyas bitki su tüketim miktarı 25±5 mm'ye ulaştığında, %33, %66 ve %100'ü kadar (kontrol konusu) sulama suyu uygulanması) ve iki farklı lateral derinliği (25-50 cm) kullanılmıştır. Ayrıca, yağışa dayalı (hiç sulanmayan, susuz) bir konu oluşturulmuştur. Araştırma konuları Çizelge 3.5'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Çizelge 3.5. Araştırma konuları

Konu	Açıklama
D0S0	Sulama uygulamasının olmadığı (yağışa bağlı) konu.
D25S33	Lateral derinliğinin 25 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25±5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün sulama suyu olarak uygulandığı konu
D25S66	Lateral derinliğinin 25 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25±5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulandığı konu
D25S100	Lateral derinliğinin 25 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25±5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün sulama suyu olarak uygulandığı konu (kontrol konusu)

Çizelge 3.5'in devamı

D50S33	Lateral derinliğinin 50 cm olduğu yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün sulama suyu olarak uygulandığı konu
D50S66	Lateral derinliğinin 50 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulandığı konu
D50S100	Lateral derinliğinin 50 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün sulama suyu olarak uygulandığı konu (kontrol konusu)

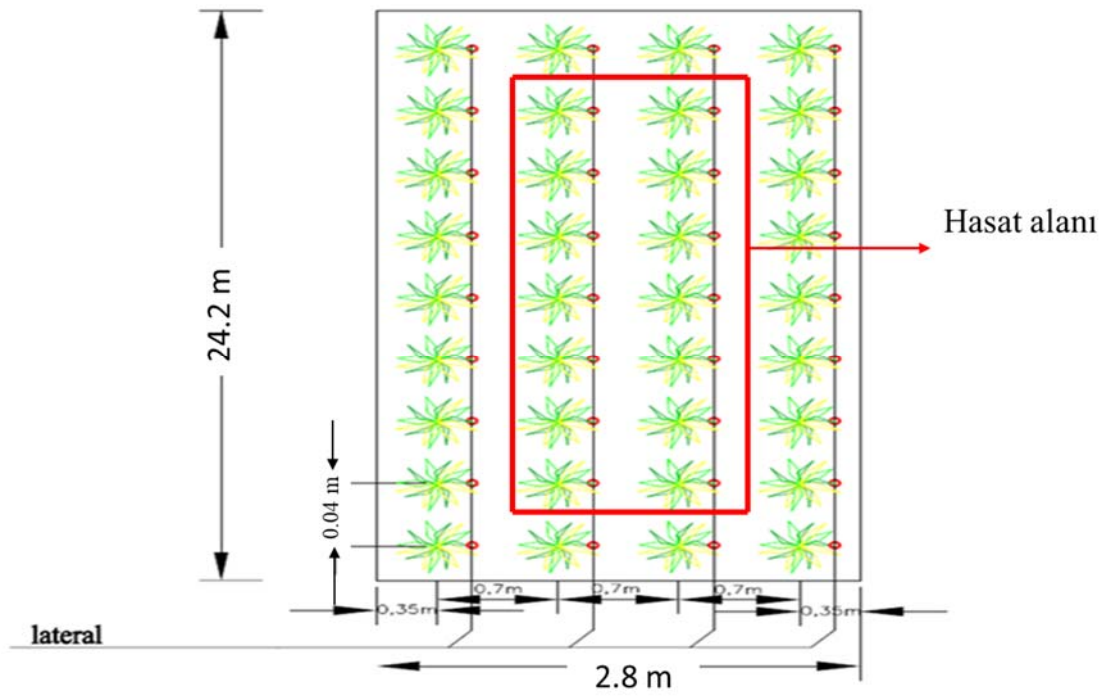
3.2.2. Deneme deseni

Araştırma iki yetiştirme mevsiminde (2020 ve 2021) tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak 21 deneme parselinde yürütülmüştür. Her parselde 4 bitki sırası bulunmakta ve parsel genişliği 2.8 m, parsel uzunluğu 24.20 m olmak üzere her parselin alanı 67.76 m^2 olarak belirlenmiştir. Blok ve parseller arasında 2.5 m mesafe vardır. Araştırmada uygulanan deneme planı Şekil 3.4'de parsel detayı ise Şekil 3.5'de verilmiştir.

D25S33 (1)
D25S66 (3)
D25S100 (2)
D25S66 (2)
D25S33 (2)
D0S0 (3)
D25S100 (1)
D25S66 (1)
D25S33 (3)
D0S0 (1)
D25S100 (3)

D50S100 (3)
D50S33 (1)
D50S66 (3)
D50S100 (1)
D50S33 (2)
D0S0 (2)
D50S66 (1)
D5S33 (3)
D50S66 (2)
D50S100 (2)

Şekil 3.4. Araştırmada uygulanan deneme planı



Şekil 3.5. Araştırmada uygulanan parsel detayı

3.2.3. Toprak hazırlığı, ekim ve kültürel uygulamalar

Araştırma ilk yıl 15.05.2020-04.09.2020, ikinci yıl 17.05.2021-20.08.2021 tarihleri arasında olmak üzere iki yetiştirme mevsiminde yürütülmüştür. Her iki mevsimde de hasat çiçeklenme döneminin sonunda yapılmıştır. İlk yıl 10.05.2020 tarihinde toprak işlenmiş ve toprağın tesviyesi yapılmıştır. 12.05.2020 tarihinde deneme desenine uygun olacak şekilde sulama sistemi kurulmuştur. Lateraller 25 ve 50 cm olmak üzere toprak altına iki farklı derinlikte yerleştirilmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde, 15.05.2020, ikinci yetiştirme mevsiminde 17.05.2021 tarihinde tohumlar 5 cm derinliğinde mibzer yardımı ile araziye ekilmiştir (Şekil 3.6). Her iki yetiştirme mevsiminde de tohum ekimiyle beraber yetiştirme alanına, $8 \text{ kg da}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ (Triple Süper Fosfat) ve 7 kg da^{-1} azot (%33 Amonyum nitrat) verilmiştir. İki yetiştirme mevsiminde de bitki boyu 35-40 cm'ye ulaştığı zaman dekara 7 kg azot (%33 Amonyum nitrat), sulama sisteminde bulunan gübre tankı ile fertigasyon şeklinde bitki köklerine uygulanmıştır (Acar vd. 2001). Bitkilerde Sitobion avenae (yaprak biti) zararlısı ve yaprak yanıklığı hastalığı görülmüştür. Yaprak biti için lambda-cyhalothrin ilacı (10 cc da^{-1}), yaprak yanıklığı için bakır oksit ilacı uygulanmıştır.



Şekil 3.6. Mibzerle tohum ekimi

3.2.4. Toprak nem içeriğinin izlenmesi

Araştırmada toprak nem içeriğini belirlemek amacı ile profil prob (PR2) aleti kullanılmıştır. Toprak neminin farklı derinliklerdeki sensörler yardımıyla belirlenebilmesi için, tam sulanan konularda lateralden 5-15-30 cm, diğer konularda ise 10 cm uzaklığa iki tekerrür olacak şekilde 90 cm derinliğe kadar inen akses tüpleri yerleştirilmiştir. Toprak nem değerleri toprak yüzeyinden 10, 20, 30, 40, 60 ve 90 cm derinliklerde ölçülmüştür. Profil prob aleti ile her sulamadan önce ve sonra toprak nemi takip edilmiştir. PR2 aleti toprak neminin izlenmesinde kullanılmadan önce deneme alanı topraklarında kalibre edilmiştir. Kalibrasyon eğrisinin elde edilmesinde Dhakal vd. (2019) tarafından verilen yöntem izlenmiştir. Bu yöntemde hacimsel toprak su içeriği (θ_v) Eşitlik 3.22’de verilmiştir.

$$\theta = \frac{\sqrt{\epsilon} - a_0}{a_1} \quad (3.22)$$

$$\sqrt{\epsilon} = 1.125 - 5.53V + 67.17V^2 - 234.42V^3 + 413.56V^4 - 356.68V^5 + 121.53V^6 \quad (3.23)$$

Eşitlikte θ_v , hacimsel toprak su içeriğini ($m^3 m^{-3}$); ϵ , toprağın permittivitesini; V, profil prob aletinden okunan voltajı (V); a_0 ve a_1 , kalibrasyon katsayılarını göstermektedir. a_0 ve a_1 değerleri üretici firma tarafından, organik topraklar için sırasıyla, 1.3 ve 7.7, mineral topraklar için 1.6 ve 8.4 olarak verilmektedir. Deneme alanı

toprakları için kalibre edilen a_0 ve a_1 değerleri sırasıyla, 2.3 ve 4.3 olarak belirlenmiştir ($R^2 = 0.92$).

Belirlenen sulama günlerinden önce her konuda 0-30, 30-60, 60-90 cm olmak üzere üç farklı derinlikten toprak örnekleri alınarak, (gravimetrik yöntem ile) toprak nem içeriği belirlenmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde tüm konularda 17.06.2020, 30.06.2020, 14.07.2020, 27.08.2020 ve 04.09.2020 tarihlerinde, ikinci yetiştirme mevsiminde ise 18.05.2021, 7.06.2021, 24.06.2021, 29.06.2021, 06.07.2021, 18.07.2021, 05.08.2021, 20.08.2021 tarihlerinde gravimetrik toprak örnekleri alınmıştır. Çalışmada sulama programlaması toprak nem içeriğine göre yapılmamıştır. Toprak nem içeriği kontrol amacıyla takip edilmiş olup, gravimetrik toprak örnekleri HYDRUS programında kalibrasyon ve doğrulama aşamasında kullanılmıştır.

3.2.5. Uygulanacak sulama suyu miktarının hesaplanması

Sulama zamanı ve sulama suyu miktarının belirlenmesinde A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen günlük buharlaşmanın pan katsayısı ile düzeltilmesi ile elde edilen yığışimli kıyas bitki su tüketimi değerlerinden (Eşitlik 3.24 ve Eşitlik 3.25) yararlanılmıştır.

$$ET_o = k_p \times E_p \quad (3.24)$$

$$I = ET_o \times k_c \times P \times A \quad (3.25)$$

Eşitlikte, ET_o ; kıyas bitki su tüketimini (mm/gün), k_p ; buharlaşma kabı katsayısını, $ve E_p$; kaptan ölçülen buharlaşma miktarını (mm/gün); I, uygulanan net sulama suyu miktarını (litre); k_c , bitki katsayısını (GTHB 2017); P, ıslatma yüzdesini; A, sulanacak alanı, (m^2); ifade etmektedir. k_p katsayısı, buharlaşma kabının yerleştirildiği çevre koşullarına göre 0.75 olarak belirlenmiştir (Allen vd. 1998).

Her bitki sırasına bir lateral hattı döşendiği için bitki sıra arası ve lateral aralığı birbirine eşittir ve ıslatılan alan oranı aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır (Güngör ve Yıldırım 1989; Yıldırım 2013).

$$P = k \times \frac{S_d}{S_l} \quad (3.26)$$

Eşitlikte, P, ıslatılan alan oranı; k, katsayı (Tarla bitkileri için $k=1$ alınmıştır); S_d , damlatıcı aralığı (m); S_l , lateral aralığını göstermektedir. Bu çalışmada ıslatılan alan oranı 0.60 olarak belirlenmiştir. Damlatıcı aralığı (S_d), infiltrasyon hızı 10 mm h^{-1} değerine göre 40 cm olarak belirlenmiştir.

İlk sulama 90 cm toprak profilindeki kullanılabilir su tutma kapasitesinin %40-45'i tüketildiğinde eksilen nemin tarla kapasitesine tamamlanması şeklinde yapılmış, sonraki sulamalar ise yığışimli kıyas bitki su tüketim (ET_o) miktarı $25 \pm 5 \text{ mm}$ 'ye ulaştığında yapılmıştır.

3.2.6. Bitki su tüketiminin hesaplanması

Bitki su tüketiminin hesaplanmasında Eşitlik 3.27’de verilen su bütçesi eşitliği kullanılmıştır (James 1988).

$$ET = I + P + K_{py} - D_s - R \pm \Delta S \quad (3.27)$$

Eşitlikte, ET, bitki su tüketimi (mm); I, sulama suyu miktarı (mm); P, yağış (mm); D_s , derine sızma (mm); K_{py} , kapillar yükselme ile gelen su miktarını; R, yüzey akışını (mm); ΔS , toprak profilindeki nem değişimini ifade etmektedir.

Araştırmada sulama suyu miktarı, sistemde yerleştirilen su saatleri ile ölçülürken, yağış miktarı ise meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir. Taban suyu problemi olmadığı, toprak altı damla sulama yöntemi ile sulama yapıldığı ve etkili kök derinliğinde ölçülen toprak nemi tarla kapasitesinin üzerine çıkmadığından, kapillar yükselme, yüzey akış ve derine sızma değerleri sıfır olarak kabul edilmiştir.

3.2.7. Biyoetanol verimi için su kullanım randımanı (WUE_b) ve sulama suyu kullanım randımanı ($IWUE_b$)

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularında belirlenen bitki su tüketimi ve biyoetanol verimleri kullanılarak hesaplanan su kullanım randımanı Eşitlik 3.28’de verilmiştir.

$$WUE_b = \frac{V_b}{ET} \quad (3.28)$$

Eşitlikte WUE_b , biyoetanol verim değerlerine bağlı olarak hesaplanan su kullanım randımanını ($l\ m^{-3}$); V_b , biyoetanol verimini ($l\ ha^{-1}$), ET, bitki su tüketimini (mm) ifade etmektedir.

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularında uygulanan sulama suyu miktarları ve biyoetanol verimleri kullanılarak hesaplanan sulama suyu kullanım randımanı Eşitlik 3.29’da verilmiştir.

$$IWUE_b = \frac{V_b - V_{b\ susuz}}{S_s} \quad (3.29)$$

Eşitlikte $IWUE_b$, biyoetanol verim değerlerine bağlı olarak hesaplanan sulama suyu kullanım randımanı ($l\ m^{-3}$); V_b , biyoetanol verimi ($l\ ha^{-1}$), $V_{b\ susuz}$, susuz konudan elde edilen biyoetanol verimi ve S_s , uygulanan sulama suyu miktarı (mm)’dir.

3.2.8. Verim tepki etmeni (k_y)

Verim tepki etmeni, su eksikliğinin bitki verimine olan etkisinin bir göstergesi olarak tanımlanır. Eşitlik 3.30 yardımı ile hesaplanmıştır (Stewart vd., 1977).

$$1 - (Y_a \times Y_m^{-1}) = k_y \times [1 - (ET_a \times ET_m^{-1})] \quad (3.30)$$

Eşitlikte Y_a , bitkinin yetiştirildiği koşullarda gerçek bitki su tüketimine karşılık elde edilen gerçek verimi (kg ha^{-1}); Y_m , yetiştirme mevsimi boyunca herhangi bir su eksikliğinin olmadığı maksimum su tüketimine karşılık elde edilen verimi (kg ha^{-1}); k_y , evapotranspirasyondaki birim azalmaya karşılık verimdeki azalmayı gösteren verim tepki etmenini; ET_a , bitkinin yetiştirme mevsimi boyunca gerçek bitki su tüketimini (mm) ve ET_m , bitkinin yetiştirme mevsimi boyunca herhangi bir su eksikliğinin olmadığı koşulda maksimum su tüketimini (mm) göstermektedir.

3.2.9. Yaprak alan indeksinin belirlenmesi

Yaprak alanını belirlemek için haftalık olarak, her konudan alınan altı bitkinin herbirinin üst, orta ve alt kısmındaki iki yaprağının en ve boy uzunlukları ölçülmüştür. Her yaprağın en ve boy uzunlukları çarpıldıktan sonra bulunan alan 0.75 düzeltme katsayısı ile çarpılıp yaprak alanı belirlenmiştir (Elings 2000). Bu değer bitkideki yaprak sayısı ile çarpılıp, bitkinin kapladığı alana bölünerek YAI değerleri hesaplanmıştır (Eşitlik 3.31).

$$YAI = \frac{YAx n_y}{BA} \quad 3.31$$

Eşitlikte YAI, Yaprak alan indeksi; YA, bitkideki yaprakların alanı (cm^2); BA, bitki alanı (cm^2); n_y , yaprak sayısını ifade etmektedir. BA, 70×5 cm olarak hesaplanmıştır (Addai ve Alimiyo 2015).

3.2.10. Bitki boyu ölçümü

Bitki boyunu belirlemek amacıyla, bitkinin kök boğazından büyüme noktasının ucuna kadar olan uzunluk (m), haftada bir kez her deneme konusunda altı bitkide mira yardımıyla ölçülerek belirlenmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 3.7. Bitki boyu ölçümü

3.2.11. Stoma iletkenliği ölçümleri

Stoma iletkenliğinin ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) belirlenmesi amacıyla SC-1 (Decagon Devices Inc) taşınabilir porometre aleti kullanılmıştır. Stoma iletkenliği değeri hafta bir kez sulamadan sonra, her konuda altı bitkideki genç yapraklardan ölçüm alınarak belirlenmiştir. Ölçümler 13:00-14:30 saatleri arasında, güneşli ve bulutlanmanın olmadığı günlerde yapılmıştır. Her ölçüm öncesinde porometre aleti kalibre edilmiştir.

3.2.12. Klorofil indeks içeriğinin belirlenmesi (CCI)

Araştırmada yaprak klorofil indeks içeriği, Apogee CCM-200 Plus cihazı ile her hafta her konuda altı bitkiden ölçüm yapılarak belirlenmiştir. Ölçümler her bitkinin orta yaprağından yaprak damarı ile yaprak kenarı arasında kalan bölgeden alınmıştır. Günlük ölçümlere başlamadan önce gerekli kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Ölçümler, porometre ölçümlerinde olduğu gibi güneşli ve bulutlanmanın olmadığı saatlerde yapılmıştır.

3.2.13. Hasat sonrası verim ve verim bileşenlerinin belirlenmesi

3.2.13.1. Yaş ot verimi

Yaş ot verimi (kg da^{-1}), her iki yetiştirme mevsiminde de her parseldeki dört sorgum sırasından kenarlarda kalan bir sıra ve parsel başlarından ve sonlarından 1 m kenar etkisi olarak bırakıldıktan sonra ortadaki iki sırada yer alan bitkilerin tamamı hasat edilerek tartılmış ve yaş ot verimi belirlenmiştir. Parsel başına yaş ot verimi dekara çevrilerek dekara yaş ot verimi hesaplanmıştır.

3.2.13.2. Kuru ot verimi

Kuru ot verimi (kg da^{-1}), her konunun hasat edilen bitkilerinde yaş ağırlıkları tartılan dokuz adet bitkinin 78°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat süreyle kurutularak belirlenmiştir. Her konunun tartılması yoluyla belirlenen kuru ağırlıklarda gerekli dönüşümler yapılarak kuru ot verimi hesaplanmıştır.

3.2.13.3. Başak, sap ve yaprak ağırlığı

İki yetiştirme mevsiminde de hasat edilen bitkilerden her konudan 9 bitki seçilmiştir. Seçilen bitkilerin başak, sap ve yaprakları ayrılarak tartılmıştır.

3.2.13.4. Özsü verimi

Özsü verimi (l da^{-1}), her konudan hasat edilen bitkilerden 50 adedinin yaprakları soyulup çiçek salkımları kesildikten sonra, örnekler sap parçalayıcı – doğrayıcı ile parçalanıp; preslenmesi, çıkarılan sırasının (özsuyu) dereceli ölçü silindiri ile ölçülmesi ve dekara çevrilmesi yoluyla hesaplanmıştır.

3.2.13.5. Briks (suda çözünmüş kuru madde oranı)

Briks (suda çözünmüş kuru madde oranı), her konudan alınan örneklerin, preslenip sırası alındıktan sonra şurupta refraktometre cihazı (Greinorm 0-90 briks) ile yüzde (%) olarak belirlenmiştir.

3.2.13.6. Şeker Bileşimi

Alınan örneklerde şeker kompozisyonunu (glukoz, fruktoz, sakaroz) gözlemlemek amacıyla şeker miktarının belirlenmesinde RefractoMax 520 kırılma indisi detektörü, otomatik örnekleyici, kolon fırını ve bilgisayar kontrolü ile donatılmış bir HPLC (Thermo Scientific UltiMate 3000, Dreieich, Almanya) cihazı kullanılmıştır. Analiz edilecek örnekler ultra saf su ile 20 kat seyreltilip katı partikülleri uzaklaştırmak için filtreden (Chromafil PET-45/25) geçirilmiştir. Filtreden geçirilen örnekler analiz için amber viallere aktarılmıştır. Analiz, 0.6 ml dk⁻¹ akış hızında, 10 µL enjeksiyon hacmine sahip, ultrasaf su mobil faz ve 80°C’de Shodex F6378010 KS-801 kolonu ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kromatogramlardaki değerler ppm’den g l⁻¹ birimine çevrilip kaydedilmiştir.

3.2.13.7. Fermentasyonda kullanılan mikroorganizma

Fermentasyon işlemlerinde Amerikan Tip Kültür Koleksiyonu’ndan (Monnos, VA) temin edilen *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 36858) mikroorganizması kullanılmıştır. Mikroorganizma, 50 g l⁻¹ glukoz, 6 g l⁻¹ yeast ekstrakt, 4 g l⁻¹ (NH₄)₂SO₄, 1.5 KH₂PO₄, 1 g l⁻¹ MgSO₄.7H₂O ve 0.3 g l⁻¹ CaCl₂.2H₂O içeren besiyeri ortamında geliştirilmiştir (Turhan vd. 2010). Mikroorganizma, etüvde 30 °C’de 48 saat inkübe edildikten sonra +4 °C’de stok kültür formunda muhafaza edilmiştir. Fermentasyon ortamı için ise mikroorganizmanın 30 °C ve 150 rpm’de 24 saat boyunca çalkalamalı inkübatörde ön kültür formunda gelişimi sağlanmıştır. Stok kültürler her ay yenilenerek muhafaza edilmiştir. Uzun süreli kullanılmama durumunda ise %20’lik gliserol içerisinde -80 °C’de saklanmıştır (Erkan vd., 2022).

3.2.13.8. Biyoetanol üretimi ve analizi

Her konuya ait parsellerden hasat edilen bitkiler, pres makinasından geçirilerek özsuları (sıvı ekstraktlar) çıkarılmış, kavanoz ve tüplere aktararak Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümüne biyoetanol üretimleri ve şeker analizleri için getirilmiştir. Sorgum örneklerine ait olan sıvı ekstraktlar, cam kavanozlarda yaklaşık 15 gün muhafaza edildikten sonra +4 C ye aktararak biyoetanol üretimleri ve analizleri için hazır hale getirilmiştir. Alınan örneklerdeki etanol ve şeker miktarının belirlenmesinde RefractoMax 520 kırılma indisi dedektörü, otomatik örnekleyici, kolon fırını ve bilgisayar kontrolü ile donatılmış bir HPLC (Thermo Scientific UltiMate 3000, Dreieich, Almanya) cihazı kullanılmıştır. Her bir numune santrifüj makinasına (4000 RPM) aktararak 15 dakika santrifüj edilmiş ve süzölmüştür (Şekil 3.8a). Santrifüj işleminden sonra her bir örnekten 100 ml örnek alınarak erlenlere aktarılmıştır. Erlenlere aktarılan örnekler için besiyer ortamı hazırlanmıştır (Şekil 3.8b).

Besiyer ortamı için her 100 ml’lik örnek (erlen içerisinde) için sırasıyla, 0.6 g yeast ekstrakt, 0.4 g (NH₄)₂SO₄, 0.15 g KH₂PO₄, 0.1 g MgSO₄.7H₂O, 0.03 g CaCl₂ ilave edilmiştir. Erlenler otoklava yerleştirilmiş (121 °C, 15 dak.) ve ağız kısımları kapatılmıştır. Otoklav içerisinde sterilizasyon işleminden sonra her erlend 2 ml örnek şeker içeriğini belirlemek için ayrılmıştır (Şekil 2.8d). Kalan çözeltilerin içerisine 1 ml *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 36858) inoküle edilmiştir. Erlenler içerisindeki sıvı sorgum ekstraktları, çalkalamalı inkübatörde 30°C’de 150 rpm’de, 48 saat etanol fermentasyonuna bırakılmıştır (Şekil 2.8c). İşlem sonrası elde edilen fermente besiyeri 5

ml'lik steril şırınga yardımıyla alınarak 0.45 μm 'lik filtrelerden (CHROMAFIL CA-45/25) geçirilip 1.5 ml'lik amberli viallere aktarılmıştır. Ağzıları kapatılan örneklerde UHPLC (Dionex, ultimate 3000, Automated, Fraction collector) cihazı ile etanol ve şeker miktarları analiz edilmiştir. HPLC cihazında, kolon sıcaklığı 70 °C, analiz akış hızı 0.5 ml/dak, enjeksiyon hacmi 20 ml'dir. Analizde detektör RefractoMax520 tipi detektör kullanılmıştır. Analiz, 0,5 ml dk⁻¹ akış hızında, 20 μl enjeksiyon hacmine sahip, 0,01 N H₂SO₄ mobil faz ve 70°C'de Transgenomic ICSep ORH-801 (Apple Valley, MN) kolonu ile gerçekleştirilmiştir (Germec vd. 2017). Elde edilen kromotogramlardaki değerler ppm'den g l⁻¹ cinsine çevrilip kaydedilmiştir.



Şekil 3.8. Biyoetanol analiz aşamaları; **a)** Örneklerin santrifüj makinasına aktarılması; **b)** erlenlere aktarılan örneklere besiyer ortamı hazırlanması; **c)** örneklerin çalkalamalı inkübatöre aktarılması; **d)** örneklerin otoklav içerisinde steril edilmesi

3.2.13.9. Bitki gelişim ve verim parametreleri için yapılan istatistiksel analizler

Yetiştirme mevsimleri boyunca farklı konulardan elde edilen bitki gelişim parametreleri ve hasattan sonra farklı verim parametreleri değerlerinin ortalamalarının istatistiksel analizi için SPSS Statistics Base v23 yazılımı kullanılmıştır. Varyans analiz sonuçlarına göre konulara ait ortalamaların sınıflandırılması 0.05 önem seviyesinde

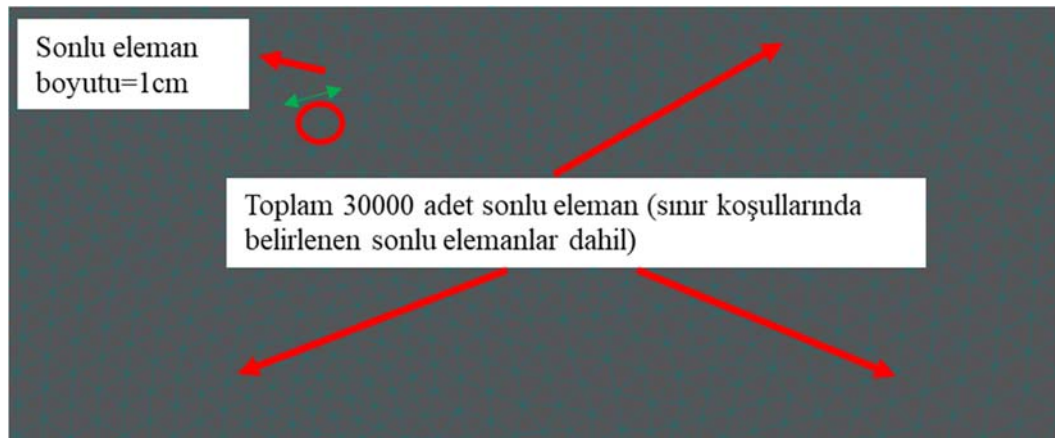
yapılmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılığı karşılaştırmak için LSD çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Gomez ve Gomez 1984).

3.2.14. HYDRUS/2D sayısal modelinin kullanımı

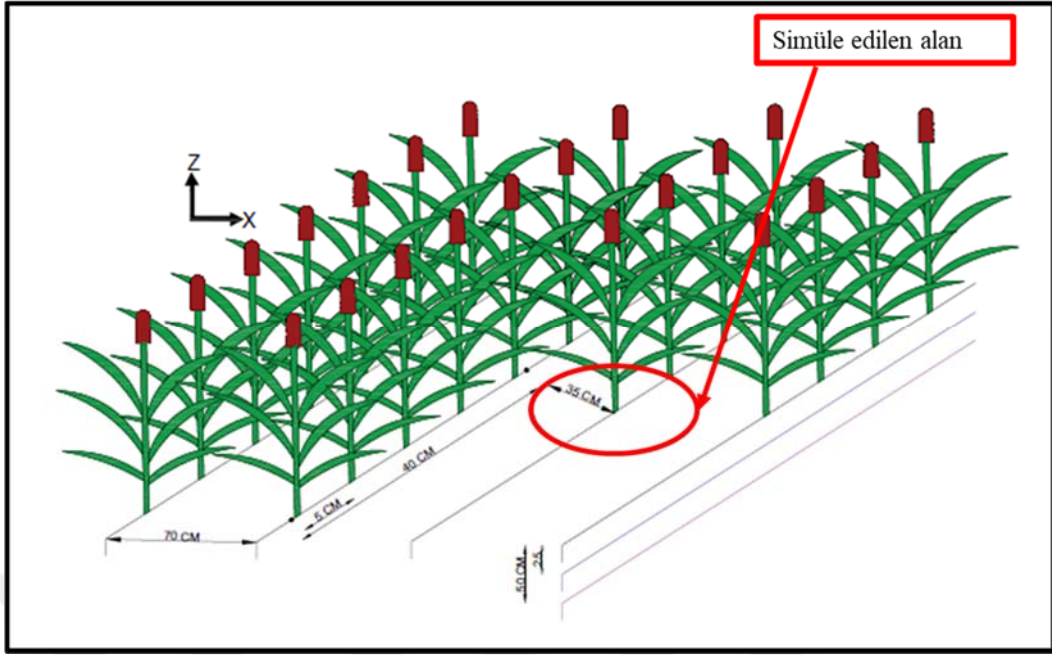
Bu çalışmada, 15.06.2020-05.09.2020 tarihleri arasında yetiştirme mevsiminde, uygulanan sulama suyu miktarı, hesaplanan E ve T değerleri sistemde tanımlanmak suretiyle toprak su içeriği değerleri iki boyutlu olarak simüle edilmiştir. Daha sonra birinci yıl arazi çalışmalarından gravimetrik olarak elde edilen su içeriği değerleri ile simüle edilen su içeriği değerleri kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işleminde van Genuchten toprak hidrolik parametreleri (α , n , K_s şekil parametreleri) simüle edilen su içeriği değerleri, gravimetrik olarak belirlenen su içeriği değerleri ile eşleşene kadar makul aralıklarda ve belirli başlangıç ve sınır koşullarında değiştirilmiştir ve en uygun parametreler belirlenmiştir. Parametrelerin belirlenmesinde, belirleme katsayısı (R^2), hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) eşitlikleri kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi sonucunda, belirlenen şekil parametreleri kullanılarak programda ikinci yıl toprak su içeriği değerleri tahmin edilmiştir. Daha sonra ikinci yıl arazi çalışmalarında gravimetrik olarak elde edilen su içeriği değerleri ile, simüle edilen değerler, R^2 , RMSE ve MAE eşitlikleri kullanılarak karşılaştırılmış ve kalibrasyon işleminin ikinci adımı olan doğrulama süreci tamamlanmıştır.

3.2.14.1. Simüle edilen alanın geometrisi

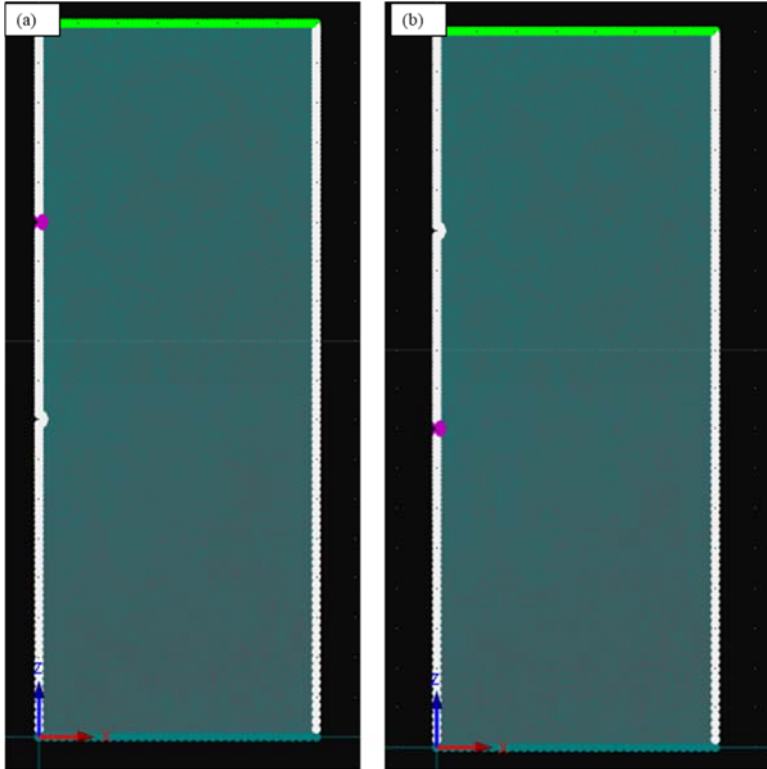
Programda simüle edilen toprak kesiti Şekil 3.9'da verilmiştir. Toprak kesitinin alan geometrisi 35 cm genişliğinde ve 90 cm derinliğinde oluşturulmuştur. Kalibrasyon ve doğrulama süreçlerinde oluşturulan simülasyonların geometrisinde arazi koşullarında olduğu gibi lateraller 25 cm ve 50 cm olmak üzere iki farklı derinliğe yerleştirilmiştir. Sorgum bitkisi, lateral hattının üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.11 a, b). Kesit alanında, her biri 1 cm olan toplam 30000 tane sonlu eleman tanımlanmıştır (Şekil 3.9). Simüle edilen alanın arazideki konumu Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Simüle edilen toprak kesiti



Şekil 3.10. Simüle edilen alanın arazide gösterimi



Şekil 3.11. HYDRUS/2D programında simüle edilen toprak kesiti; **a)** lateralın 25 cm derinliğinde bulunma durumu, **b)** laterin 50 cm derinliğinde bulunma durumu

3.2.14.2.Sınır koşulları

HYDRUS/2D simülasyonları için, simüle edilen toprak kesitinin alanının, üst

kısmı, atmosferik sınır koşulu olarak belirlenmiştir. Atmosferik sınır koşulunda, E ve T değerleri ayrı ayrı ve günlük olarak tanımlanmıştır. E değerleri Eşitlik 3.18 ($E = ET_c x e^{-kxLAI}$) yardımı ile hesaplanmıştır. Eşitlikte ET_c değeri Eşitlik 3.20 ($ET_c = ET_o x k_c$) kullanılarak belirlenmiştir. ET_o değeri Eşitlik 3.21 ($ET_o = E_p x k_p$) yardımı ile hesaplanmıştır. E_p değeri günlük olarak A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşma ölçülerek belirlenmiştir. k_p katsayısı, buharlaşma kabının yerleştirildiği çevre koşullarına göre 0.75 olarak belirlenmiştir. k_c katsayısı sorgum bitkisinin gelişme dönemlerine göre belirlenmiştir. Eşitlik 3.18’de k katsayısı 0.39 olarak alınmıştır (Ritchie 1972; Feddes vd.1978). YAI değeri, haftalık olarak ölçülen YAI değerlerinin interpolasyonu ile günlük olarak saptanmıştır. T değeri ise Eşitlik 3.19 yardımı ile hesaplanmıştır. Programda simüle edilen toprak kesitinin alt kısmı serbest drenaj sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Simüle edilen toprak kesitinin yan hatlarına akışın olmadığı (no flux) sınır koşulu tanımlanmıştır. Akış sadece su çıkışının olduğu lateral hattının üzerindeki damlatıcıda değişken akış sınır (variable flux) koşulu olarak tanımlanmıştır. Değişken akış sınırındaki su akışı, 318 cm gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Su akışı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q = \frac{Q}{L_d} \times 10 \quad (3.32)$$

$$L_d = 2\pi r \times S_d \quad (3.33)$$

Eşitliklerde, q , su akışı (cm gün⁻¹), Q , damlatıcı debisi (l saat⁻¹), L_d ; damlatıcının çevresi, r ; lateralin yarıçapı (cm); S_d ; damlatıcı aralığı (cm); π , pi sayısı olarak tanımlanmıştır.

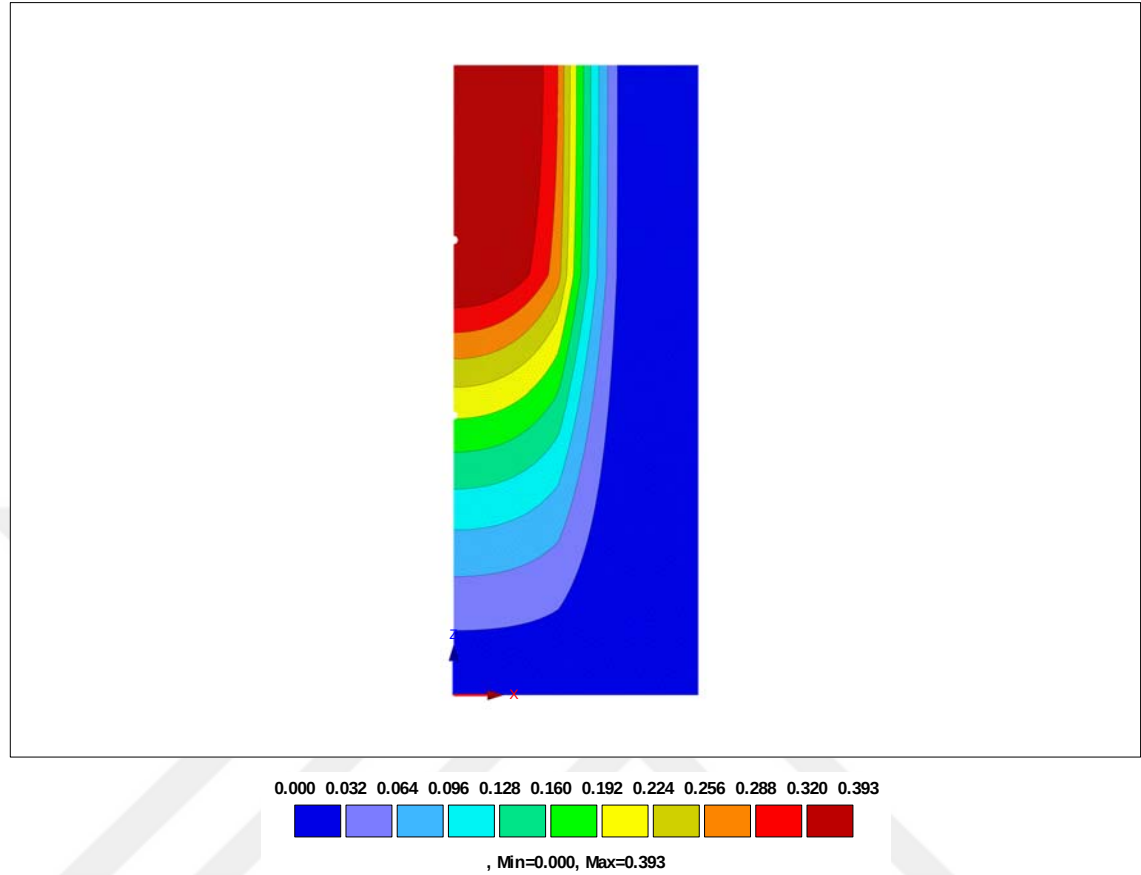
Bu çalışma için, r değeri 0.63 cm olarak belirlenmiştir. $L_d = 2\pi r = 3.96$ cm olarak hesaplanmıştır. $S_d = 40$ cm olarak alınmıştır. $Q = 2.1$ l h⁻¹ olarak belirlenmiştir.

HYDRUS programında oluşturulan simülasyonlarda da A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşmanın %100, %66 ve %33’ü olmak üzere üç farklı sulama konusu oluşturulmuştur. Her konu için tarla koşullarında hesaplanan sulama süreleri ve günleri programa tanımlanmıştır.

3.2.14.3. Mekansal kök dağılımı ve kökün su alımı

Bu çalışmada, HYDRUS/2D yazılımında iki boyutlu kök dağılımı Eşitlik 3.12 kullanılarak tanımlanmıştır. Maksimum kök derinliği 90 cm, maksimum kök yoğunluğunun yatay uzunluğu 30cm, maksimum köklenme yarıçapı 25 cm, maksimum kök yoğunluğunun dikey uzunluğu 15 cm olarak programa tanımlanmıştır. Transpirasyon süreci ile ilişkili olan toprak yüzeyinin genişliği (L) 30 cm olarak belirlenmiştir. Programda farklı kök parametreleri uygulanmış olup, sonuçlar arasında herhangi bir değişiklik saptanmamıştır. Bu nedenle tüm konular için oluşturulan simülasyonlarda aynı parametre değerleri kullanılmıştır. Simüle edilen kök dağılımı Şekil 3.12’de verilmiştir.

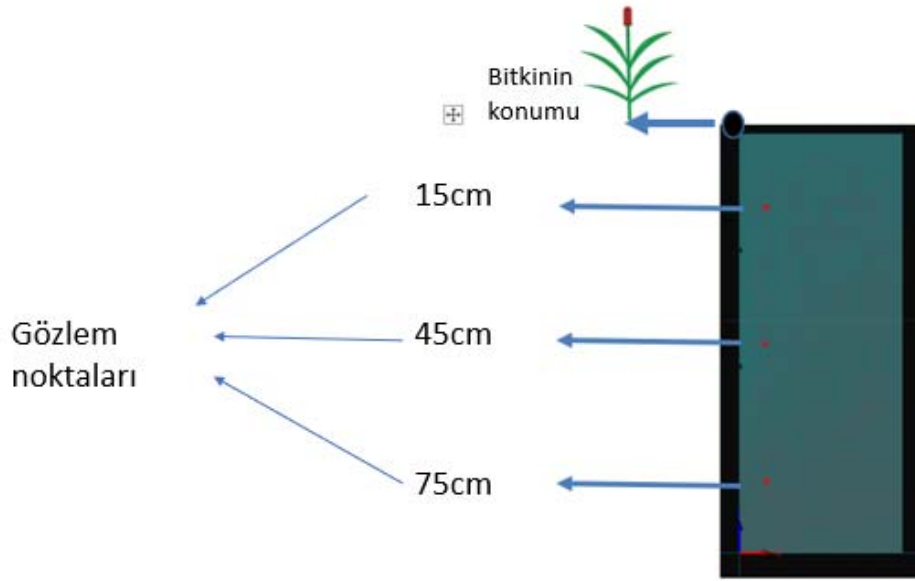
Tüm simülasyonlarda aynı dağılım kullanılmıştır.



Şekil 3.12. HYDRUS/2D programında simüle edilen kök dağılımı

3.2.14.4. Toprağın hidrolik parametrelerinin belirlenmesi

Programın Richard eşitliğini çözebilmesi için, hidrolik iletkenlik ve hacimsel su içeriği değerlerinin belirlenmesi gerekir. Hacimsel su içeriğinin hesaplanabilmesi için ise θ_r , θ_s , α , n değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bu değerler HYDRUS programında toprak tekstürüne göre tahmin edilebilmektedir. Programda toprak tekstürü siltli tın olarak tanımlanmıştır. Başlangıç su içeriği basıncı -100 cm ($\theta = 0.26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) olarak belirlenmiştir. D50S33 konusunda tüm girdi parametreleri (E, T, sulama günleri ve miktarı) tanımlanarak simülasyon oluşturulmuş ve toprak hidrolik parametreleri toprak tekstürüne göre program tarafından tahmin edilmiştir. Simülasyon sonucunda 0-90 cm derinliğinde elde edilen su içeriği değerleri ve tarla koşullarında 0-90 cm derinliğinde gravimetrik olarak elde edilen su içeriği değerleri eşleşene kadar K_s , α , ve n değerleri değiştirilmiş ve belirli istatistik parametreler kullanılarak en uygun değerleri belirlenmiştir. 0-90 cm toprak profilinde toprak su içeriği değerleri tarla koşullarında 15, 45 ve 75 cm derinliklerden gravimetrik yöntem ile alınan örneklerle belirlenirken, HYDRUS/2D programında toprak kesitine aynı derinliklerde yerleştirilen gözlem noktalarında hesaplanan su içeriği değerleri kullanılmıştır. Programda yerleştirilen gözlem noktaları (simülasyon süresince toprak su içeriği değişimlerini belirlendiği noktalar) Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13. HYDRUS/2D programında toprak kesitinde yerleştirilen gözlem noktaları

3.2.14.5. HYDRUS/2D programı kullanılarak oluşturulan modellerin performans değerlendirmesinde kullanılan istatistik eşitlikler

Programda oluşturulan sayısal modellerin performansları belirleme katsayısı (R^2), tahminin standart hataları (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) eşitliklerine göre değerlendirilmiştir.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3.31)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3.32)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (3.33)$$

Eşitliklerde, X_i , ölçülen hacimsel su içeriği ($m^3 m^{-3}$); Y_i , tahmin edilen hacimsel su içeriği ($m^3 m^{-3}$); $\bar{X}$, ölçülen hacimsel su içeriği ortalaması ($m^3 m^{-3}$); $\bar{Y}$, tahmin edilen hacimsel su içeriği ortalaması; n , gözlem sayısını ifade etmektedir.

HYDRUS/2D model programını değerlendirmek için belirleme katsayısı kullanılmıştır. R^2 , model tarafından tahmin edilen verilerdeki toplam varyansın oranını tanımlar. Sıfır ve bir arasında değişir. R^2 değerinin bir olması modelin tahmin ettiği değerlerin iyi olduğunun bir göstergesidir. R^2 nin daha yüksek olması daha az hata

varyansı anlamına gelmektedir. Genel olarak R^2 'nin 0.5'den büyük olması modelden tahmin edilen değerlerin kabul edilebilir olduğu anlamına gelir (Moriasi vd. 2007). Ancak, yalnızca değişkenler arasındaki doğrusal ilişkileri değerlendirdiği için ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkları standartlaştırması bakımından tahmin edilen değerleri sadece R^2 eşitliğine göre değerlendirmek yetersizdir (Legates ve McCabe 1999). Bu nedenle, RMSE ve MAE eşitlikleri kullanılmıştır. RMSE değerleri genellikle MAE değerlerine eşit ya da büyüktür. RMSE değeri, ölçülen ve tahmin edilen toprak-su içeriği arasındaki ortalama farkın büyüklüğünü gösterir. MAE değeri ise, iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsüdür. RMSE ve MAE değerleri sıfır değerine yaklaştıkça, modelin tahmin ettiği değerlerin hata payının düşük olduğu anlamına gelmektedir (Moriasi vd. 2007).

3.2.14.6.HYDRUS/2D programında belirlenen senaryolar

Programda kalibrasyon ve doğrulama işlemleri tamamlandıktan sonra, 24 farklı senaryo oluşturulmuştur (Çizelge 3.6). Farklı senaryolarda bitki su alımı ve drene olan su miktarı değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.6. Sayısal ortamda oluşturulan senaryolar

Konu	Açıklama
(D25/50)1/2S33	Yıgışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın % 33'ünün toprak yüzeyinden 25 ve 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallerin her ikisine aynı anda eşit bölüştürülerek uygulanan konu
(D25/50)1/2S66	Yıgışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın % 66'sının toprak yüzeyinden 25 ve 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallerin her ikisine aynı anda eşit bölüştürülerek uygulanan konu
(D25/50)1/2S100	Yıgışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün toprak yüzeyinden 25 ve 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallerin her ikisine aynı anda eşit bölüştürülerek uygulanan konu
(D25//50)S33	Yıgışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün bir sulamada toprak yüzeyinden 25 cm derinliğe diğer sulamada ise 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallere olmak üzere dönüşümlü olarak uygulanan konu
(D25//50)S66	Yıgışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının bir sulamada toprak yüzeyinden 25 cm derinliğe diğer sulamada ise 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallere olmak üzere dönüşümlü olarak uygulanan konu

Çizelge 3.6'nın devamı

(D25//50)S100	Yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün bir sulamada toprak yüzeyinden 25 cm derinliğe diğer sulamada ise 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallere olmak üzere dönüşümlü olarak uygulanan konu
D10S33	Lateral derinliğinin 10 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün sulama suyu olarak uygulandığı konu
D10S66	Lateral derinliğinin 10 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulandığı konu
D10S100	Lateral derinliğinin 10 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D20S33	Lateral derinliğinin 20 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D20S66	Lateral derinliğinin 20 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D20S100	Lateral derinliğinin 20 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D30S33	Lateral derinliğinin 30 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D30S66	Lateral derinliğinin 30 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D30S100	Lateral derinliğinin 30 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu

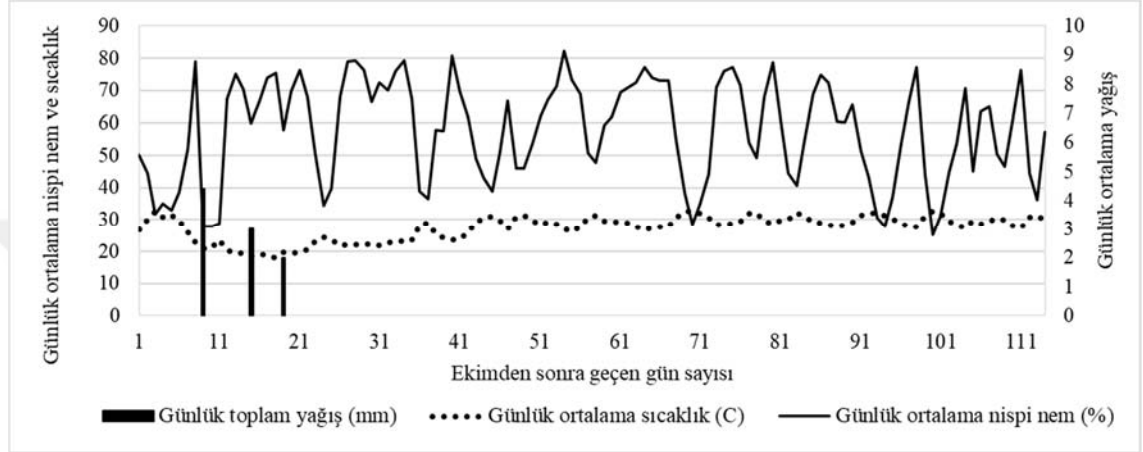
Çizelge 3.6'nın devamı

D40S33	Lateral derinliğinin 40 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D40S66	Lateral derinliğinin 40 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D40S100	Lateral derinliğinin 40 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D50S33	Lateral derinliğinin 50 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D50S660	Lateral derinliğinin 50 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D50S100	Lateral derinliğinin 50 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D60S33	Lateral derinliğinin 60 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %33'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D60S66	Lateral derinliğinin 60 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulanacağı konu
D60S100	Lateral derinliğinin 60 cm olduğu ve yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün sulama suyu olarak uygulanacağı konu

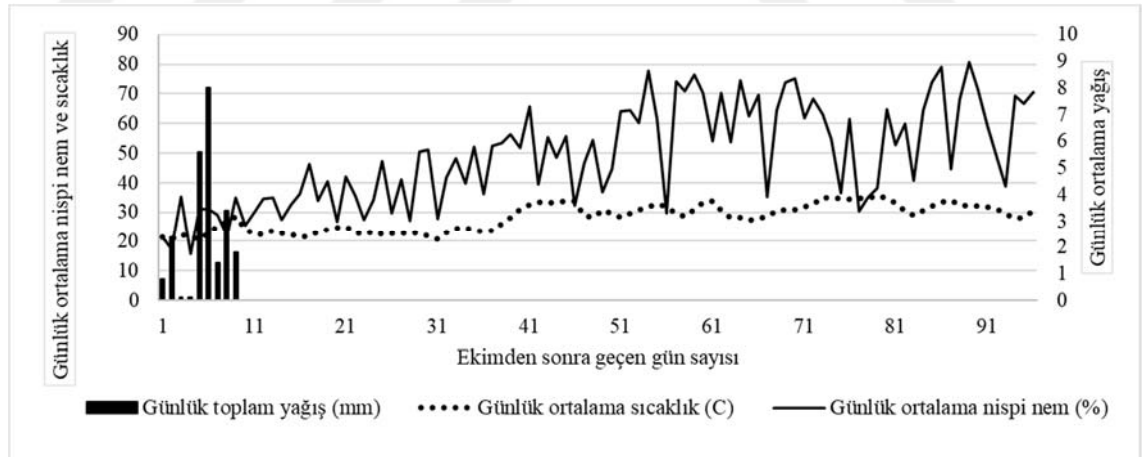
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İklimsel Değerlere İlişkin Bulgular

Araştırma süresince, günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), nispi nem (%) ve yağış değerlerinin değişimi birinci yetiştirme mevsimi için Şekil 4.1, ikinci yetiştirme mevsimi için Şekil 4.2’ de verilmiştir. Araştırmanın ilk yılında ekim 15.05.2020 tarihinde hasat ise 04.09.2020 tarihinde gerçekleşmiştir. İkinci yıl ise ekim 17.05.2021, hasat ise 20.08.2021 tarihinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1. Birinci yetiştirme mevsimi boyunca günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), nispi nem (%) ve yağış değişimi



Şekil 4.2. İkinci yetiştirme mevsimi boyunca günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), nispi nem (%) ve yağış değişimi

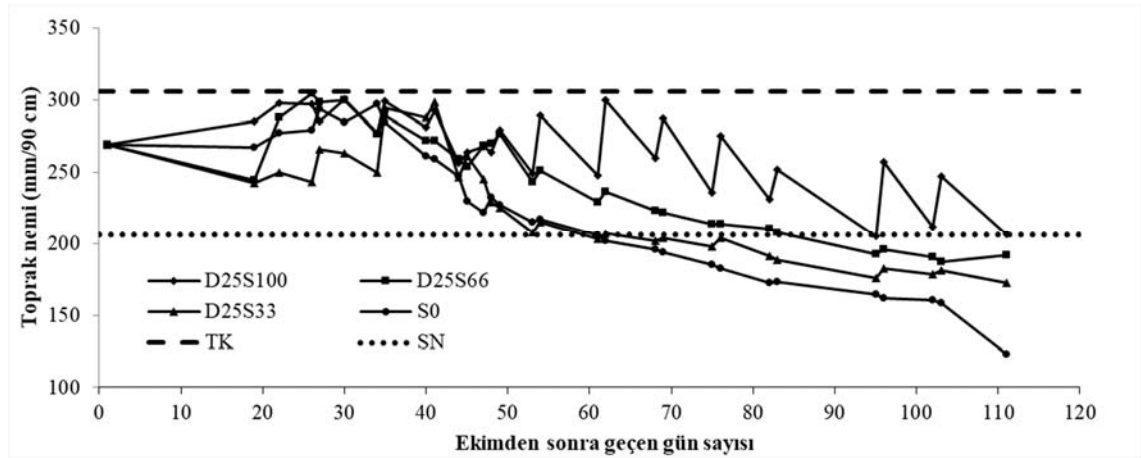
Araştırmanın birinci mevsiminde, en yüksek sıcaklık 32.8°C ve ikinci mevsiminde ise 35.8°C olarak kaydedilmiştir. Birinci yetiştirme mevsimi boyunca ortalama sıcaklık 27.33°C ve ikinci yıl ise 28.17°C olarak ölçülmüştür. İkinci yılda ölçülen ortalama sıcaklık birinci yıldan yaklaşık olarak 1°C daha yüksektir. Birinci yetiştirme mevsiminde haziran ayı ortalama sıcaklık 24.02°C , ikinci yetiştirme mevsiminde 25.33°C , birinci yetiştirme mevsiminde temmuz ayı ortalama sıcaklık 29.45°C , ikinci yetiştirme

mevsiminde 30.84 °C olarak kaydedilmiştir. Haziran ve temmuz aylarında ikinci yetiştirme mevsiminde kaydedilen ortalama sıcaklıklar birinci mevsime göre 1 °C yüksek kaydedilmiştir. 1-16 ağustos tarihleri arasında birinci yetiştirme mevsiminde ortalama sıcaklık 30°C, ikinci yetiştirme mevsiminde ise 32.64°C olarak kaydedilmiştir. Özellikle 28 temmuz-15 ağustos tarihleri arasında ikinci yetiştirme mevsiminde hesaplanan ortalama sıcaklığın (33.18°C) birinci yetiştirme mevsiminden (30.30°C) 3.15°C fazla olması ikinci yetiştirme mevsiminde ve hasat tarihinin 20.08.2021 tarihinde yapılmasına neden olmuştur. Hava sıcaklığının normal değerlerinin üzerinde olmasının, bitki büyüme ve gelişimini olumsuz anlamda etkilediği bilinmektedir. Sıcaklık artışı bitkilerin daha hızlı gelişmesine neden olur ve vejetasyon süresi kısalır. Bununla beraber bitki çiçeklenme dönemine daha hızlı geçer bu da bitkinin verim ve gelişimini olumsuz etkiler. (Morales ve ark., 2020). Nitekim bu çalışmada da ikinci yetiştirme döneminde hava sıcaklığının daha yüksek olması, bitkilerin daha erken çiçeklenme dönemine geçmesine neden olmuştur.

Nispi nem değerleri, birinci yetiştirme mevsiminde ortalama %57.65, ikinci yetiştirme mevsiminde %52.52 olarak kaydedilmiştir. İkinci yetiştirme mevsiminde ortalama nispi nem daha düşük olması ve sıcaklığın daha yüksek değerlerde seyretmesi, söz konusu bu mevsimde bitkilerin transpirasyon ve evaporasyon değerlerinin artmasının nedeni olarak değerlendirilebilir. Birinci yıl en yüksek nispi nem %82.3, ikinci yıl ise %84.1 olarak belirlenmiştir. Yetiştirme mevsimleri boyunca yağış miktarları incelendiğinde, birinci yetiştirme mevsimi toplam 9.4 mm, ikinci yetiştirme mevsiminde ise, 23 mm yağış meydana gelmiştir. İkinci yetiştirme mevsiminde deneme başlangıcında meydana gelen yağışlar nedeniyle sulama uygulamaları birinci yetiştirme mevsimine kıyasla 16 gün geç başlamıştır.

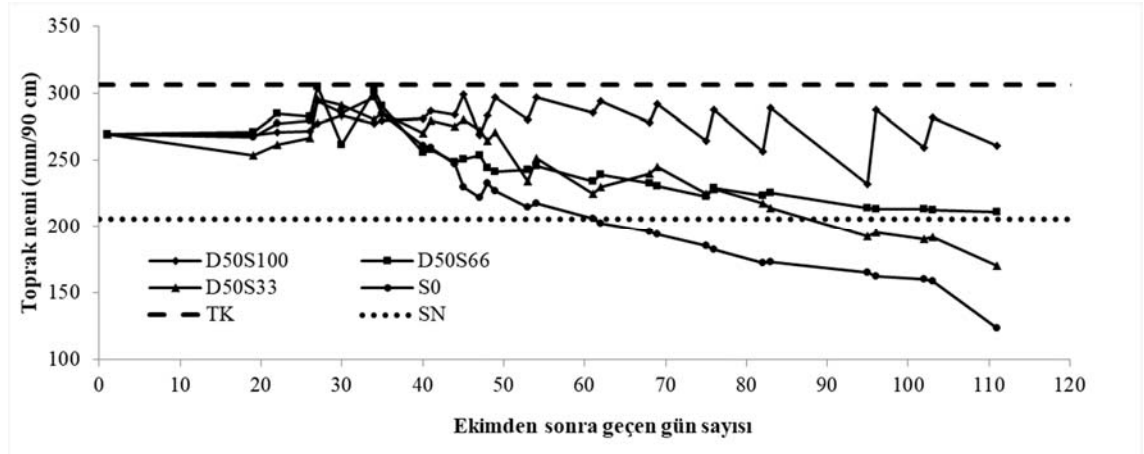
4.2. Toprak nem içeriğinin değişimi

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde D25 konusunda farklı sulama konularına ait toprak nem içeriğinin değişimi (90 cm toprak profilinde) sırası ile Şekil 4.3 ve Şekil 4.5’de, D50 konusunda farklı sulama konularına ait toprak nem içeriğinin değişimi sırası ile Şekil 4.4 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Tüm konularda uygulanan sulama suyu arttıkça toprak su içeriği değeri de artmıştır.

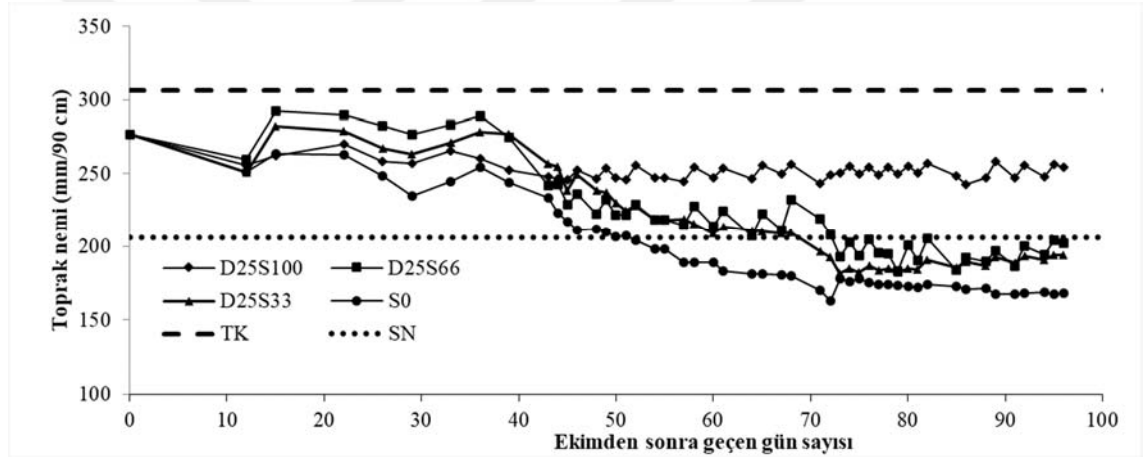


Şekil 4.3. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının toprak nem içeriğinin zamanla

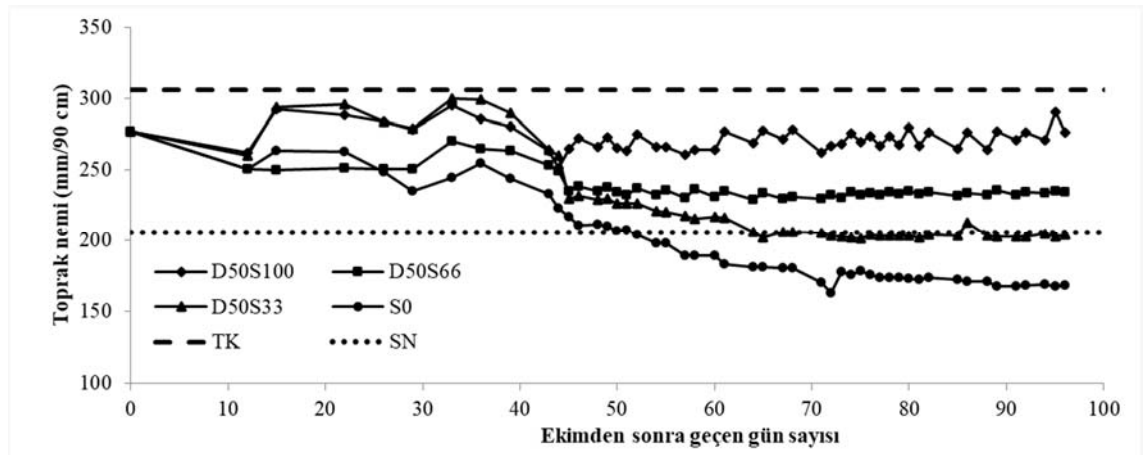
değişimi



Şekil 4.4. Birinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının toprak nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 4.5. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının toprak nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 4.6. İkinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının toprak nem içeriğinin zamanla

değişimi

4.3. Uygulanan sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularında uygulanan sulama suyu miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularında uygulanan sulama suyu miktarları

Sulama tarihleri	1.yetiştirme mevsiminde uygulanan sulama suyu miktarı (mm)			Sulama tarihleri	2.yetiştirme mevsiminde uygulanan sulama suyu miktarı (mm)		
	Sulama konuları				Sulama konuları		
	S33	S66	S100		S33	S66	S100
29.05.2020	7	7	7	25.05.2021	5	5	5
10.06.2020	25	25	25	28.05.2021	7.5	7.5	7.5
17.06.2020	3.6	7.1	10.8	30.06.2021	11.9	11.9	11.9
23.06.2020	4.5	9.0	13.7	3.07.2021	5.2	10.4	15.7
27.06.2020	5.2	10.3	15.7	6.07.2021	6.4	12.8	19.4
1.07.2020	6.3	12.6	19.1	9.07.2021	5.1	10.3	15.6
6.07.2020	7.7	15.4	23.3	12.07.2021	6.4	12.8	19.4
10.07.2020	8.2	16.4	24.9	15.07.2021	5.7	11.4	17.2
14.07.2020	7.3	14.6	22.1	19.07.2021	6.2	12.5	18.9
17.07.2020	6.5	13.0	19.8	22.07.2021	5.3	10.6	16.0
21.07.2020	8.4	16.7	25.4	26.07.2021	7.1	14.2	21.5
24.07.2020	6.4	12.9	19.5	28.07.2021	4.9	9.7	14.8
28.07.2020	6.6	13.3	20.1	30.07.2021	5.8	11.6	17.5
31.07.2020	4.8	9.6	14.5	1.08.2021	5.5	11.0	16.6
4.08.2020	6.0	12.1	18.3	3.08.2021	5.5	11.0	16.6
7.08.2020	5.8	11.6	17.6	5.08.2021	5.3	10.5	15.9
11.08.2020	6.6	13.1	19.9	9.08.2021	6.1	12.2	18.5
17.08.2020	9.4	18.7	28.4	12.08.2021	7.1	14.2	21.5
21.08.2020	6.5	12.9	19.6	15.08.2021	7.3	14.6	22.2
24.08.2020	6.2	12.5	18.9	18.08.2021	6.1	12.2	18.5
27.08.2020	5.5	11.1	16.8				
Toplam	153.6	275.1	400.4	Toplam	125.3	226.3	330.3

Farklı konulara eşit miktarda uygulanan sulama suyu miktarları da dahil olmak üzere birinci yetiştirme mevsiminde toplam 21 kez ikinci yetiştirme mevsiminde ise toplam 20 kez sulama uygulaması gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1). İkinci yetiştirme mevsiminde günlük ortalama sıcaklık değerlerinin birinci yetiştirme mevsiminden daha yüksek olması, ikinci yetiştirme mevsiminde daha sık sulama uygulamasının yapılmasına neden olmuştur (Şekil 4.2). İkinci yetiştirme mevsiminde konulu sulama uygulamalarının daha geç gerçekleşmesinin nedeni ise ikinci yetiştirme mevsiminde eşit yapılan sulama uygulamalarından sonra meydana gelen yağışlardır (Şekil 4.2).

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularına ilişkin mevsimlik su bütçesi bileşenlerinin değişimi sırası ile Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de verilmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde D25S33, D25S66, D25S100 konularından elde edilen bitki su tüketim değerleri sırasıyla 226.65, 348.15, 473.0 mm, D50S33, D50S66, D50S100 konularından elde edilen bitki su tüketim değerleri sırasıyla 226.7, 343.1, 418.2 mm ve sulanmayan S0 konusunda ise 105.1 mm olarak hesaplanmıştır. İkinci yetiştirme mevsiminde ise D25S33, D25S66, D25S100 konularından elde edilen bitki su tüketim değerleri sırası ile 219.43, 320.37, 375.77 mm, D50S33, D50S66, D50S100 konularından elde edilen bitki su tüketim değerleri sırası ile 219.43, 291.47, 353.7 mm ve sulanmayan S0 konusunda 118.48 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Her iki yetiştirme mevsiminde de en yüksek bitki su tüketimi D25S100 konuda hesaplanmıştır.

Birinci yetiştirme mevsiminde eşit uygulanan sulama suları da dahil olmak üzere, sulama konularına göre uygulanan sulama suyu miktarı 32.0-400.4 mm arasında, ikinci yetiştirme mevsiminde ise 24.4-330.3 mm arasında değişmiştir. Araştırmanın birinci yetiştirme mevsimi 17 gün daha uzun olması nedeniyle daha fazla sulama suyu uygulanmıştır. Bu nedenle tüm konularda birinci yıl belirlenen bitki su tüketimi değerleri ikinci yıla göre daha yüksek elde edilmiştir. Her iki yılda tüm konularda uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça bitki su tüketimi değerlerinin de arttığı görülmektedir (Çizelge 4.2 ve 4.3).

Her iki yetiştirme mevsiminde S33 konularında belirlenen ET değerlerinin lateral derinliğine göre değişmediği görülmektedir (Çizelge 4.2 ve 4.3). Birinci yetiştirme mevsiminde D25S100 ve D50S100 konularında belirlenen bitki su tüketimi değerleri birinci yetiştirme mevsiminde sırasıyla, 473.0 mm ve 418.2 mm, ikinci yetiştirme mevsiminde 375.7 mm ve 353.7 mm olarak belirlenmiştir. Aynı miktarda sulama suyu uygulanmasına rağmen D25 konusunda daha fazla ET gerçekleşmiştir. D25S100 ve D50S100 konularında, toprak profilindeki nem değişimi (0-90 cm derinliğinde), birinci yetiştirme mevsiminde sırası ile, 63.2 ve 8.4 mm, ikinci yetiştirme mevsiminde ise, 22.5 ve 0.4 mm olarak belirlenmiştir. Lateralin 25 cm toprak derinliğinde bulunması durumunda, lateralin toprak yüzeyine daha yakın olmasının sulama suyunun bir kısmının buharlaşma yolu ile kaybolmasına yol açtığı söylenebilir.

Çizelge 4.2. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularına ait mevsimlik su bütçesi bileşenleri

Konular	I (mm)	P (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	ET (mm)
D25S33	153.6	9.4	63.7	0.0	226.7
D25S66	275.1	9.4	63.7	0.0	348.2
D25S100	400.4	9.4	63.2	0.0	473.0
S0 (Yağışa bağlı konu)	32.0	9.4	63.7	0.0	105.1
D50S33	153.6	9.4	63.7	0.0	226.7
D50S66	275.1	9.4	58.6	0.0	343.1
D50S100	400.4	9.4	8.4	0.0	418.2

Çizelge 4.3. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularına ait mevsimlik su bütçesi bileşenleri

Konular	I (mm)	P (mm)	ΔS (mm)	D (mm)	ET (mm)
D25S33	125.3	23	71.10	0.0	219.4
D25S66	226.3	23	71.10	0.0	320.4
D25S100	330.3	23	22.50	0.0	375.8
S0 (Yağışa bağlı konu)	24.4	23	71.10	0.0	118.5
D50S33	125.3	23	71.10	0.0	219.4
D50S66	226.3	23	42.20	0.0	291.5
D50S100	330.3	23	0.40	0.0	353.7

Bitki su tüketimi; bitkinin cinsi, toprak, iklim gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı, damla sulama yöntemlerinde, toprak yüzeyinin tamamının ıslatıldığı yüzey ve yağmurlama sistemlerine göre daha az olmaktadır. Bu durum toplamda daha az su tüketimine neden olmaktadır. Toprak altı damla sulama yöntemlerinde ise su doğrudan kök bölgesine uygulandığı için, toprak yüzeyinden olan buharlaşma miktarı damla sulama yönteminin geleneksel

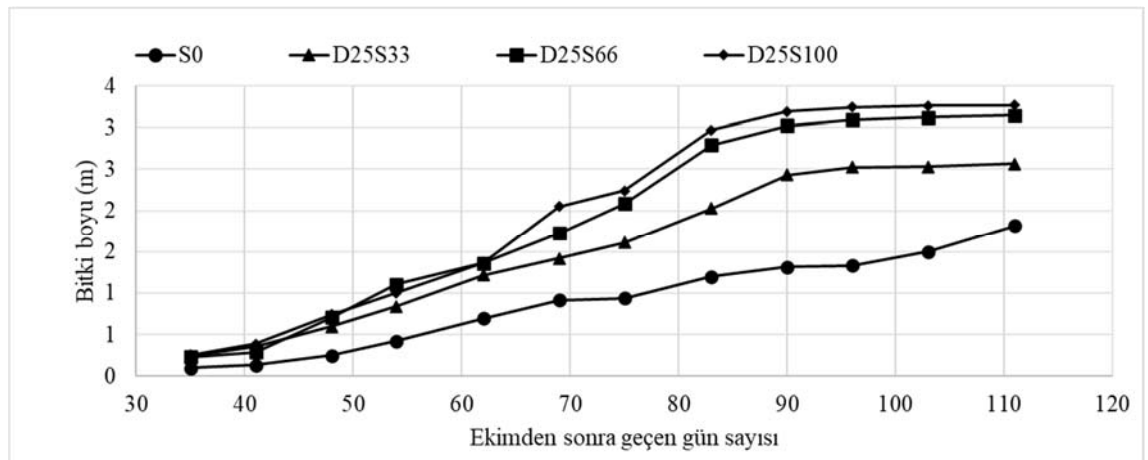
uygulama yöntemine göre daha düşük seviyede olmaktadır. Aydınsakir vd. (2021) Antalya koşullarında enerji bitkisi olarak yetiştirdikleri sorgum bitkisinde, toprak altı ve toprak üstü damla sulama yöntemleri ile kısıntılı sulama uyguladıkları çalışmalarında, uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça, toprak altı damla sulama yönteminde (124.2-429.0 mm) topraküstü damla sulama yöntemine (125.9-468.2 mm) göre daha düşük ET değerleri belirlemişlerdir. Dercas ve Liakatas (2006), Yunanistan koşullarında, biyokütle için yetiştirilen sorgum bitkisinde bitki su tüketimi değerlerinin 421.0-657.0 mm arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Dündar ve Ünlü (2019) Akdeniz koşullarında damla sulama yöntemi uygulayarak biyoetanol amacıyla yetiştirdikleri sorgum bitkisinde (2.ürün olarak), tam sulama yaptıkları konuda bitki su tüketim değerini 589 mm olarak hesaplamışlardır. Mengistu vd. (2016), biyoetanol üretim amacı ile yetiştirdikleri iki farklı sorgum çeşidi ve damla sulama yöntemi kullandıkları çalışmalarında, 2011 yılında bitki su tüketim değerlerini, Ukulinga çeşidi için 394 mm, Hatfield çeşidi için 391 mm, 2012 yılında ise Ukulinga çeşidi için 436 mm, Hatfield çeşidi için 405 mm olarak belirlemişlerdir. Bununla beraber, bitki su tüketim değerleri aynı bitkinin farklı türleri arasında bile değişebilmektedir. Bu çalışmada elde edilen ET değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4.4. Bitki Gelişim Parametreleri

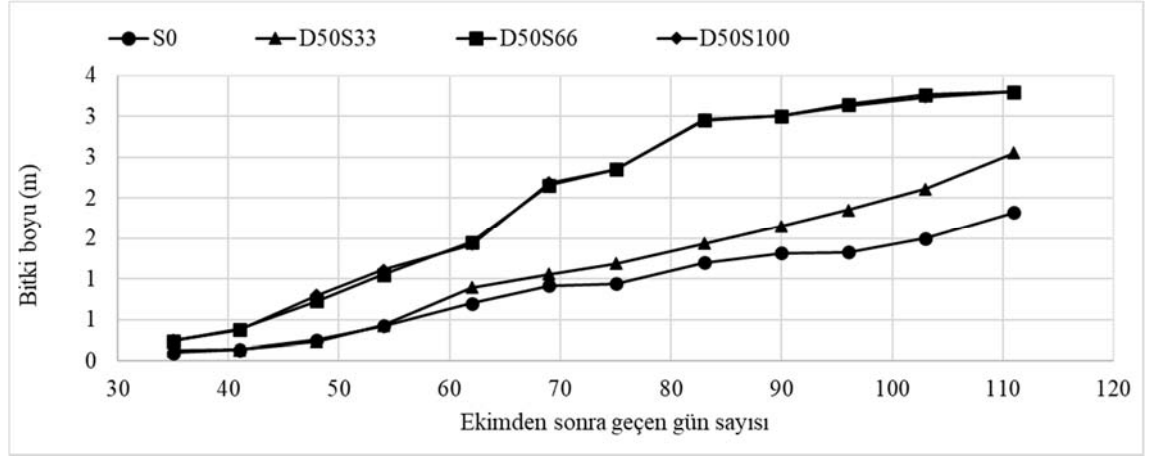
İki farklı yetiştirme mevsimindeki uygulamaların bitki vejetatif ve fizyolojik özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla bitki boyu, klorofil indeks içeriği, yaprak alan indeksi ve stoma iletkenliği parametrelerindeki değişimler incelenmiştir. Söz konusu parametreler hem zamansal olarak hem de konulara bağlı olarak önemli değişimler göstermiştir. Ayrıca, farklı lateral derinliklerinin ve sulama suyu seviyelerinin bitki gelişim parametrelerine olan etkisini daha kapsamlı değerlendirmek amacıyla istatistiksel tablolar hazırlanmıştır.

4.4.1. Bitki boylarının mevsimlik değişimleri ve mevsim sonu bitki boyları arasındaki istatistiksel ilişkiler

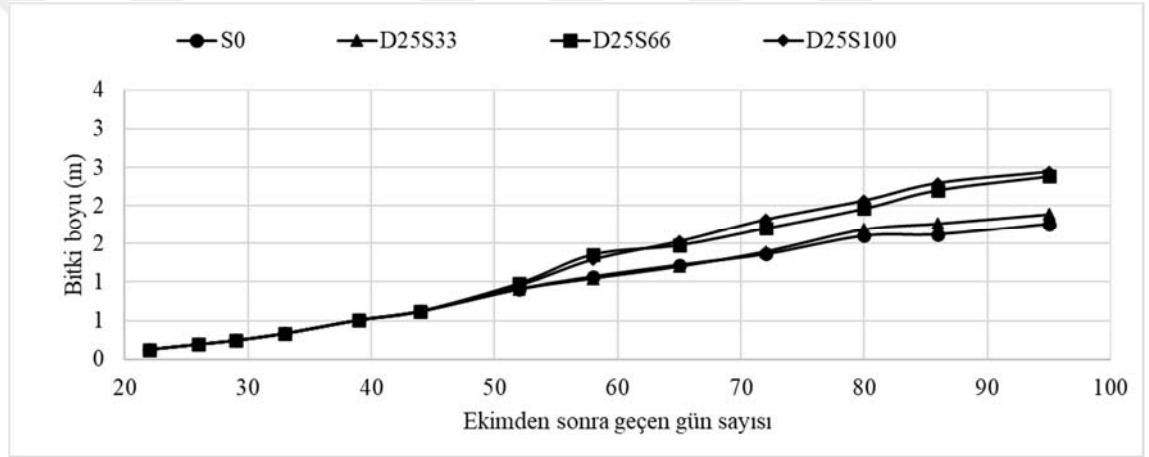
Bitki boyu değerlerinin birinci yetiştirme mevsimindeki değişimleri 4.7 ve 4.8’de, ikinci yetiştirme mevsimindeki değişimi Şekil 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.



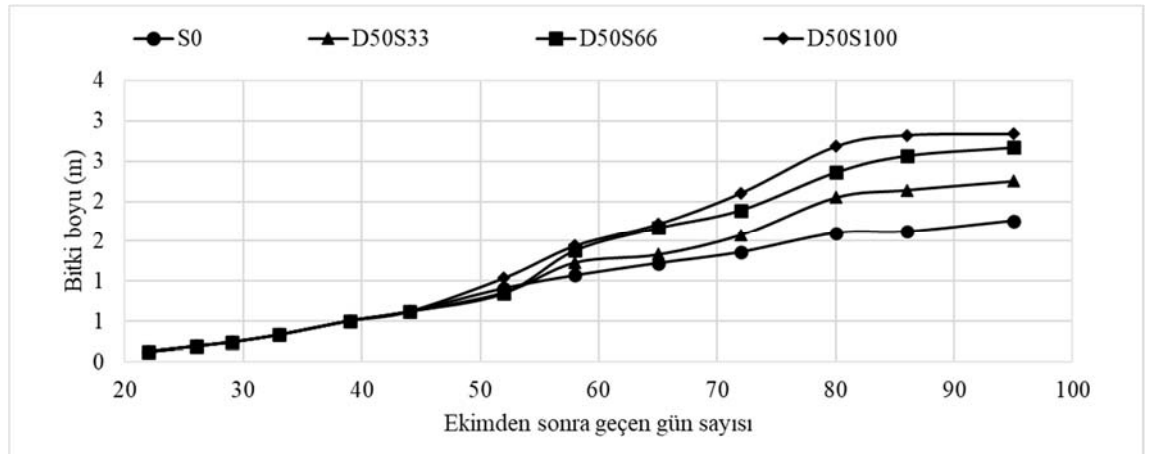
Şekil 4.7. Birinci yetiştirme mevsimi boyunca D25 konularının bitki boyu değerlerinin değişimi



Şekil 4.8. Birinci yetiştirme mevsimi boyunca D50 konularının bitki boyu değerlerinin değişimi



Şekil 4.9. İkinci yetiştirme mevsimi boyunca D25 konularının bitki boyu değerlerinin değişimi



Şekil 4.10. İkinci yetiştirme mevsimi boyunca D50 konularının bitki boyu değerlerinin değişimi

Şekil 4.7 incelendiğinde, birinci yetiştirme mevsiminde, tüm konularda bitki boyu ekimden sonraki 90. güne kadar daha hızlı, 90. günden sonra ise artış hızı azalarak arttığı görülmektedir. Mevsim boyunca D25S100 konusunda en yüksek bitki boyu değerleri elde edilmiş, bunu D25S66, D25S33 ve S0 konuları izlemiştir. Şekil 4.8 incelendiğinde ise, D50S66 ve D50S100 konularında bitki boyunun mevsim boyunca birbirlerine oldukça yakın bir değişim gösterdiği görülmektedir. En yüksek bitki boyları D50S66 ve D50S100 konularından elde edilirken, bunları sırası ile D50S33 ve S0 konuları takip etmiştir. Şekil 4.9 ve 4.10 beraber değerlendirildiğinde hem D25 hem de D50 konularında ekimden sonra geçen 52. güne kadar bitki boylarının homojen bir değişim gösterdiği, ancak sözkonusu günden sonra farklılıklar göstermeye başladığı söylenebilir. Bunun nedeni 48. günde konulu sulama uygulamalarına geçilmesidir. İkinci yetiştirme mevsiminde de bitki boyları birinci yetiştirme mevsimine benzer bir değişim göstermiştir (Şekil 4.7-4.10). Hem D25 ve hem de D50 konularında en yüksek bitki boyu sıralaması D25S100, D25S66, D25S33 ve S0 biçiminde, aynı olmuştur. Diğer bir deyişle, yetiştirme mevsimi süresince her iki derinlik için de uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça, bitki boylarının da arttığı görülmektedir.

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama seviyelerinde sorgum bitkisinin bitki boyu (m) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.4 ve 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Birinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin bitki boyu (m) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	3.27 ^ç	3.14	2.56	1.82	2.70
D50	3.30	3.30	2.55	1.82	2.74
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	3.29 a [†]	3.22 a	2.56 b	1.82 c	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.5. İkinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin bitki boyu (m) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	2.44 ^ç	2.38	1.89	1.76	2.12 B ^φ
D50	2.84	2.67	2.26	1.76	2.38 A
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	2.64 a [†]	2.53 a	2.07 b	1.76 c	
Önemlilik Derinlik (D): ** Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrürün ortalamasını göstermektedir. ^φ : Büyük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde sütun boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

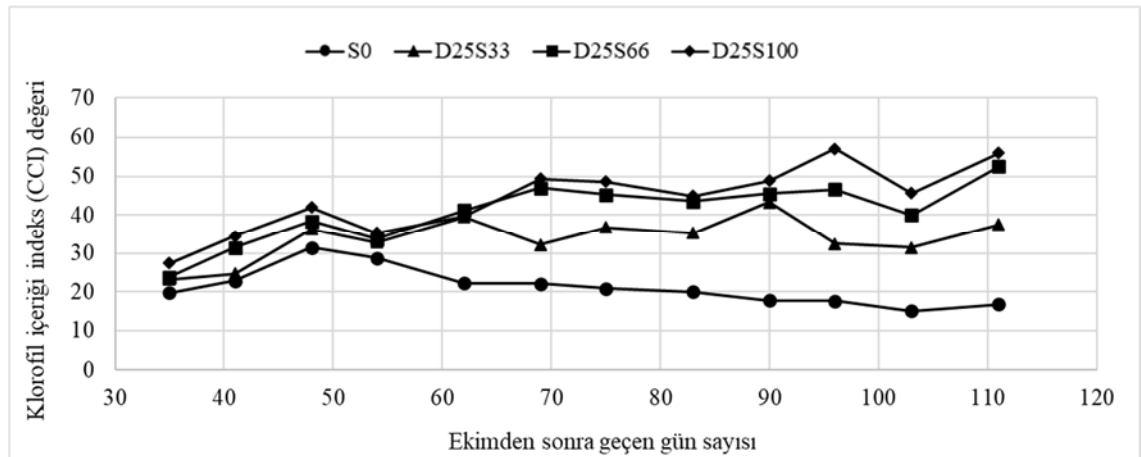
Çizelge 4.4 ve 4.5 beraber değerlendirildiğinde, ilk yetiştirme mevsimi sonunda ölçülen bitki boyu değerlerinin 1.82-3.30 m arasında, ikinci yetiştirme mevsimi sonunda ise 1.76-2.84 m arasında değiştiği görülmektedir. Birinci yetiştirme mevsiminde daha fazla sulama suyu miktarı uygulanmasının ve yetiştirme mevsiminin daha uzun sürmesinin bitki boylarının daha uzun olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Sorgum bitkisinde yapılan çalışmalarda uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça bitki boyu değerlerinin de arttığı belirlenmiştir (Almodares vd. 2012). Her iki yetiştirme mevsiminde de bitki boyu değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, lateral derinliğinin ve sulama suyu seviyelerinin interaksiyonunun sorgum bitkisinin bitki boylarına ilişkin varyans analiz sonuçları istatistiksel olarak önemli bir farklılık göstermemiştir. Her iki yetiştirme mevsiminin sonunda farklı sulama konularının ortalama bitki boyları üzerinde istatistiksel farklılık yarattığı (p<0.01) belirlenmiştir. İki yetiştirme mevsiminde de en yüksek bitki boyu S100 ve S66 konusundan elde edilirken, bu konular arasında istatistiksel olarak fark olmadığı saptanmıştır. Bitki boyu açısından, S100 ve S66 konularını sırasıyla S33 ve S0 konuları izlemiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde lateral derinliğinin ortalama bitki boyu değerlerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Buna karşın ikinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinin bitki boylarını istatistiksel anlamda (p<0.01) etkilediği belirlenmiş olup, laterallerin 50 cm toprak derinliğinde bulunması durumunda daha yüksek bitki boyu elde edilmiştir.

Su stresi bitkinin büyümesini önemli ölçüde etkiler. Büyümedeki değişim su stresinin yaşandığı süre ile ilişkilidir. Bitkiler su stresi ile ilk karşılaştıkları dönemde, ilk olarak daha fazla suya ulaşabilmek için gövde uzamasını yavaşlatıp, kök gelişimini arttırmaktadır. Su stresinin uzun süre devam etmesi durumunda hem gövde hem kök gelişimi durur (Anjum vd. 2011). Bu çalışmada her ne kadar ikinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinin bitki boyu değerlerini istatistiksel anlamda etkilediği belirlenmiş olsa da her iki mevsimde de sulama suyu seviyesi ve derinliğin etkileşiminin bitki boyu değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. Buna karşın, ikinci yetiştirme mevsiminde 50 cm lateral derinliğinde bitki boyu ortalamalarının daha yüksek olması, 50

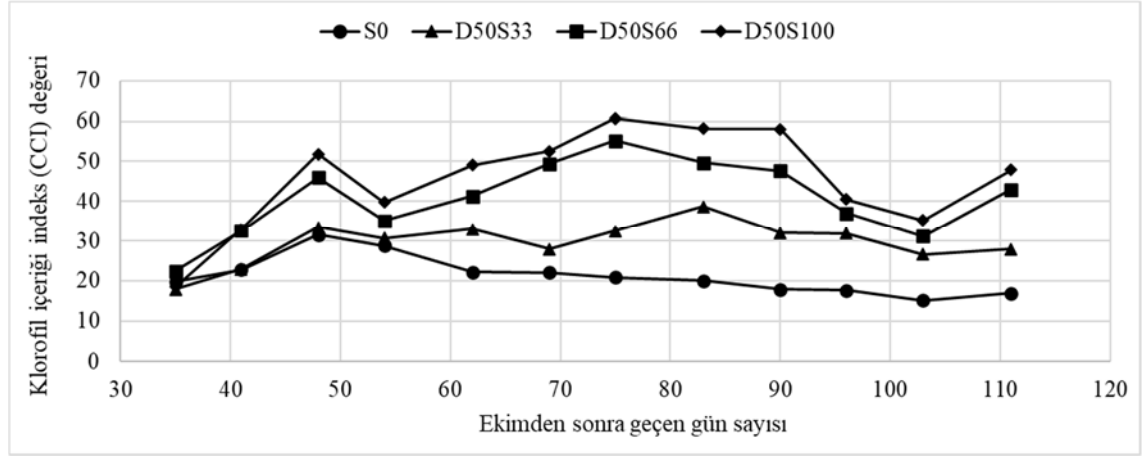
cm lateral derinliğini ön plana çıkarmaktadır. Uygulanan sulama suyu seviyeleri değerlendirildiğinde, S66 ve S100 konuları arasında farklılık olmaması kurak koşullarda S66 konusunun uygulanabileceğini destekleyen bir bulgudur. Bu çalışmada sorgum bitkisinde uygulanan sulama seviyesinin bitki boyu değerlerini etkilediği belirlenmiştir. Aydınsakir vd. (2021) çalışmalarında elde ettikleri bitki boyu değerlerinin 1.9-3.3 m arasında değiştiğini, en yüksek bitki boyu değerini (3.3 m) toprak altı damla sulama yönteminde tam sulanan konudan elde ettiklerini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, sulama seviyesi azaldıkça bitki boyu değerlerinin de düştüğünü gözlemlemişlerdir. Almodares vd. (2012), biyoetanol üretim amacı ile yetiştirdikleri sorgum bitkisinde su stresinin bitki boyu ile doğrudan ilişkili olduğunu ve çalışmalarında belirledikleri bitki boyunun 1.7-2.3 m arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Literatürde yapılan çalışmalarda, sorgumda toprak altı damla sulamanın bitki boyu değerlerini arttırdığı belirlenmiştir. Sakellariou–Makrantonaki vd. (2006), elde ettikleri bitki boyu değerlerinin 2.4-4.5 m arasında değiştiğini ve en yüksek bitki boyu değerini toprak altı damla sulama yönteminde elde ettiklerini açıklamışlardır. Bu çalışmada farklı konulardan elde edilen bitki boyu değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiş olup, rakamsal olarak literatür ile farklı bitki boyu değerlerinin elde edilmesi, çalışmaların farklı iklim ve toprak koşullarında uygulanan farklı sulama yöntemi ve sulama suyu miktarından, ek olarak, bitki boylarının farklı hasat zamanlarında ölçülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim, Qu vd. (2014), sorgumda en yüksek bitki boyunun fizyolojik olgunluk döneminde olduğunu, süt olum ve fizyolojik olgunluk döneminde belirledikleri bitki boyunun 2.5-3.1 m arasında değiştiğini açıklamışlardır.

4.4.2. Klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin mevsimlik değişimleri ve ortalama klorofil indeks içeriği değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler

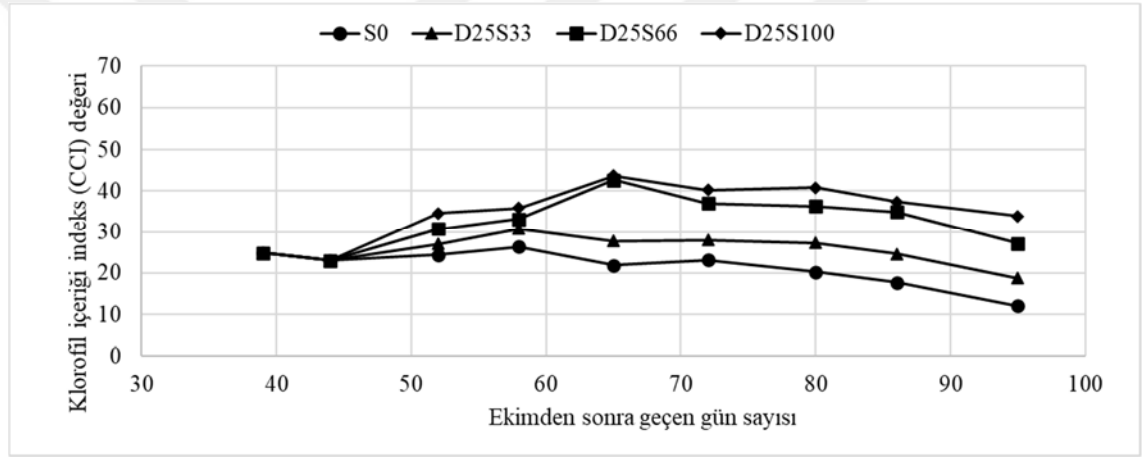
Klorofil içeriği değerlerinin birinci yetiştirme mevsimindeki değişimleri Şekil 4.11 ve 4.12’de, ikinci yetiştirme mevsimindeki değişimi Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.



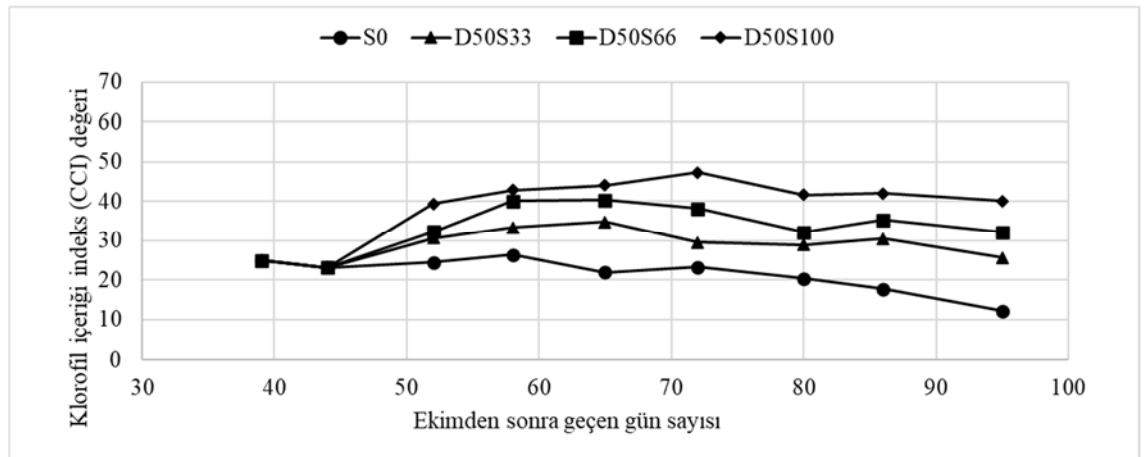
Şekil 4.11. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.12. Birinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.13. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.14. İkinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının klorofil indeks içeriği (CCI) değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.11 ve 4.12 incelendiğinde, birinci yetiştirme mevsimi boyunca hem D25 hem de D50 konularında uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça klorofil indeks içeriği değerlerinin de arttığı görülmektedir. Birinci yetiştirme mevsimi boyunca D25S100 konusunun klorofil indeks içeriği en yüksek değerlerde seyrederken D25S66 konusu ile de oldukça yakın bir değişim göstermiştir. S0 konusu ise mevsim başlangıcından sonuna kadar azalan bir değişim göstermiştir. D50 konuları incelendiği zaman, D50S100 konusu en yüksek değerlerde seyrederken bu konuyu sırası ile D50S66, D50S33 ve S0 konuları takip etmiştir. D25 konularından farklı olarak D50S100 ve D50S66 konuları arasındaki farklılık daha belirgindir. Şekil 4.13 ve 4.14 incelendiğinde, birinci yetiştirme mevsiminde olduğu gibi uygulanan sulama suyu arttıkça, klorofil değerleri de artmıştır.

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama klorofil indeks içeriği değerlerine (CCI) ilişkin istatistiksel analiz sonuçları sırası ile Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama klorofil indeks içeriği değerlerine (CCI) ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	44.10 ^ç	40.75	33.79	21.29	34.98
D50	45.44	40.89	29.59	21.29	34.30
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	44.77 a [†]	40.82 b	31.69 c	21.29 d	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ^{**} : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.7. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama klorofil indeks içeriği değerlerine (CCI) ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

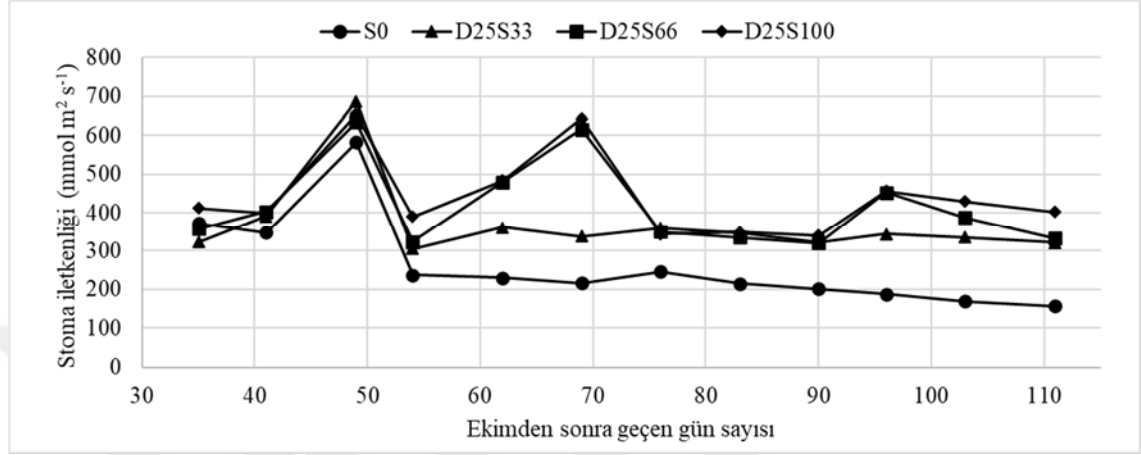
Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	34.92 ^ζ	32.22	25.79	21.54	28.62
D50	38.35	33.14	29.02	21.54	30.51
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	36.64 a [†]	32.68 b	27.40 c	21.54 d	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ^{**} : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

İki yetiştirme mevsiminde de farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama klorofil indeks içeriği değerlerine (CCI) ilişkin istatistiksel analiz sonuçları benzer olduğu için Çizelge 4.6 ve 4.7 beraber değerlendirilmiştir. Birinci ve ikinci yetiştirme mevsimi boyunca ölçülen ortalama klorofil indeks içeriği değerlerinin sırasıyla, 21.29-45.44 ve 21.54-38.35 arasında değiştiği görülmektedir. İki yetiştirme mevsiminde de sulama seviyesi ve lateral derinliğinin interaksyonunun ve lateral derinliğinin ortalama klorofil içeriği değerleri üzerinde etkisi önemli bulunmamıştır. Buna karşın her iki yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularının ortalama klorofil içeriği değerleri arasında istatistiksel anlamda (p<0.01) farklılık belirlenmiştir. En yüksek klorofil içeriği değerleri S100 konusundan elde edilirken, bunu sırası ile S66, S33 ve S0 konuları takip etmiştir. Yaprak su içeriğindeki azalma klorofil sentez hızını yavaşlatırken klorofil parçalanmasını hızlandırmaktadır. Kuraklık, klorofil sentezini engelleyerek bitkilerin klorofil içeriğini de etkilemektedir (Kramer 1983).

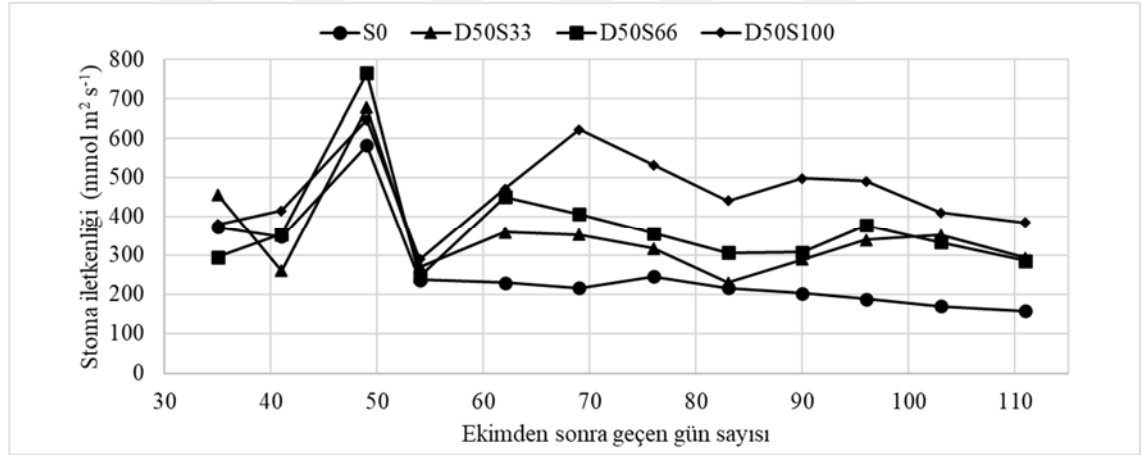
Bu çalışmada farklı lateral derinliğinin bunun yanında lateral derinliği ve sulama suyu seviyesinin etkileşiminin klorofil içeriği değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. Nitekim, Kırnak ve Demirtaş (2002), bitkilerin kısa süreli stres koşullarında klorofil sentez ve parçalanmasında istatistiksel açıdan bir farklılık olmadığını, klorofil kaybının verilen su miktarının yanında stres süresine de bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Toprak altı damla sulama yönteminin en önemli özelliklerinden biri bitki kök bölgesine direkt olarak su uygulanması ve bunun bitkinin verim ve gelişimini arttırmasıdır. Burada, farklı miktarlarda ve derinliklerde sulama suyu uygulanmasına rağmen konular arasında her iki yetiştirme mevsiminde de istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmemesinin bu özelliği desteklediği düşünülmektedir.

4.4.3. Stoma iletkenliği değerlerinin mevsimlik değişimleri ve ortalama stoma iletkenliği değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler

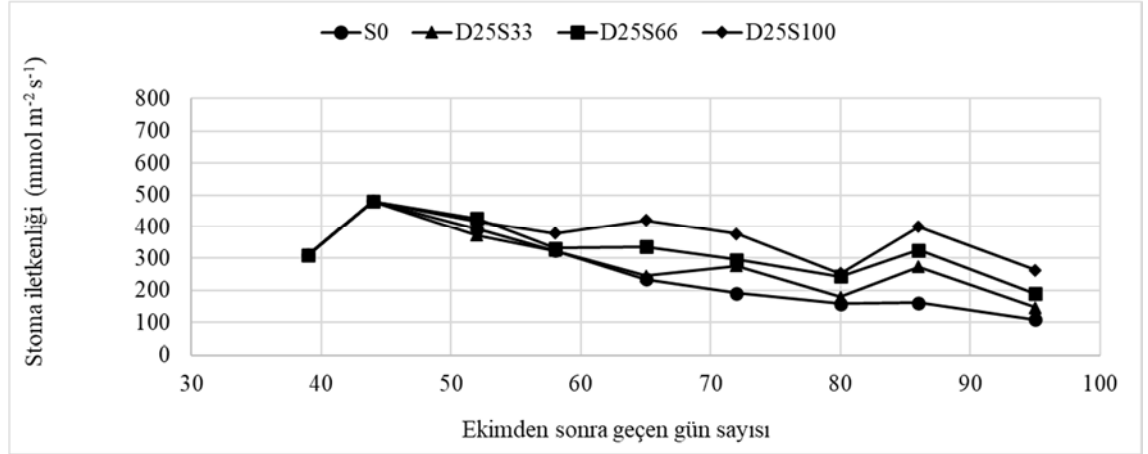
Stoma iletkenliği değerlerinin birinci yetiştirme mevsimindeki değişimleri Şekil 4.15 ve 4.16'da, ikinci yetiştirme mevsimindeki değişimi ise Şekil 4.17 ve 4.18'de verilmiştir.



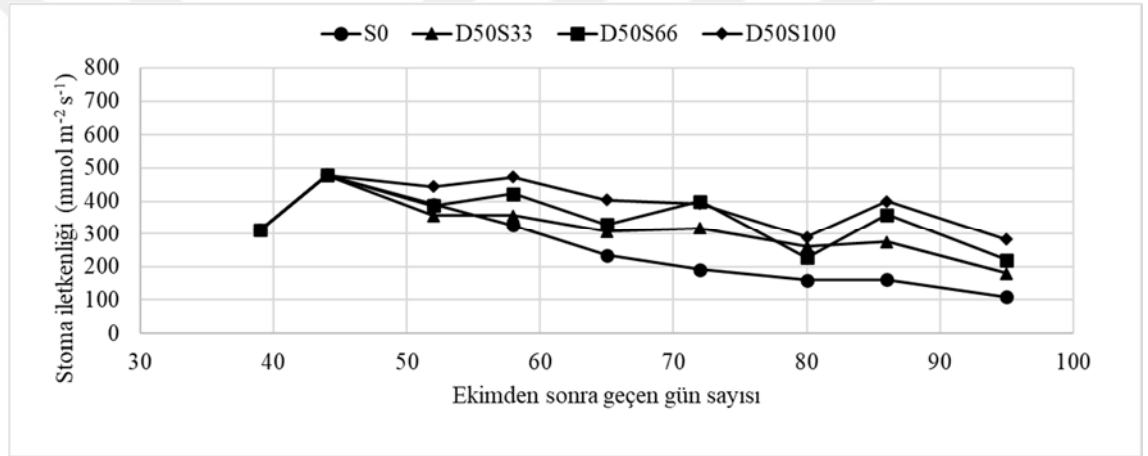
Şekil 4.15. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının stoma iletkenliği değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.16. Birinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının stoma iletkenliği değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.17. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının stoma iletkenliği değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.18. İkinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının stoma iletkenliği değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.15 ve 4.16 incelendiğinde, birinci yetiştirme mevsiminde hem D25 hem de D50 konularında uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça stoma iletkenliğinin de arttığı görülmektedir. D25 konularında, mevsim boyunca en yüksek stoma iletkenliği D25S100 konusunda belirlenirken bunu D25S66, D25S33 ve S0 konuları izlemiştir. D50 konularında da benzer bir değişim görülmüş ve mevsim boyunca en yüksek stoma iletkenliği değişimi sırası ile D50S100, D50S66, D50S33 ve S0 konularından elde edilmiştir. Şekil 4.17 ve 4.18 incelendiğinde, ikinci yetiştirme mevsimindeki stoma iletkenliği değerlerinin değişiminin birinci yetiştirme mevsim ile oldukça benzer olduğu görülmektedir. D25 konularında, mevsim boyunca en yüksek stoma iletkenliği değişimi sırası ile D25S100, D25S66, D25S33 ve S0 konularından elde edilirken, D50 konularında da benzer bir değişim görülmüştür ve mevsim boyunca en yüksek stoma iletkenliği değişimi sırası ile D50S100, D50S66, D50S33 ve S0 konularından elde edilmiştir. Her iki yetiştirme mevsiminde de hiç sulanmayan konu yetiştirme mevsimi başlangıcında diğer konularla aynı stoma iletkenliğine sahip olmasına rağmen, mevsim sonuna doğru azalan bir eğilim göstermiştir. Stoma iletkenliği sulamadan sonra ölçülmesine rağmen tüm konularda sıcaklığın arttığı ve aynı zamanda oransal nemin azaldığı günlerde stoma

iletkenliğinin arttığı, sıcaklığın azaldığı ve oransal nemin arttığı günlerde azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.1 ve 4.2). Bu nedenle stoma iletkenliği değerleri her iki yetiştirme mevsimi boyunca artan ve azalan bir eğilim göstermişlerdir.

Farklı lateral derinliklerinin ve sulama seviyelerinin stoma iletkenliğine olan etkisinin daha iyi değerlendirilebilmesi amacıyla her iki yetiştirme mevsimi için istatistiksel analizler yapılmıştır. Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı derinliklerde ve sulama konularında sorgum bitkisinin ortalama stoma iletkenliği değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları sırasıyla, Çizelge 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama stoma iletkenliği değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	441.68 ^ç b	416.00 c	369.52 de	263.56 f	372.69
D50	465.17 a	373.58 d	349.71 e	263.56 f	363.00
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	453.42	394.79	359.62	263.56	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): **					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. ** : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.9. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin ortalama stoma iletkenliği değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	366.60 ^ç	326.52	289.79	262.46	311.34
D50	386.13	348.15	315.76	262.46	328.12
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	376.37 a [†]	337.34 b	302.78c	262.46 c	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** p<0.01 : olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.8 incelendiğinde, ilk yetiştirme mevsimi boyunca haftalık periyotta ölçülen stoma iletkenliği değerlerinin 465.17-263.56 mmol m⁻² sn⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Stoma iletkenliği değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, farklı lateral derinlikleri ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonunun sorgum bitkisinin stoma iletkenliği değerlerine ait varyans analiz sonuçlarının etkisi olduğu (p<0.01) belirlenmiştir. En yüksek stoma iletkenliği değeri, D50S100 konusundan elde edilirken bunu sırasıyla, D25S100, D25S66, D50S66 D25S33, D50S33 ve S0 konularının takip ettiği görülmektedir, D50S66 ve D25S33 arasında istatistiksel anlamda bir farklılık belirlenmemiştir. D50S33 ve D25S33 arasında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunmamıştır.

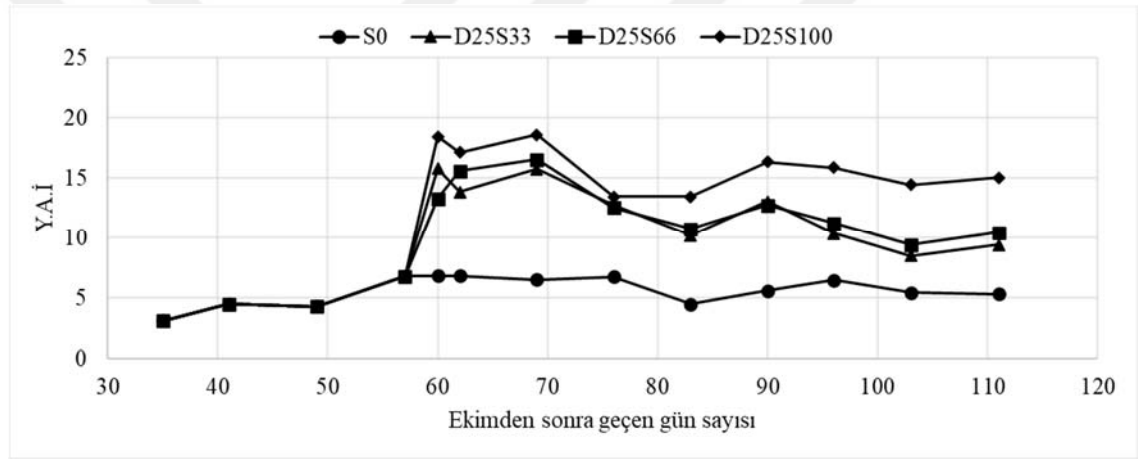
Çizelge 4.9 incelendiğinde, ikinci yetiştirme mevsimi boyunca haftalık periyotta ölçülen stoma iletkenliği değerlerinin 262.46-386.13 mmol m⁻² sn⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Stoma iletkenliği değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, lateral derinliği ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonunun sorgum bitkisinin stoma iletkenliği değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. Ana faktör olarak lateral derinliği ele alındığında, lateral derinliğinin ortalama stoma iletkenliği değerlerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Yetiştirme dönemi boyunca farklı sulama konularının ortalama stoma iletkenliği değerleri arasında istatistiksel farklılık (p<0.01) belirlenmiştir. En yüksek stoma iletkenliği değeri S100 konusundan elde edilirken, bunu sırasıyla S66, S33 ve S0 konuları takip etmiştir ve S33 ve S0 arasında istatistiksel anlamda bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

Bitkiler su stresini algıladıkları zaman, su kaybını engellemek amacı ile stoma açıklıklarını daraltır veya kapatırlar (Osakabe vd. 2014). Bu çalışmada 25 ve 50 cm lateral derinliği kullanılmıştır. Bitkiler her iki lateral derinliğinde de uygulanan sulama suyu miktarını kullanabildiği ve bu nedenle farklı lateral derinliklerinin stoma iletkenliğini etkilemediği düşünülmektedir. Buna karşın, her iki yetiştirme mevsiminde farklı sulama

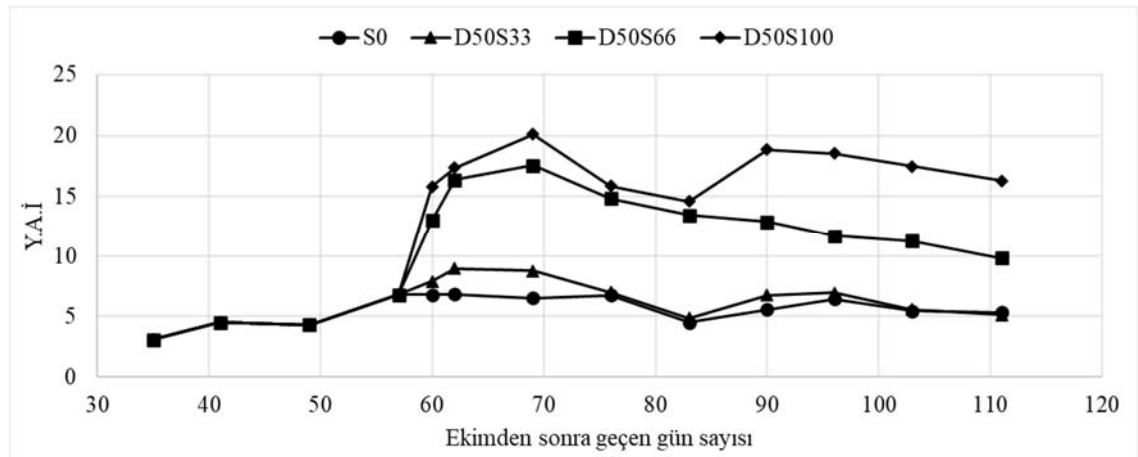
seviyelerinin stoma iletkenliğini istatistiksel anlamda ($p < 0.01$) etkilediği belirlenmiş olup biyoetanol amacıyla yetiştirilen sorgum bitkisinde su stresinin stoma iletkenliğini azalttığı belirlenmiştir. Stoma iletkenliği azaldığında, karbondioksit alımı da azalır ve fotosentez oranında bir düşüş gerçekleşir. Bitki büyüme ve gelişmesinde kullanılan enerji ve karbonhidratlar, fotosentez sonucunda meydana geldiği için, fotosentez oranının düşmesi ile büyüme ve gelişme de yavaşlar (Osakabe vd. 2014). Bu nedenle stoma iletkenliği bitkinin verim ve gelişimini etkileyen önemli bir parametredir. Sorgum bitkisinde yapılan birçok çalışmada da su stresinin stoma iletkenliğini azalttığı belirlenmiştir (Vasilakoglou vd. 2011; Zegada 2011; Miller ve Ottman 2012).

4.4.4. Yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin mevsimlik değişimleri ve mevsim sonu yaprak alan indeksi arasındaki istatistiksel ilişkiler

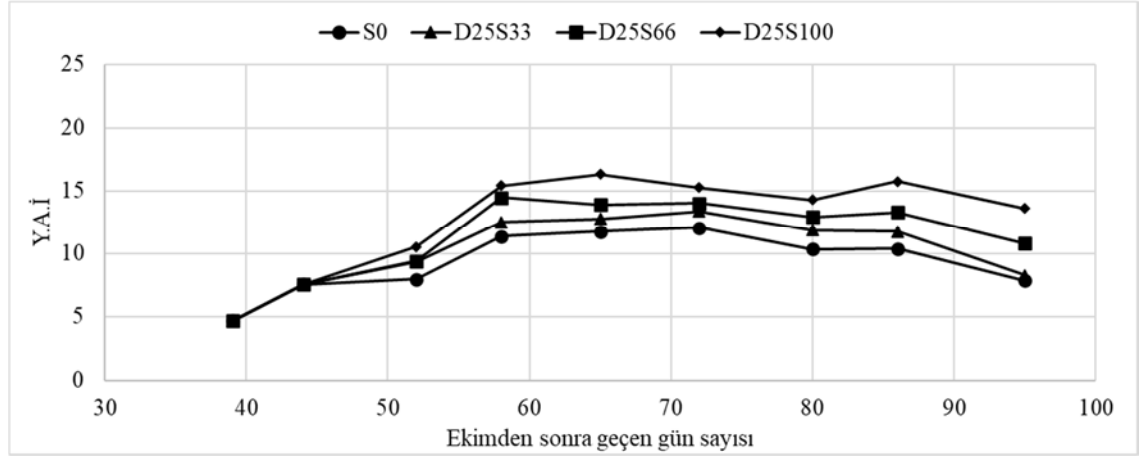
Yaprak alan indeksi değerlerinin birinci yetiştirme mevsimindeki değişimleri Şekil 4.19 ve 4.20’de, ikinci yetiştirme mevsimindeki değişimi Şekil 4.21 ve 4.22’de verilmiştir.



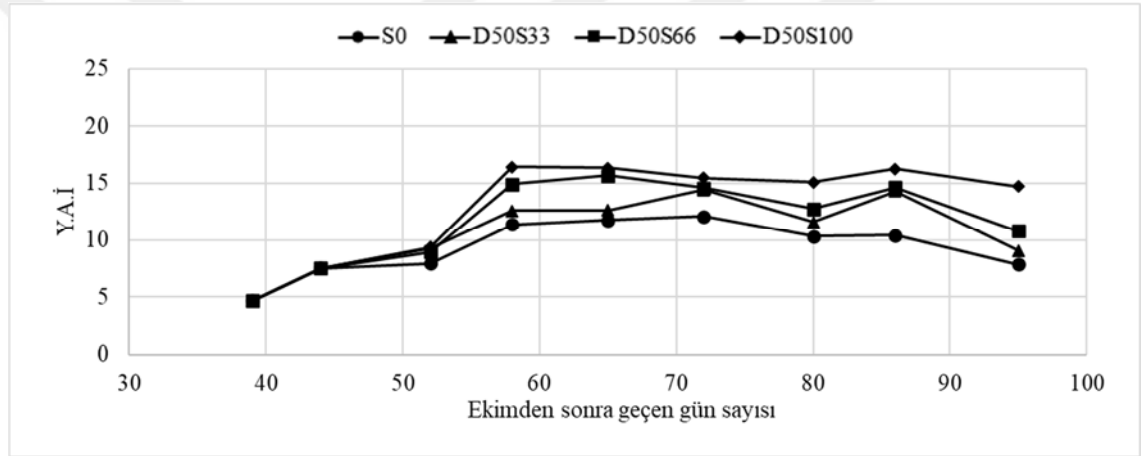
Şekil 4.19. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.20. Birinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.21. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 konularının yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin zamanla değişimi



Şekil 4.22. İkinci yetiştirme mevsiminde D50 konularının yaprak alan indeksi (YAI) değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.19 ve 4.20 incelendiği zaman, başlangıçta aynı olan YAI değerlerinin konulu sulamalara başladıktan sonra farklılaştığı görülmektedir. D25 konularında en yüksek YAI değerleri sırası ile D25S100, D25S66, D25S33 ve S0 konularından elde edilirken D50 konularında da benzer bir eğilim elde edilmiş ve en yüksek YAI değerleri sırası ile D50S100, D50S66, D50S33 ve S0 konularından elde edilmiştir. Şekil 4.21 ve 4.22 incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsimi ile benzer bir değişim gerçekleştiği görülmüştür. Uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça, YAI değerleri artmıştır. Mevsim sonuna doğru yapraklarda sararmaların artmasına bağlı olarak YAI değerleri azalmaktadır.

Çizelge 4.10. Birinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaprak alan indeksi (YAI) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	15.05 ^ç	10.42	9.39	5.33	10.05
D50	16.28	9.84	5.14	5.33	9.15
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	15.66 a [†]	10.13 b	7.27 bc	5.33 c	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.11. İkinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaprak alan indeksi (YAI) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	13.59 ^ç	10.80	8.27	7.84	10.13
D50	14.71	10.80	9.05	7.84	10.60
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	14.15 a [†]	10.80 b	8.66 c	7.84 c	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.10 ve 4.11 incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsiminin sonunda ölçülen YAI değerlerinin, 5.33-16.28, ikinci yetiştirme mevsiminin sonunda ise 7.84-14.71 arasında değiştiği görülmektedir. Her iki mevsimde de lateral derinliklerinin, lateral derinliği ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonunun YAI değerlerine bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Sulama seviyeleri ise ortalama YAI değerlerini istatistiksel anlamda (p<0.01) etkilemiştir. Diğer bir deyişle, YAI değerlerinin su stresinden önemli seviyede etkilendiği saptanmıştır. Birinci yetiştirme mevsiminde en yüksek YAI değerlerinin S100 konusunda olduğu ve bu konuyu S66 konusunun takip ettiği, en düşük YAI değerlerinin ise S33 ve S0 konusunda olduğu görülmektedir. S33 ve S0 konularındaki YAI değerleri arasında ise istatistiksel anlamda farklılık olmadığı

belirlenmiştir. S66 ve S33 konuları arasında da istatistiksel olarak farklılık yoktur. İkinci yetiştirme mevsiminde ise en yüksek YAI değerlerinin S100 konusunda olduğu ve bu konuyu S66 konusunun takip ettiği, en düşük YAI değerlerinin ise S33 ve S0 konusunda olduğu görülmektedir. S33 ve S0 konularındaki YAI değerleri arasında istatistiksel anlamda farklılık olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, sulama seviyesi ve lateral derinliğinin interaksyonunun YAI değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. Ana faktör olarak sulama seviyeleri ele alındığında, sulama seviyesinin ortalama YAI değerlerini etkilediği belirlenmiş olup, en yüksek yaprak alanı değeri S100 konusundan elde edilmiştir. Birçok çalışmada su stresinin YAI değerlerini azalttığı belirlenmiştir (Dercas ve Liakatas 2006; Sakellariou-Makrantonaki vd. 2007; Zegada vd. 2011).

4.5. Hasat Sonrası Verim ve Verim Parametrelerinin Belirlenmesi

Birinci ve ikinci yetiştirme sonunda verim parametreleri belirlenmiştir. Farklı lateral derinliklerinin ve sulama suyu seviyelerinin verim parametrelerine olan etkilerini daha detaylı değerlendirmek amacıyla istatistiksel tablolar hazırlanmıştır.

4.5.1. Yaş ot verimi

Farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaş ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları birinci ve ikinci yetiştirme mevsimleri için sırasıyla Çizelge 4.12 ve 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Birinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaş ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	19785.7 ^ç	14619.0	10857.1	5119.1	12595.2
D50	20857.1	16428.6	7309.5	5119.1	12428.6
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	20321.4 a [†]	15523.8 b	9083.3 c	5119.1 d	
Önemlilik Derinlik (D): öđ Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öđ					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ^{**} : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öđ: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.13. İkinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaş ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	16047.6 ^{ab}	11452.4 c	11857.1c	8619.1 d	10054.8
D50	17261.9 a [†]	15571.4 b	10523.8. c	8619.1 d	11054.8
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	16654.7.	13511.9	11190.4	8619.1	
Önemlilik Derinlik (D): * Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (D×S): *					
^{ab} : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** ve *: Sırasıyla p<0.01 ve p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Bu çalışmadan elde edilen yaş ot verim değerleri, birinci yetiştirme mevsiminde 5119.1-20857.1 kg da^{-1} , ikinci yetiştirme mevsiminde ise 8619.05-17261.9 kg da^{-1} arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.12 ve 4.13). Lateral derinliği ve sulama suyu seviyesinin interaksiyonunun yaş ot verimine ait varyans analiz sonuçları istatistiksel olarak ilk yıl önemli bir farklılık göstermemiş, buna karşın ikinci yıl farklılık ($p<0.01$) göstermiştir. En yüksek yaş ot verimi D25S100 ve D50S100 konularından elde edilmiştir ve her iki konu aynı grupta yer almıştır. Bu konuları D50S66 konusunun takip ettiği ve D25S100 konusu ile aralarında istatistiksel olarak bir farklılık olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Lamm vd. (2012), beş farklı lateral derinliğinde elde ettikleri yaş ot verim değerleri arasında istatistiksel bir farklılık belirlemediklerini bununla beraber rakamsal olarak en yüksek yaş ot verim değerini (10500 kg da^{-1}) lateral 40 cm toprak derinliğinde bulunduğu konudan elde ettiklerini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, sorgum bitkisinin 20 cm'den daha fazla toprak derinliklerden su alabilen geniş bir kök sistemine sahip olduğunu, aynı zamanda çalışmalarında kullandıkları toprak bünyesinin siltli tın olmasından dolayı 20-60 cm arasında belirlenen lateral derinliklerinde uygulanan sulama suyunun yaş ot verim değerlerini etkilemediğini açıklamışlardır. Bununla beraber, Camp (1998) lateral derinliğinin verim değerlerine olan etkilerinin bitki ve toprak çeşidine göre değişebileceğini, hafif bünyeli topraklarda yetişen daha sık kök yapısına sahip bitkilerin lateral derinliğindeki değişikliklere karşı daha hassas olduğunu ifade etmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde lateral derinliğinin ortalama yaş ağırlığı değerlerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmaması (Çizelge 4.12), ikinci yetiştirme mevsiminde ise D25S100 ve D50S100 konuları arasında farklılık olmaması literatürdeki bu bilgileri doğrulasa da farklı sulama seviyeleri ve lateral derinliklerinin etkileşiminin yaş ot verim değerlerine olan etkileri daha kapsamlı incelenmelidir. Nitekim, ikinci yetiştirme mevsiminde D50S66 ve D25S100 konuları arasında istatistiksel olarak bir farklılık olmadığı görülmektedir (Çizelge 4.13). Yaş ot verim değerleri göz önüne alındığında, 50

cm lateral derinliğinde yığışimli kıyas bitki su tüketimi miktarının %66'sının sulama suyu miktarı olarak uygulanması durumunda 25 cm lateral derinliğinde tam sulanan konu ile aynı verimin elde edilmesi su tasarrufuna katkı sağlayacağı için oldukça önemli bir sonuçtur. Bununla beraber iki yetiştirme mevsimi sonunda farklı sulama konularının ortalama yaş ağırlığı değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık ($p<0.01$) belirlenmiştir. Su stresi arttıkça yaş ot verim değerlerinin de azaldığı görülmektedir. İki yetiştirme mevsimi sonunda da toprak altı damla sulama yöntemi ile sulanan sorgum bitkisinin yaş ot verim değerlerinin su stresinden etkilendiği söylenebilir ancak uygulanan sulama seviyesi ve kullanılan lateral derinliğinin etkileşiminin daha kapsamlı değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yücel vd. (2020), Adana koşullarında, biyoetanol üretim amacı ile yetiştirilen 21 farklı hat ve çeşitlerinde yaş ot veriminin, 8340-21491 kg da⁻¹ arasında değiştiğini ve kullandıkları sorgum çeşidine göre yaş ot verim değerlerinin değiştiğini açıklamışlardır. Aydınsakır vd. (2021), su stresinin yaş ot verim değerlerini azalttığını ve toprak altı damla sulama yönteminde elde ettikleri yaş ot verim değerlerinin 5570.3-13185.0 kg da⁻¹ arasında değiştiğini açıklamışlardır. Lamm vd. (2012), toprak altı damla sulamada beş farklı lateral derinliğinde elde ettikleri yaş ot verim değerlerinin 9300-10000 kg da⁻¹ arasında değiştiğini, Sakellariou-Makrantonaki vd. (2007) ise toprak altı damla sulama yönteminin yaş ot verim değerlerini arttırdığını ve ortalama 14800 kg da⁻¹ yaş ot verimi elde ettiklerini belirtmişlerdir. Erdurmuş vd. (2021), Antalya ve Konya'da farklı sorgum hatlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında en yüksek yaş ot verimini (99.1 t ha⁻¹) Antalya bölgesinden elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada hiç sulanmayan ve su kısıtı uygulanan konulardan elde edilen yaş ot verimi literatür ile uyumlu olmasına rağmen tam sulama konularından literatürden daha yüksek yaş ot verimi elde edilmiştir. Bu farklılık literatürde elde edilen yaş ot verimlerinin farklı hasat zamanlarında belirlenmesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bununla beraber, çiçeklenme süresi daha uzun olan genotiplerin, bitki boylarının daha uzun olduğu ve buna bağlı olarak daha fazla yaş ot verim değerlerine sahip olduğu bilinmektedir (Yücel 2020; Subramanian 2013; Audilakshmi vd 2010). Bu çalışmada ölçülen bitki boylarının yüksek olmasının ve hasat zamanının çiçeklenme döneminin sonunda gerçekleşmesinin yaş ot verimini arttırdığı düşünülmektedir. Biyoetanol üretim amacıyla yetiştirilen sorgum bitkisinde hasat zamanının yaş ot verim değerlerini etkilediği ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Miller ve Ottman (2012), tatlı sorgumun en yüksek yaş ot veriminin fizyolojik olgunlukta gerçekleşmediğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, fizyolojik olgunluk döneminden sonra elde ettikleri yaş ot veriminin, çiçeklenme döneminden sonra elde ettikleri verimden 500 kg da⁻¹ daha az olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca sulama zamanının daha sık olduğu konularda en yüksek yaş ot verimini çiçeklenme döneminden sonra elde ettiklerini açıklamışlardır. Sakellariou-Makrantonaki vd. (2007), en yüksek yaş ot verimini fizyolojik olgunluk döneminden bir ay önce belirlediklerini bildirmişlerdir. Yaş ot verim değerlerinin çiçeklenme dönemi sonrasında azalması, çiçeklenme dönemi sonrası büyüme oranlarının azalması, yaprakların yaşlanması ile ilgili olabilir.

4.5.2. Kuru ot verimi

Farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin kuru ot verim (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları birinci ve ikinci yetiştirme mevsimleri için sırasıyla Çizelge 4.14 ve 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin kuru ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	4855.2 ^ζ	3388.9	2433.8	1064.8	2935.6
D50	5152.9	3882.4	1687.6	1064.8	2946.9
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	5004.1 a [†]	3635.7 b	2060.7 c	1064.7 d	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (D×S): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ^{**} : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.15. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin kuru ot verim (kg da^{-1}) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	3739.5 a ^ζ	2588.5 b	2488.6 b	1745.2 b	2638.09
D50	4110.4 a [†]	3592.1 a	2295.1 b	1745.2 b	2935.70
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	3924.9	3090.3	2391.9	1740.5	
Önemlilik Derinlik (D): * Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (D×S): *					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ^{**} ve [*] : Sırasıyla p<0.01 ve p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.14 incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsiminde elde edilen sorgum bitkisinin kuru ot verim değerlerinin 1064.8-5152.9 kg da^{-1} arasında değiştiği görülmektedir. Kuru ot verim değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, lateral derinliği ve lateral derinliği ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonunun kuru ot verim değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. Yetiştirme mevsimi sonunda farklı sulama konularının ortalama kuru ot verim değerleri arasında istatistiksel farklılık ($p<0.01$) belirlenmiştir. Uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça kuru ot veriminin arttığı saptanmıştır.

Çizelge 4.15 incelendiği zaman, ikinci yetiştirme mevsiminde kuru ot verim değerlerinin 1745.2-4110.4 kg da⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Kuru ot verim değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, lateral derinliği ve sulama suyu seviyelerinin interaksiyonunun sorgum bitkisinin kuru ot verim değerlerine ait varyans analiz sonuçları istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. En yüksek kuru ot verimi D50S100, D25S100 ve D50S66 konularından elde edilirken, bu konular arasında istatistiksel farklılık belirlenmemiştir.

Yücel vd. (2020), Adana koşullarında yetiştirdikleri sorgum bitkisinin kuru ot veriminin 2159-6290 kg da⁻¹ arasında değiştiğini ortalama 4051 kg da⁻¹ kuru ot verimi elde ettiklerini bildirmişlerdir. Aydınsakir vd. (2021), toprak altı damla sulama yönteminde en yüksek kuru ot verimini tam sulama konusundan 2647.8 kg da⁻¹ elde ettiklerini ve su stresinin kuru ot verim değerlerini azalttığını ifade etmişlerdir. Curt vd. (2000), sorgum bitkisinde kuru ot verimini 2850 kg da⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Roman ve ark. (1998) Romanya’da gerçekleştirdikleri çalışmalarında sorgum bitkisinin ortalama kuru ot ve yaş ot verimini sırasıyla, 2800 kg da⁻¹ ve 11400 kg da⁻¹ olarak belirlediklerini yaş ot ve kuru ot verim değerlerinin birbiri ile ilişkili olduğunu açıklamışlardır. Papanikolaou ve Sakellariou-Makrantonaki (2013), kuru ot verim değerlerinin 3.94×10^4 - 4.19×10^4 kg ha⁻¹ arasında değiştiğini, Campi vd. (2014), kuru ot verim değerlerinin 1678-2080 kg da⁻¹ arasında olduğunu açıklamışlardır. Vasilakoglou vd. (2011), tam sulama konusunda 1980 kg da⁻¹, %50 su kısıntısı uyguladıkları konudan 1330 kg da⁻¹ kuru ot verimi elde ettiklerini ve uyguladıkları su kısıntının kuru ot verimini %49 azalttığını saptamışlardır. Bu çalışmadan elde edilen kuru ot verim değerlerinin literatür de elde edilen değerlerle uyum içerisinde olduğu bununla beraber kuru ot veriminin, uygulanan sulama suyu ve yöntemine göre değişebileceği belirlenmiştir.

4.5.3. Başak, sap ve yaprak ağırlıkları

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde belirlenen başak, sap ve yaprak ağırlığı değerleri sırası ile Çizelge 4.16 ve 4.17 ve 4.18’de, ikinci yetiştirme mevsiminde belirlenen başak, sap ve yaprak ağırlığı değerleri sırası ile Çizelge 4.19 ve 4.20 ve 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin başak ağırlığı (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	704.8 ^ç	1028.6	507.9	190.5	607.9
D50	749.2	768.3	298.4	190.5	501.6
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	727.0 a [†]	898.4 a	403.2 b	190.5 c	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. **: p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.17. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin sap ağırlığı (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	17625.4 ^ç	11765.1	7885.7	4330.2	10401.6
D50	18260.3	13377.8	5454.0	4330.2	10355.6
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	17942.9 a [†]	12571.4 b	6669.8 c	4330.2 d	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. **: p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.18. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaprak ağırlığı (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	3892.1 <i>ab</i> ^ζ	3676.2 <i>ab</i>	2438.1 <i>c</i>	1631.7 <i>d</i>	2909.5
D50	4292.1 <i>a</i> [†]	3587.3 <i>b</i>	1498.4 <i>d</i>	1631.7 <i>d</i>	2752.4
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	4092.1	3631.7	1968.3	1631.7	
<u>Önemlilik</u> Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): * ^ζ: İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. [†]: Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** ve *: Sırasıyla p<0.01 ve p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.19. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin başak ağırlığı (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	577.8 ^ζ	476.2	387.3	285.7	431.8
D50	695.2	609.5	412.7	285.7	500.8
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	636.5 <i>a</i> [†]	542.8 <i>a</i>	400.0 <i>b</i>	285.7 <i>b</i>	
<u>Önemlilik</u> Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd ^ζ: İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir. [†]: Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.20. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin sap ağırlığı (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	15561.9 ^ζ	13879.4	8031.7	9600.0	11768.3
D50	16355.6	14558.7	11015.9	9600.0	12882.5
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	15958.7 a [†]	14219.0 a	9523.8 b	9600.0 b	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ^{**} : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.21. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin yaprak ağırlığı (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	3346.0 ^ζ	3396.8	3117.5	2304.8	3041.3
D50	3784.1	3695.2	2831.8	2304.8	3154.0
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	3565.1 a [†]	3546.0 a	2974.6 ab	2304.8b	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): * Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. [*] : p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.16 ve 4.19 beraber incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsimi sonunda elde edilen sorgum bitkisinin başak ağırlığı değerlerinin 190.5-1028.6 kg da⁻¹ arasında ikinci yetiştirme mevsimi sonunda ise 285.7-695.2 kg da⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Başak ağırlığı değerleri, her iki yetiştirme mevsimi için de lateral derinliği ve sulama seviyesinin interaksyonunun başak ağırlığı değerlerine bir etkisi olmadığı görülmektedir. Farklı lateral derinliklerinin de ortalama başak ağırlığı değerlerine bir etkisi olmamıştır. Her iki mevsimde farklı sulama konularının ortalama başak ağırlığı değerleri arasında istatistiksel farklılık (p<0.01) belirlenmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde en yüksek başak ağırlığı S100 ve S66 konularından elde edilmiş ve bu iki

konu arasında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunmamıştır. Bu konuları sırası ile S33 ve S0 konuları izlemiştir. İkinci yetiştirme mevsiminde en yüksek başak ağırlığı değerleri S100 ve S66 konularından elde edilmiştir ve bu iki konu arasında istatistiksel anlamda bir farklılık belirlenmemiştir. Bu konuları S33 ve S0 konuları takip etmiş ve bu iki konu arasında istatistiksel anlamda bir farklılık olmadığı saptanmıştır.

Çizelge 4.17 ve 4.20 beraber incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsimi sonunda elde edilen sorgum bitkisinin sap ağırlığı değerlerinin 4330.2- 18260.3 kg da⁻¹ arasında, ikinci yetiştirme mevsimi sonunda ise 8031.7-16355.6 kg da⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Her iki yetiştirme mevsiminde lateral derinliği ve sulama suyu seviyesinin interaksiyonunun sap ağırlığı değerlerini etkilemediği görülmektedir. Farklı lateral derinliklerinin de ortalama sap ağırlığı değerlerine bir etkisi olmamıştır. Her iki yetiştirme mevsiminde de farklı sulama konularının ortalama sap ağırlığı değerleri arasında istatistiksel farklılık ($p<0.01$) belirlenmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde en yüksek sap ağırlığı S100 konusundan elde edilmiş olup, uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça, sap ağırlığı değerleri de artmıştır (Çizelge 4.17). İkinci yetiştirme mevsimi ise en yüksek sap ağırlığı değerleri S100 ve S66 konularından elde edilirken bu iki konu arasında istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmemiştir. Bu konuları S33 ve S0 konuları takip etmiştir ve bu iki konu arasında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamıştır (Çizelge 4.20). Bu çalışmada, uygulanan sulama seviyesinin sap ağırlığı değerlerini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla beraber suyun kısıtlı olduğu durumlarda S66 konusunun uygulanabileceği düşünülmektedir.

Biyoetanol üretim amacı ile yetiştirilen sorgum bitkisinde sap ağırlığı önemli bir verim parametresidir. Sap ağırlığı yüksek olan genotiplerin özsu verimlerinin de yüksek olduğu, sap ağırlığı ve özsu verim değerlerinin birbiriyle ilişkili olduğu bilinmektedir. Bununla beraber bitki boyu ve sap ağırlığı arasında da önemli bir ilişki olduğu, bitki boyu yüksek genotiplerin sap ağırlığı değerlerinin de yüksek olduğu bilinmektedir (Audilakshmi vd. 2010; Yücel vd. 2020). Yücel vd. (2020), biyoetanol amacı ile yetiştirdikleri sorgum bitkisinde sap verimini 6902-18256 kg da⁻¹ olarak belirlemişlerdir. Audilakshmi vd. (2010), sorgum bitkisinde biyoetanol verimini arttırmak için farklı çeşitler geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri çeşitlerden elde ettikleri sap verimlerinin 124-415 g bitki⁻¹ değerleri arasında değiştiğini ve geliştirilen çeşide göre sap veriminin değişebileceğini bildirmişlerdir. Dalla Marta vd. (2014), üç farklı su kısıntısı konusundan elde ettikleri sap ağırlık değerlerinin 139.39-168.79 g bitki⁻¹ arasında değiştiğini, uyguladıkları sulama suyu seviyesi arttıkça, sap ağırlık değerlerinin de arttığını açıklamışlardır.

Çizelge 4.18 ve 4.21 beraber incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsimi sonunda elde edilen sorgum bitkisinin yaprak ağırlığı değerlerinin 1631.7-4292.1 kg da⁻¹ arasında ikinci yetiştirme mevsimi sonunda ise 2304.8-3784.1 kg da⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde lateral derinliği ve sulama suyu seviyelerinin interaksiyonunun yaprak ağırlığı değerlerini istatistiksel anlamda ($p<0.05$) etkilediği belirlenmiştir. En yüksek yaprak ağırlığı D50S100 ve D25S100 konularından elde edilirken bu konuları D25S100, D25S66, D50S66 konuları takip etmiş ve aralarında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunmamıştır. İkinci yetiştirme mevsiminde ise lateral derinliği ve sulama suyu seviyesinin interaksiyonunun yaprak ağırlığı değerlerini etkilememiştir. İkinci yetiştirme mevsiminde en yüksek yaprak ağırlığı değerleri S100 ve S66 konularından elde edilirken aralarında farklılık belirlenmemiştir.

4.5.4. Özsü verimi

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin özsü verimi ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları sırası ile Çizelge 4.22 ve 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin özsü verimi ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	5462.2 b^{ζ}	3753.5 c	2732.2 cd	1135.2 e	3270.8
D50	7086.8 $a^{\dagger}$	4958.0 b	2268.9 d	1135.2 e	3862.2
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	6274.5	4355.7	2500.6	1135.2	
Önemlilik Derinlik (D): * Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik $\times$ Sulama Seviyesi (D $\times$ S): *					
ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksiyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. $\dagger$: Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** ve $\dagger$: Sırasıyla $p<0.01$ ve $p<0.05$ olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.23. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin özsü verimi ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	5183.2 ζ	2521.0	1855.5	1217.5	2694.3 B $^{\phi}$
D50	5687.4	3892.4	2238.7	1217.5	3259.0A
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	5435.3 $a^{\dagger}$	3206.7 b	2047.1 c	1217.5 d	
Önemlilik Derinlik (D): * Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik $\times$ Sulama Seviyesi (D $\times$ S): öd					
ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksiyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. ϕ : Büyük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde sütun boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. $\dagger$: Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** ve $\dagger$: Sırasıyla $p<0.01$ ve $p<0.05$ olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.22 incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsiminde elde edilen sorgum bitkisinin özsu verimi değerlerinin $1135.2-7086.8 \text{ l da}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Özsu verim değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, lateral derinliği ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonunun sorgum bitkisinin özsu verim değerlerine ait varyans analiz sonuçlarında farklılık ($p<0.01$) belirlenmiştir. En yüksek özsu verimi D50S100 konusundan elde edilmiştir. Bu konuyu D25S100 ve D50S66 konuları takip etmiş ve bu iki konu arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır. En düşük özsu verimi ise S0 konusundan elde edilmiştir.

Çizelge 4.23 incelendiği zaman, ikinci yetiştirme mevsimi sonunda elde edilen sorgum bitkisinin özsu verimi değerlerinin $1217.5-5435.3 \text{ l da}^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Özsu verimi değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, lateral derinliği ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonlarının özsu verim değerlerine bir etkisinin olmadığı ($p<0.05$) görülmektedir. Lateral derinliğinin ortalama özsu verim değerlerini etkilediği ($p<0.05$) belirlenirken, lateralın 50 cm toprak derinliğinde bulunması durumunda daha yüksek özsu verimi elde edilmiştir. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama konularının ortalama özsu verim değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık ($p<0.01$) belirlenmiştir. En yüksek özsu verimi sırasıyla, S100, S66, S33 ve S0 konularından elde edilmiştir.

Birinci yetiştirme mevsimi değerlendirildiği zaman, en yüksek özsu verimi D50S100 konusunda elde edilmiştir. İkinci yetiştirme mevsiminde ise her ne kadar interaksyonun bir etkisi belirlenmemiş olsa da 50 cm lateral derinliğinde belirlenen özsu verimlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu nedenle 25 ve 50 cm lateral derinliği karşılaştırıldığı zaman, sorgum bitkisinde 50 cm lateral derinliğinin daha uygun olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber ikinci yetiştirme mevsiminde uygulanan sulama suyu seviyesi arttıkça özsu verim değerlerinin de arttığı görülmektedir (Çizelge 4.23). Birinci yetiştirme mevsiminde de en yüksek özsu verimi tam sulama konusundan elde edildiği için, bu çalışmada özsu verim değerleri açısından D50S100 konusunun en uygun konu olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber, birinci yetiştirme mevsiminde D25S100 ve D50S66 konularında istatistiksel anlamda farklılık olmaması suyun kısıtlı olduğu koşullarda D50S66 konusunun uygulanabileceğini göstermektedir.

Yücel vd. (2020), Adana koşullarında, farklı çeşitlerden elde ettikleri özsu veriminin $2298 \text{ l}-6274 \text{ l da}^{-1}$ arasında belirlediklerini ve özsu veriminin çeşitlere göre farklılık gösterdiğini vurgulamışlardır. Dündar ve Ünlü (2019) uygulanan sulama suyu seviyesinin özsu verim değerlerini etkilediğini ve en yüksek özsu verimini (3997 l da^{-1}) tam sulama konusundan elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Buna karşın, Miller ve Ottman (2012) özsu veriminin su stresinden etkilenmediğini, farklı sulama aralıklarında elde ettikleri özsu verim değerleri arasında istatistiksel bir farklılık elde etmediklerini açıklamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında elde ettikleri özsu verim değerlerinin $3720-4250 \text{ l da}^{-1}$ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada farklı lateral derinliklerinde ve sulama konularında elde edilen özsu verim değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber tam sulama konularında belirlenen özsu verimlerinin literatürden daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Sorgum bitkisinde farklı sulama programlarının uygulanmasının özsu verim değerlerini etkilediği düşünülmektedir. Bununla beraber, sorgum bitkisinde yapılan çalışmalarda sap verimi yüksek olan çeşitlerin özsu verimlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir. Nitekim,

Murray vd. (2009) sap verimi ile özsu verimi arasında önemli ve olumlu ilişkiler olduğunu ifade etmişlerdir.

4.5.5. Briks içeriği

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin briks değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 4.24 ve 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin briks değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	16.23 ^ζ	17.17	17.47	13.30	16.04 A ^φ
D50	15.30	16.87	14.70	13.30	15.04 B
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	15.77 b [†]	17.02 a	16.08 ab	13.30 c	
Önemlilik Derinlik (D): * Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir. ^φ : Büyük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde sütun boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** ve [†] : Sırasıyla p<0.01 ve p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. Öd : istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.25. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin briks değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	13.83 ^ζ	12.67	11.00	11.00	12.1 B ^φ
D50	14.00	14.33	13.77	11.00	13.3 A
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	13.92 a [†]	13.50 a	12.38 b	11.00 c	
Önemlilik Derinlik (D): ** Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir. ^φ : Büyük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde sütun boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** ve [†] : Sırasıyla p<0.01 ve p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. öd : istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.24 ve 4.25 beraber incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsimi sonunda elde edilen sorgum bitkisinin briks değerlerinin %13.30-16.23 arasında, ikinci yetiştirme mevsiminde ise %11-14 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. İki yetiştirme mevsiminde de lateral derinliğinin ve sulama suyu seviyesinin interaksiyonunun sorgum bitkisinin briks değerlerine etkisinin olmadığı saptanmıştır. Lateral derinliğinin birinci yetiştirme mevsiminde ortalama briks değerlerini istatistiksel anlamda ($p<0.05$) etkilediği belirlenmiştir. D25 konularında belirlenen ortalama briks değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.24). İkinci yetiştirme mevsiminde de ortalama briks değerleri arasında istatistiksel anlamda bir farklılık ($p<0.01$) elde edilmiştir (Çizelge 4.25). Buna rağmen, birinci yetiştirme mevsiminde belirlenen eğilimin tersi olarak D50 konusunda elde edilen briks değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, farklı lateral derinlikleri ve briks değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı sulama suyu seviyelerinin ortalama briks değerlerini istatistiksel anlamda ($p<0.01$) etkilediği belirlenmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde en yüksek briks değeri S66 konusundan elde edilirken, S66 ile S33 ve S66 ile S100 konuları arasında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunmamıştır (Çizelge 4.24). İkinci yetiştirme mevsiminde ise S100 ve S66 konularında en yüksek briks değerlerinin elde edildiği görülmektedir ve bu iki konu arasında istatistiksel anlamda bir farklılık bulunmamıştır (Çizelge 4.25). İkinci yetiştirme mevsiminde elde edilen briks değerlerinin sulama seviyeleri ile daha anlamlı bir ilişkisi olduğu görülmektedir (Çizelge 4.25). Her iki mevsimde de S0 konusunda en düşük briks değeri elde edilmiştir. Bu çalışmada su stresinin briks değerlerini azalttığı düşünülmektedir. Bununla beraber sorgum bitkisinde yüksek briks değeri elde etmek için S66 konusunun daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Literatürde sorgum bitkisinde su stresi ve briks içeriği arasındaki ilişki açık değildir. Ayrıca briks içeriğinin hasat zamanına, iklim koşullarına ve çeşitlere göre değişken bir parametre olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber su stresinin briks değerlerini azalttığı, arttırdığı ve etkilemediği belirlenen çalışmalar mevcuttur. Mengistu vd. (2016), verim parametrelerini daha yüksek belirledikleri Hatfield çeşidinde briks değerlerini de daha yüksek hesapladıklarını ve çalışmalarında belirledikleri briks içeriğinin %12.2-15.2 arasında değiştiğini bildirirken, aynı iklim koşullarında ve sulama uygulamalarında farklı çeşitlerde belirledikleri briks değerlerinin farklı olduğunu açıklamışlardır. Dünder ve Ünlü (2019) çalışmalarında elde ettikleri briks değerlerinin 15.3-15.8 arasında değiştiğini ve farklı sulama seviyelerinden elde ettikleri briks değerleri arasında istatistiksel anlamda bir farklılık belirlemediklerini açıklamışlardır. Dalla Marta vd. (2014), çiçeklenme döneminin sonunda belirledikleri briks değerlerinin %14.26-14.36 arasında, çiçeklenme döneminden 39 gün sonra ise %14.64-16.15 arasında değiştiğini açıklamışlardır. Araştırmacılar, ilk hasat dönemi sonunda farklı sulama seviyelerinde elde ettikleri briks değerleri arasında istatistiksel olarak bir farklılık elde etmediklerini belirlerken uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça briks değerlerinin rakamsal olarak arttığını, ikinci hasat döneminde ise aynı değişimi gözlemlemediklerini, en yüksek briks değerini orta seviyede su stresi uyguladıkları konuda belirlediklerini, en düşük briks değerini ise stressiz konudan elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, briks değerinin su stresi ve şeker verimi ile olan ilişkisinin açık olmadığını vurgulamışlardır. Aydınsakir vd. (2021) uyguladıkları sulama suyu miktarı azaldıkça briks değerlerinin arttığını ve farklı sulama seviyelerinde elde ettikleri briks değerlerinin %11.2-16.1 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Ekefre vd. (2017), tatlı sorgum bitkisinde

briks değerlerinin %9.7-13.4 ve %13.4-14.9 değerleri arasında değişebileceğini ve briks değerlerinin sıcaklığa, çevreye, agronomik uygulamalara, farklı lokasyonlara ve ekim tarihlerine oldukça bağlı olduğunu ve bu nedenle oldukça değişken bir değer olduğunu belirtmişlerdir. Cole vd. (2017), yapmış oldukları çalışmalarında iki yıl arasındaki çevresel farklılıklardan dolayı briks değerlerinde %21'lik bir fark olduğunu bildirmişlerdir. Vasilakoglou vd. (2011), farklı sorgum çeşitlerinde, belirledikleri briks içeriklerinin %10.1-14.4 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Yücel vd. (2020) çalışmalarında briks değerlerinin %15.5-20 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen briks değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bununla beraber su stresinin briks değerlerini azalttığı belirlenmiştir.

4.5.6. Biyoetanol verimi

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliğinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin biyoetanol verim ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 4.26 ve 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin biyoetanol verim ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	234.8 ^ζ	155.8	156.9	44.1	147.9
D50	304.6	277.4	93.7	44.1	179.9
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	269.7a [†]	216.6a	125.3b	44.1 c	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (D×S): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ^{**} : p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.27. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin biyoetanol verim ($l\ da^{-1}$) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	274.1 ^ζ	104.4	68.9	50.1	124.4
D50	282.2	207.5	87.3	50.1	156.8
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	278.1 a [†]	156.0b	78.1c	50.1 c	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (D×S): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. **: p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.26 ve 4.27 beraber incelendiğinde, sorgum bitkisinin birinci yetiştirme mevsimi sonunda elde edilen biyoetanol verim değerlerinin $44.1-304.6\ l\ da^{-1}$ arasında, ikinci yetiştirme mevsimi sonunda ise $50.1-282.2\ l\ da^{-1}$ arasında değiştiği görülmektedir. Her iki dönemde de lateral derinliğinin, lateral derinliği ve sulama seviyesinin interaksyonunun biyoetanol verim değerlerini etkilemediği görülmektedir. Buna karşın, yetiştirme mevsimi sonunda farklı sulama konularının ortalama biyoetanol verim değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık ($p<0.01$) belirlenmiştir. Birinci yetiştirme döneminin sonunda en yüksek biyoetanol verimi S100 ve S66 konularından elde edilmiştir ve bu iki konu arasında istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmemiştir (Çizelge 4.26). Bu konuları S33 konusu takip etmiştir ve en düşük biyoetanol verimi S0 konusundan elde edilmiştir. İkinci yetiştirme döneminin sonunda en yüksek biyoetanol verimi sırası ile S100, S66 konularından elde edilmiştir. En düşük biyoetanol verimi S33 ve S0 konularından elde edilmiş olup bu iki konu arasında istatistiksel anlamda bir farklılık olmadığı görülmektedir (Çizelge 4.27). Sulama seviyesinin biyoetanol verimini etkilediği, farklı lateral derinliğinin ise önemli bir etkisi olmadığı saptanmıştır. Her iki yetiştirme mevsiminde S100 konusunda en yüksek verim elde edildiği için, Antalya koşullarında en yüksek biyoetanol verimi elde etmek için tam sulama konusu önerilmektedir. Bununla beraber suyun kısıtlı olduğu durumlarda S66 konusu da uygulanabilir.

Aydinsakir vd. (2021), çalışmalarında elde ettikleri biyoetanol verim değerlerinin $147.2-239.0\ l\ da^{-1}$ arasında değiştiğini ve uygulanan sulama suyu miktarı ve sulama yönteminin biyoetanol verim değerlerini etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Vasilakoglou vd. (2011) 6 farklı çeşitten elde ettikleri biyoetanol veriminin $143-492.6\ l\ da^{-1}$ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar tüm çeşitlerde %50 su kısıtı uyguladıkları konularda daha az biyoetanol verimi elde ettiklerini bununla beraber biyoetanol veriminin çeşitlere göre değişebileceğini açıklamışlardır. Sakellariou-Makrantonaki vd. (2007), aynı sulama suyu seviyesi uyguladıkları konularda toprak altı damla sulamada, toprak üstü damla sulama yöntemi uyguladıkları konulara göre %8 daha fazla biyoetanol verimi elde ettiklerini ve sorgum bitkisinde su stresinin biyoetanol verimini azalttığını saptamışlardır. Araştırmacılar ayrıca farklı sulama suyu seviyeleri ve yöntemlerinden

elde ettikleri biyoetanol verim değerlerinin 67-839 l da⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Çalışmada uygun sulama yöntemi ile sulama miktarı ve zamanlamasının kesin olarak belirlenmesinin kurak ve yarı kurak alanlarda tatlı sorgum verimini belirleyecek önemli faktörler olduğu vurgulanmıştır. Dalla Marta vd. (2014) farklı sulama suyu seviyelerinde elde ettikleri biyoetanol verimlerinin 182-316 l da⁻¹ arasında değiştiğini ve en yüksek biyoetanol verimini su stresinin olmadığı konudan elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Öte yandan, Miller ve Ottman (2012), 3 farklı sulama konusunda elde ettikleri biyoetanol verim değerlerinin 2760-2639 l ha⁻¹ arasında belirlediklerini, etanol verim değerlerinin konulara göre büyük bir farklılık göstermediğini, tatlı sorgum bitkisinde kullanılabilir suyun %50'si tükenmeden daha sık sulama yapılmasının biyoetanol verimini değiştirmedığını saptamışlardır. Yücel vd. (2020), farklı genotiplerde hesapladıkları biyoetanol veriminin 202-530 l da⁻¹ arasında değiştiği ve ortalama 393 l da⁻¹ olarak hesapladıklarını bildirmişlerdir. Smith ve Frederiksen (2000), sorgumdan elde edilen ortalama biyoetanol verimini 372 l da⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Mengistu vd. (2016), iki farklı çeşit için belirledikleri biyoetanol veriminin 107-261 l da⁻¹ arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Zegada-Lizarazu ve Monti (2012), farklı bitki çeşidi, farklı toprak bünyesi ve farklı azot uygulamalarına göre sorgumdan elde edilen biyoetanol verim değerlerinin 260-321 l da⁻¹ arasında değiştiğini açıklamışlardır. Smith vd. (1987), tatlı sorgumda *Sorghum bicolor* (L.) Moench çeşidini kullanarak Amerika'da 4 yıl boyunca 8 farklı yerde çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, ABD'de teorik etanol üretiminin 212 l da⁻¹ ile 569 l da⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Wittenberg (2007), çalışmalarında biyoetanol verimini 232-288 l da⁻¹ arasında elde ettiklerini bildirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen biyoetanol verimlerinin literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sulama seviyesinin biyoetanol verimini etkilediği, farklı lateral derinliğinin ise önemli bir etkisi olmadığı saptanmıştır.

4.5.7. Toplam şeker

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliğinde ve sulama seviyelerinde sorgum bitkisinin şeker verimi (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları 4.28 ve 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.28. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin şeker verimi (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	623.7a ^ζ	510.8a	329.3b	91.3c	388.8
D50	618.1a [†]	595.2a	221.6bc	91.3c	381.6
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	620.9	553.0	275.5	91.3	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): *					
^ζ : İtali yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** ve *: Sırasıyla p<0.01 ve p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.29. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin şeker verimi (kg da⁻¹) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	514.1 ^ζ	221.7	159.6	92.7	247.0B ^φ
D50	615.2	448.7	215.6	92.7	343.1A
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	564.7 a [†]	335.2 b	187.6 c	92.7 c	
Önemlilik Derinlik (D): * Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ζ : İtali yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. ^φ : Büyük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde sütun boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. ** ve *: Sırasıyla p<0.01 ve p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.28 incelendiği zaman, birinci yetiştirme mevsiminin sonunda elde edilen şeker verim değerlerinin 91.3-623.7 kg da⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Şeker verim değerlerinin ortalamaları dikkate alındığında, lateral derinliğinin ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonunun sorgum bitkisinin şeker verim değerlerine ait varyans analiz sonuçları istatistiksel olarak (p<0.01) önemli bulunmuştur. En yüksek şeker verimi D25S100, D50S100, D25S66, D50S66 konularından elde edilirken bu konular arasında

istatistiksel olarak bir farklılık belirlenmemiştir. En düşük şeker verimi ise S0 konusundan elde edilmiştir.

Çizelge 4.29 incelendiği zaman, ikinci yetiştirme mevsimi sonunda elde edilen şeker verim değerlerinin 92.7-615.2 kg da⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Lateral derinliğinin ve sulama suyu seviyesinin interaksyonunun sorgum bitkisinin şeker verim değerlerini etkilemediği görülmektedir. Farklı lateral derinliğinin ise ortalama şeker verim değerlerini istatistiksel anlamda ($p<0.05$) etkilediği belirlenmiştir. D50 konusundan elde edilen şeker veriminin D25 konusundan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla beraber farklı sulama suyu seviyelerinin de ortalama şeker verim değerlerini etkilediği ($p<0.01$) belirlenmiştir. En yüksek şeker verimi S100 konusundan elde edilmiştir. S100 konusunu S66, S33 ve S0 konuları takip ederken, S33 ve S0 konuları arasında farklılık belirlenmemiştir.

İki yetiştirme mevsimi sonunda elde edilen şeker verimleri değerlendirildiğinde, en yüksek şeker verimi için D50S100 konusunun uygun olduğu görülmektedir. Kurak koşullarda D50S66 konusu önerilmektedir.

Dalla Marta vd. (2014), sulama suyu seviyesinin toplam şeker verim değerleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu, H1 (tam sulama), M1(%75H1), L1(%50H1), L1 konularından elde ettikleri şeker verim değerlerini sırası ile, 12.26 g bitki⁻¹, 10.57 g bitki⁻¹, 7.07 g bitki⁻¹ olarak hesapladıklarını en yüksek şeker verim değerlerini H1 ve M1 konularından elde ettiklerini ve bu iki değer arasında istatistiksel olarak bir farklılık olmadığını, en düşük şeker verimini ise %50 su kısıntısı uyguladıkları konudan elde ettiklerini bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca elde ettikleri şeker verim değerleri ve biyoetanol verim değerleri arasında önemli bir ilişki belirlediklerini ve şeker verimi yüksek olan konuların aynı oranda biyoetanol verimlerinin de yüksek olduğunu saptamışlardır. Vasilakoglou vd. (2011), tam sulama ve %50 su kısıntısı uyguladıkları altı farklı sorgum çeşidinde, tam sulama yapılan sorgum çeşitlerinin toplam şeker veriminin, %50 su kısıntısı uygulanan sorgum çeşitlerinin veriminden %88 daha fazla olduğunu ve uygun sulama suyu miktarının şeker verimini arttırdığını ve buna bağlı olarak etanol veriminin de arttığını saptamışlardır. Öte yandan, Miller ve Ottman (2012), kullanılabilir suyun %35, %50 ve %65'i tüketildiği zaman, tekrar TK değerine getirecek kadar sulama suyu uyguladıkları 3 farklı sulama konusunda elde ettikleri şeker verim değerlerini sırası ile 427, 430 ve 408 kg da⁻¹ olarak belirlediklerini ve sulama sıklığına bağlı olarak şeker verimi veya toplam şeker konsantrasyonunda bir farklılık elde etmediklerini bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, elde ettikleri şeker ve biyoetanol verim değerlerinin benzer bir eğilim gösterdiğini belirtmişlerdir. Mengistu vd. (2016), iki farklı çeşit için belirledikleri şeker veriminin 202-580 kg da⁻¹ arasında değiştiğini belirlemişlerdir. DüNDAR ve Ünlü (2019), farklı sulama suyu düzeylerinde elde ettikleri şeker verimlerinin, 487-612 kg da⁻¹ arasında değiştiğini saptamışlar ve en yüksek şeker verimini su stresinin olmadığı konudan elde ettiklerini açıklamışlardır. Araştırmacılar en yüksek şeker verimi (612 kg da⁻¹) elde ettikleri konudan aynı zamanda en yüksek biyoetanol verimini (326 l da⁻¹) belirlediklerini ifade etmişlerdir. Yücel vd. (2020), sorgum bitkisinde şeker veriminin 322-846 kg da⁻¹ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada belirlenen şeker verim değerleri literatür ile uyumludur. Aynı zamanda elde edilen şeker verim değerleri ve biyoetanol verim değerlerinin ilişkili olduğu düşünülmektedir.

4.5.8. Glikoz, Fruktoz ve Sakkaroz

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliğinde ve sulama seviyelerinde sorgum bitkisinin glikoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları sırası ile Çizelge 4.30 ve 4.31’de, fruktoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.32 ve 4.33’de ve sakkaroz değerlerine ilişkin sonuçlar ise Çizelge 4.34 ve 4.35’de verilmiştir. Söz konusu şekerlere ilişkin sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.30. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Glukoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	1.52 ^ç	1.44	1.97	1.78	1.68
D50	1.22	1.28	1.53	1.78	1.45
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	1.37	1.36	1.75	1.78	
<u>Önemlilik</u> Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): öd Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd ^ç: İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksiyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.31. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Glukoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	2.19 ^ç	2.59	2.41	2.53	2.43
D50	2.12	2.35	2.58	2.53	2.26
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	2.15	2.47	2.50	2.53	
<u>Önemlilik</u> Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): öd Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd ^ç: İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksiyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.32. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Fruktoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	<i>1.23^ç</i>	<i>1.17</i>	<i>1.60</i>	<i>1.14</i>	1.28
D50	<i>0.93</i>	<i>0.97</i>	<i>1.00</i>	<i>1.14</i>	1.01
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	1.08	1.07	1.30	1.14	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): öd Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksiyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.33. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Fruktoz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	<i>1.67^ç</i>	<i>1.86</i>	<i>1.69</i>	<i>1.58</i>	1.70
D50	<i>1.65</i>	<i>1.89</i>	<i>1.94</i>	<i>1.58</i>	1.77
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	1.66	1.88	1.82	1.58	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): öd Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ç : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekerrürün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksiyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.34. Birinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Sakkaroz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	7.35 ^ζ	7.18	5.25	4.41	6.05
D50	6.21	7.61	4.81	4.41	5.76
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	6.78 a [†]	7.39 a	5.03 b	4.41 b	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): ** Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. *: p<0.01 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Çizelge 4.35. İkinci yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinliklerinde ve sulama suyu seviyelerinde sorgum bitkisinin Sakkaroz (%) değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

Konular	S100	S66	S33	S0	Ortalama Derinlik (D)
D25	5.22 ^ζ	4.07	2.17	2.61	3.52
D50	5.80	5.17	4.20	2.61	4.44
Ortalama Sulama Seviyesi (S)	5.51 a [†]	4.62 a	3.18 b	2.61 b	
Önemlilik Derinlik (D): öd Sulama Seviyesi (S): * Derinlik × Sulama Seviyesi (DxS): öd					
^ζ : İtalik yazan kısımda her bir değer üç tekrerrün ortalamasını göstermektedir ve italik küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde interaksyon ortalamalarının karşılaştırmasını göstermektedir. [†] : Küçük harfler LSD testine göre %5 önem seviyesinde satır boyunca verilen ortalamaların karşılaştırmasını göstermektedir. *: p<0.05 olasılık düzeyinde önemlidir. öd: istatistiksel anlamda önemli değildir.					

Birinci yetiştirme mevsiminde elde edilen glukoz, fruktoz ve sakkaroz değerleri sırasıyla, %1.22-1.78, %0.93-1.60, %4.41-7.65 arasında değişirken, ikinci yetiştirme mevsiminde sırasıyla, %2.12-2.59, %1.58-1.94, %2.61-5.80 arasında değişmiştir (Çizelge 4.30-4.35). Bu çalışmada oransal olarak en yüksek şekerin sakkaroz olduğu görülmektedir. Her iki yetiştirme mevsiminde de lateral derinliklerinin, sulama suyu seviyelerinin ve interaksyonlarının glikoz ve fruktoz şekerleri değerlerine bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Buna karşın sulama seviyelerinin sakkaroz içeriğine etkili olduğu belirlenmiştir. Her iki dönemde de en yüksek sakkaroz değerleri S100 ve S66

konularından, en düşük sakkaroz değerleri S33 ve S0 konularından elde edilmiştir. Su stresinin glikoz ve fruktoz miktarına bir etkisi olmamasına rağmen, sakkaroz değerlerini azalttığı görülmektedir. Sakkaroz şekeri azaldığında toplam şeker miktarı da azalacağı için, su stresinin sakkaroz şekerini azalttığı buna bağlı olarak şeker verimini de azalttığı düşünülmektedir.

Bitki dokusunda sakkaroz şekerinin üretimi, sakaroz fosfat sentaz enzimi tarafından gerçekleşirken, parçalanması invertaz ve sakaroz sentaz enzimlerinin aktiviteleri tarafından belirlenir (Lingle 1987; Hubbard ve ark. 1991; Miron ve Schaffer 1991). Tarpley vd. (1994), farklı genotiplere sahip olan bitkilerin kurak koşullarda fizyolojik tepkilerinin farklı olacağını ve bu nedenle, sakkaroz şekerini metabolize eden enzimlerin aktivitelerinin de değişebileceğini açıklamışlardır. Kurak koşullarda sakkaroz şekerinin artması veya azalması, sakkarozu kontrol eden enzimlerin değişimi sonucunda gerçekleşir. Sorgum bitkisinde kuraklığın sakkaroz ve sakkarozu metabolize eden enzim birikimi üzerinde etkileri hakkında sınırlı bilgi vardır. Volaire ve Thomas (1995), su stresi koşullarında bitkinin fizyolojik olarak engellenen bir aktivitesini tamamlamak için fotosentetik aktivite oranını arttırabileceğini ve bunun sonucunda sakkaroz konsantrasyonunun yükselebileceğini ifade etmişlerdir. Buna karşın, Al-Hamdani ve Barger (2003), kurak koşullarda stomaların kapandığını bunun sakkaroz fosfat sentaz enziminin azalmasına neden olduğunu böylece sakaroz üretiminin de azaldığını açıklamışlardır. Bu çalışmada su stresinin sorgum bitkisinde sakkaroz şekerini azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, su stresinin stoma iletkenliği değerlerini de azalttığı saptanmıştır. Bu nedenle, su stresinin bitki bünyesinde stoma iletkenliğini azaltarak fotosentetik aktivitenin azalmasına ve fotosentez sonucu oluşan sakkaroz miktarının da azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Miller ve Ottman (2012), stressiz, orta stresli ve çok stresli konularda ortalama glikoz değerlerinin, %2.4, %2.5, %2.6, fruktoz değerlerini, %1.5, %1.6, %1.7, sakaroz değerlerini ise %6.5, %6.6, %5.9 olarak belirlemişler, sorgumda sakaroz şekerinin glikoz ve fruktoz miktarından daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca sulama sıklığının toplam şeker konsantrasyonunu ve sakkaroz konsantrasyonunu etkilemediğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Massacci vd. (1996) su stresi veya sulama sıklığı ile tatlı sorgum saplarındaki şeker konsantrasyonunun (glikoz, fruktoz ve sakkaroz) önemli ölçüde değişmediğini bildirmişlerdir. Curt vd. (1995), üç farklı sulama seviyesi oluşturdukları çalışmalarında, iki yıl boyunca glikoz ve fruktoz şekerlerinin farklı sulama uygulamalarından etkilenmediğini, sakkaroz şekerinin ise çalışmanın ilk yılında farklı sulama uygulamalarından etkilenmemesine rağmen, ikinci yılında sadece en stresli konuda daha düşük miktarlarda sakkaroz değeri elde ettiklerini, diğer iki konu arasında farklılık olmadığını bildirmişlerdir. Almodares vd. (2009), farklı sorgum çeşidine göre sakkaroz içeriğinin değişebileceğini ifade etmişler ve çalıştıkları farklı çeşitlerde sakkaroz içeriğinin %6-16.06 arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Wu vd. (2010), tatlı sorgumdaki fermente edilebilir şekerler esas olarak sakaroz, glikoz ve fruktoz olduğunu, iki farklı bölgede yetiştirdikleri sorgum çeşitlerinden elde ettikleri şekerlerin nispi yüzdelerini sakaroz, glikoz ve fruktoz için sırasıyla yaklaşık %70, %20 ve %10 olarak belirlediklerini, fakat tatlı sorgum suyundaki şeker içeriği ve profilinin çok farklı olabileceğini vurgulamışlardır. Almodares vd. (2012), 7 gün ile 10 gün aralıklı sulama yaptıkları konuların sakkaroz içeriği arasında istatistiksel anlamda bir farklılık olmadığını fakat bu iki konudan elde ettikleri sakkaroz değerlerinin, istatistiksel olarak 14 gün ve 21

gün aralıklı sulama yaptıkları konulardan daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, aynı çalışmada, 14 gün ve 21 gün aralıklı sulama yaptıkları konular arasında da bir farklılık olmadığı saptanmıştır.

4.6. Biyoetanol verimi için su kullanım randımanı (WUE_b), sulama suyu kullanım randımanı ($IWUE_b$) ve verim tepki etmeni (k_v)

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde biyoetanol verim değerleri kullanılarak hesaplanan WUE_b , ve $IWUE_b$ değerleri Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.36. Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde sorgumun biyoetanol verimi için hesaplanan WUE_b ve $IWUE_b$ değerleri ($l\ m^{-3}$)

	Birinci yetiştirme mevsimi		İkinci yetiştirme mevsimi	
	WUE_b	$IWUE_b$	WUE_b	$IWUE_b$
	$l\ m^{-3}$	$l\ m^{-3}$	$l\ m^{-3}$	$l\ m^{-3}$
D25S33	0.69	0.73	0.31	0.15
D25S66	0.45	0.41	0.33	0.24
D25S100	0.50	0.48	0.73	0.68
D50S33	0.41	0.32	0.40	0.30
D50S66	0.81	0.85	0.71	0.70
D50S100	0.73	0.65	0.80	0.70
S0	0.42	-	0.42	-

WUE_b değerleri konulara bağlı olarak birinci yetiştirme mevsiminde 0.69 (D25S33), 0.45 (D25S66), 0.50 (D25S100), 0.41 (D50S33), 0.81 (D50S66), 0.73 (D50S100) ve 0.42 (S0) $l\ m^{-3}$, ikinci yetiştirme mevsiminde 0.31 (D25S33), 0.33 (D25S66), 0.73 (D25S100), 0.40 (D50S33), 0.71 (D50S66), 0.80 (D50S100) ve 0.42 (S0) $l\ m^{-3}$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.36).

Birinci yetiştirme mevsimi en yüksek WUE_b değeri, D50S66 konusundan ikinci yetiştirme mevsiminde ise D50S100 konusunda hesaplanmıştır. Birinci yetiştirme mevsiminde D25S33 konusu D50S33 konusu ile karşılaştırıldığı zaman D25S33 konusunda daha yüksek WUE_b değeri elde edilmiştir buna karşın, S66 ve S100 konularında farklı lateral derinlikleri değerlendirildiği zaman, 50 cm lateral derinliğinde daha yüksek WUE_b değerleri hesaplanmıştır. İkinci yetiştirme mevsiminde aynı miktarda farklı lateral derinliklerinde sulanan konular değerlendirildiği zaman, tüm konularda 50 cm lateral derinliğinde daha yüksek WUE_b değerleri elde edilmiştir. Lateraller 50 cm derinlikte bulunduğu zaman biyoetanol üretimi için bitkilerin suyu daha verimli kullandığı söylenebilir. Uygulanan sulama suyu miktarı ve lateral derinliğinin sorgum

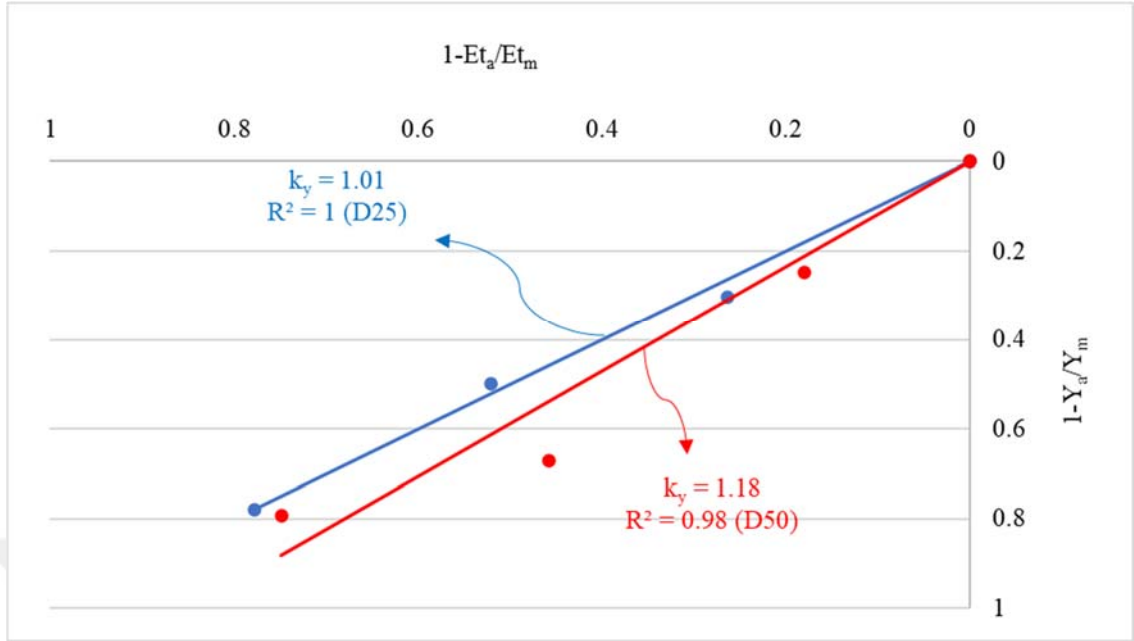
bitkisinde biyoetanol verimi kullanılarak hesaplanan WUE değerini etkilediği belirlenmiştir. D50 konularında daha yüksek WUE_b değerleri hesaplanmıştır. S66 ve S100 konularında birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde lateral derinliğinin 50 cm olduğu durumda, birim sudan daha fazla biyoetanol verimi elde edildiği (sırasıyla 0.81, 0.73 ve 0.71, 0.80) görülmektedir. Mengistu vd. (2016), Ukulinga ve Hatfield çeşitlerinde WUE_b değerlerini sırası ile 0.27-0.60 l m⁻³ ve 0.53-0.70 l m⁻³ olarak hesapladıklarını ve biyoetanol verimine göre hesapladıkları WUE değerlerinin farklı çeşitlere göre değişebileceğini bildirmişlerdir.

IWUE_b değerleri konulara bağlı olarak birinci yetiştirme mevsiminde 0.73 (D25S33), 0.41 (D25S66), 0.48 (D25S100), 0.32 (D50S33), 0.85 (D50S66) ve 0.65 (D50S100) l m⁻³, ikinci yetiştirme mevsiminde 0.15 (D25S33), 0.24 (D25S66), 0.68 (D25S100), 0.30 (D50S33), 0.70 (D50S66) ve 0.70 (D50S100) l m⁻³ olarak hesaplanmıştır.

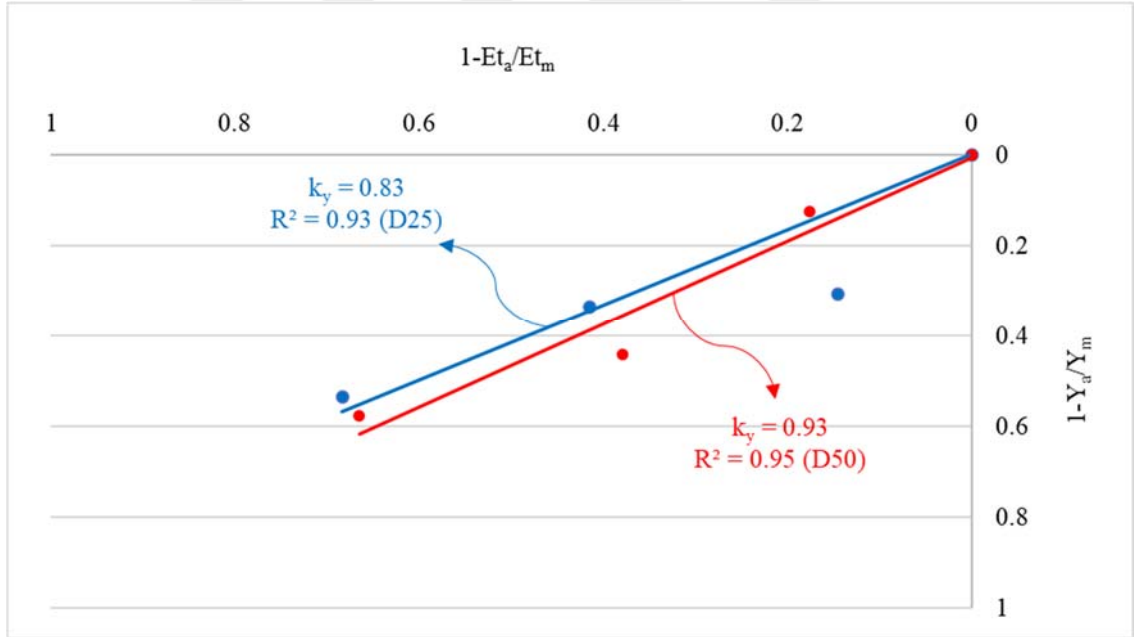
Denemenin birinci yılında en yüksek IWUE_b D50S66 konusundan elde edilirken ikinci yılda D50S66 ve D50S100 konularından elde edilmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde, IWUE_b değerleri D25S100, D50S100 konularında, 0.48 l m⁻³, 0.65 l m⁻³, ikinci yetiştirme mevsiminde ise sırasıyla, 0.68 l m⁻³, 0.70 l m⁻³ olarak belirlenmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde, IWUE_b değerleri D25S66, D50S66 konularında sırası ile, 0.41, 0.85 l m⁻³, ikinci yetiştirme mevsiminde ise sırasıyla 0.24 l m⁻³, 0.70 l m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Dolayısı ile, lateral derinliğinin 50 cm olduğu S66 ve S100 konularında bitkilerin sulama suyunu daha verimli kullandığı belirlenmiştir.

Miller ve Ottman (2012), etanol için, sulama sıklığının IWUE_b veya WUE_b parametreleri arasında herhangi bir farklılık yaratmadığını, elde ettikleri WUE_b değerlerinin 0.29-0.32 l m⁻³, IWUE değerlerinin ise 0.22-0.24 l m⁻³ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, etanol verimliliğini sulama sıklığı ile nasıl ilişkilendireceklerine dair herhangi bir ilişki kuramadıklarını ve bu konuda daha fazla çalışma yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Birinci yıl, D25 ve D50 konularında, oransal ET açığı ve oransal verim azalması değerlerinin doğrusal regresyonu ile belirlenen verim tepki etmeni (k_y) değerleri Şekil 4.23'de ikinci yıl her iki konuda belirlenen verim tepki etmeni (k_y) değerleri Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 ve D50 konularından elde edilen verim tepki etmeni (k_y)



Şekil 4.24. İkinci yetiştirme mevsiminde D25 ve D50 konularından elde edilen verim tepki etmeni (k_y)

Her iki yetiştirme mevsiminde, verim tepki etmeni (k_y) hesaplanarak, oransal ET açığı ve oransal verim arasındaki ilişki belirlenmiştir. D25 konusunda birinci yetiştirme mevsiminde k_y 1.01, ikinci yetiştirme mevsiminde 0.83 olarak hesaplanmıştır ve iki yetiştirme mevsiminin ortalama k_y değeri 0.92 olarak belirlenmiştir. D50 konusunda ise birinci yetiştirme mevsiminde k_y 1.18, ikinci yetiştirme mevsiminde 0.93 olarak

hesaplanmıştır ve iki yetiştirme mevsiminin ortalama k_y değeri 1.05 olarak belirlenmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde D25 ve D50 konularında k_y değeri 1'den büyük hesaplanırken, ikinci yetiştirme mevsiminde 1'den küçük hesaplanmıştır. Biyoetanol üretim amacı ile melezlenen sorgum çeşitlerinde k_y değeri literatürde de net değildir. Nitekim, toprak altı damla sulama yöntemi ile sulanan şeker sorgum bitkisinde; Aydınsakir vd. (2021) k_y değerini 0.90 olarak belirlerken, Dünder ve Ünlü (2019) ise 1.17 olarak belirlemişlerdir. Biyoetanol üretim amacı ile yetiştirilen sorgum bitkisinde k_y değerini belirlemeye yönelik daha fazla çalışma yapılmalıdır.

Birinci yetiştirme mevsiminde hesaplanan k_y değerleri her iki derinlik için de daha yüksek bulunmuştur. Sorgum bitkisi kurak koşullarda kendini koruma metabloizması geliştirir. İkinci yetiştirme mevsimi daha kurak geçtiğinden (Şekil 4.1 ve 4.2), ikinci yetiştirme mevsiminde bir birimlik su tüketimine karşılık bitki veriminde daha az bir azalma gerçekleşmiş olabileceği ve buna bağlı olarak k_y değerlerinin daha düşük çıktığı düşünülmektedir.

Lateral derinlikleri değerlendirildiğinde, D50 konularında hesaplanan k_y değerlerinin her iki yılda D25 konularından daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.23 ve 4.24). Bu çalışmada, lateral derinliğinin bitkinin gelişim ve verim parametrelerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir, buna karşın 50 cm lateral derinliğinde bitki gelişim ve verim parametrelerinin rakamsal olarak daha fazla olduğu belirlenmiştir. Burada 50 cm lateral derinliğinde sulanan bitkilerin fizyolojik gelişiminin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılabilir. Bitkilerin 50 cm lateral derinliğinde fizyolojik gelişimleri daha iyi olması, daha fazla suya ihtiyaç duymasına ve su eksikliğine karşı daha hassas olmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Nitekim, Aydınsakir vd. (2021) iki yıl süren çalışmalarında toprak üstü damla sulama yöntemi uyguladıkları konularda k_y değerini 0.77-0.82, toprak altı damla sulama yöntemi uyguladıkları konularda ise k_y değerini 0.90-0.88 olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar toprak altı damla sulama yöntemi ile sulanan konularda daha yüksek bitki gelişim ve verim parametreleri elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Bu çalışma ile karşılaştırıldığı zaman elde edilen sonuçların birbiri ile ilişkili olduğu görülmektedir. Bununla beraber, Korukçu ve Kanber (1981), belirli su düzeylerinin toprakta farklı tutulma gücü ile tutulduğunu ve bitkilerin bu güçteki suyu alabilmek için tükettikleri enerjinin farklı olduğunu ve bu nedenle ayrımlı nem seviyelerinde bitkinin benzer gelişim göstermediğini açıklamışlardır.

4.7. HYDRUS/2D programı ile elde edilen bulgular ve değerlendirilmesi

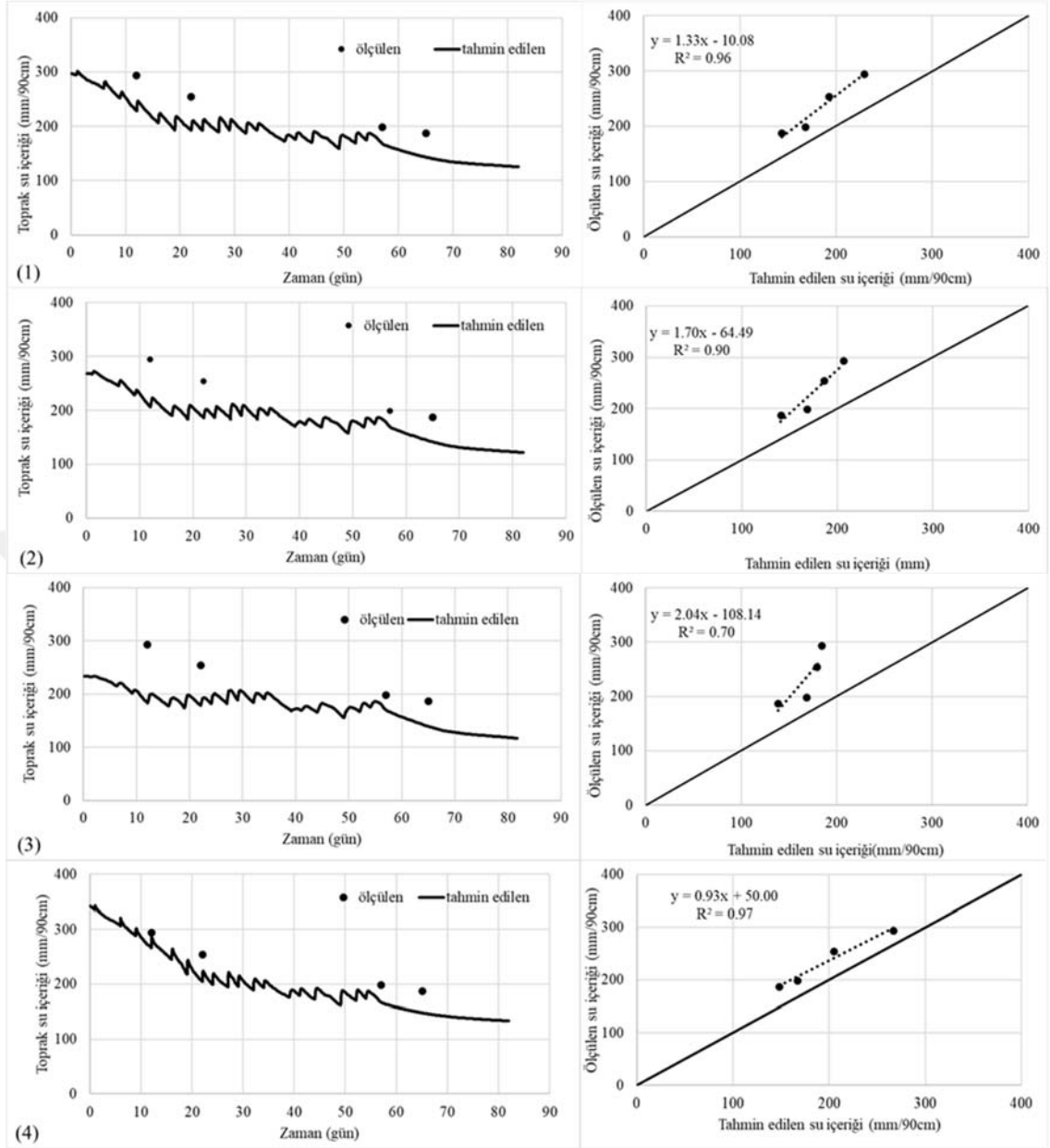
4.7.1. Kalibrasyon

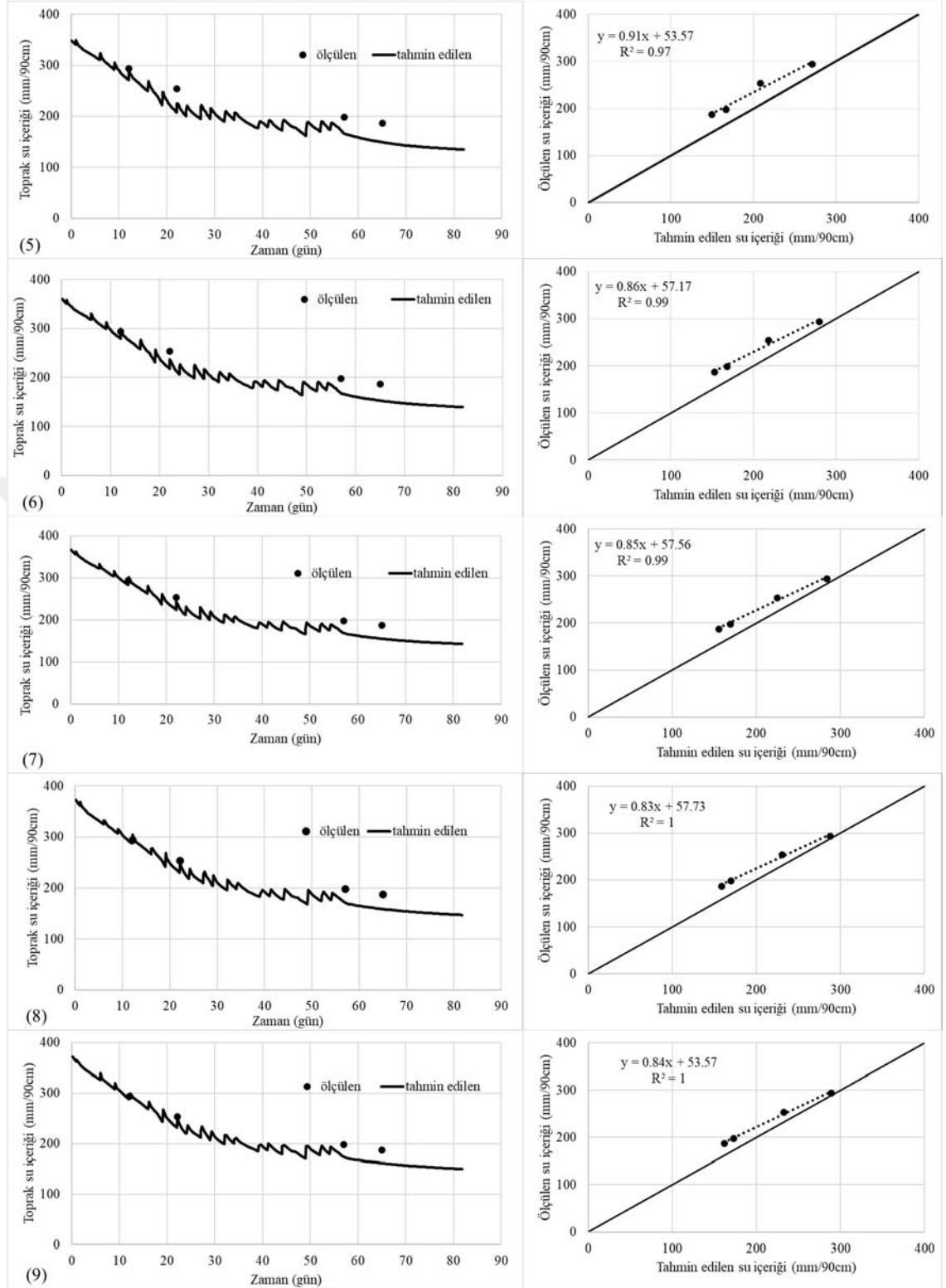
Kalibrasyon aşamasında birinci yıl D50S33 konusunda, programda belirli girdi parametreleri girilerek dönem boyunca 90 cm toprak profilinde simüle edilen toprak su içeriği değerleri ile gravimetrik örneklerle belirlenen toprak su içeriği değerleri eşleşene kadar van Genuchten toprak hidrolik parametreleri (α , n , K_s şekil parametreleri) programda değiştirilmiştir. En uygun şekil parametreleri, istatistiksel analizlere göre değerlendirilmiştir. Toplam 17 karşılaştırma yapılmıştır. D50S33 konusunda ilk olarak programın toprak bünyesine bağlı olarak verdiği şekil parametreleri $\alpha = 0.02 \text{ cm}^{-1}$, $n = 1.41$ ve $K_s = 10.8 \text{ cm gün}^{-1}$ kullanılmıştır (Çizelge 4.37, Deneme 1). İlk olarak n ve K_s değerleri sabit alınarak, α parametresi değiştirilmiştir. α değeri 0.05 cm^{-1} değerinden sonra R^2 , RMSE ve MAE değerleri sabit bir değer aldığı için $\alpha = 0.005 \text{ cm}^{-1}$ olarak belirlenmiş

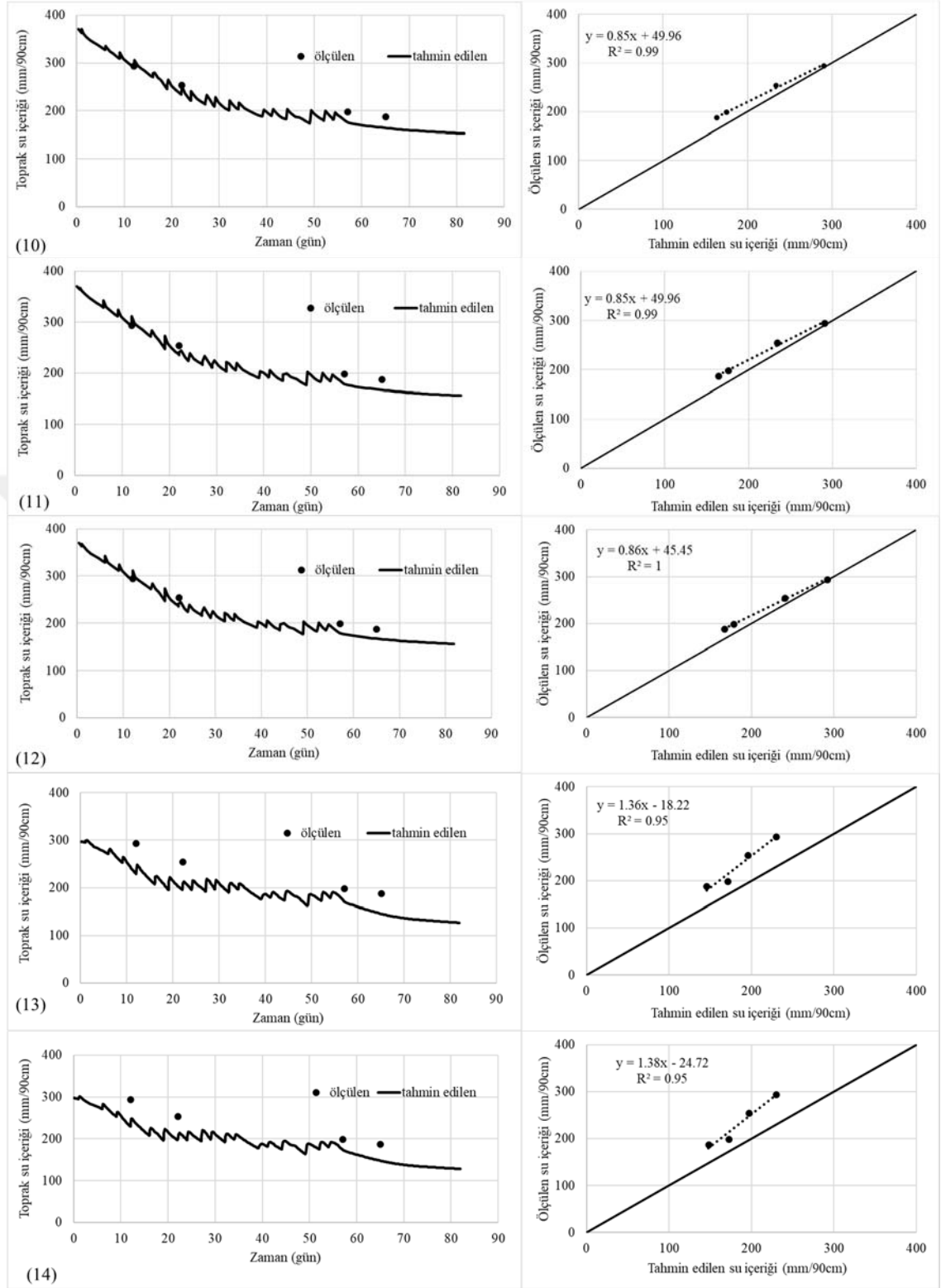
ve n parametresi değiştirilmiştir. n değeri ise 1.39 değerine kadar hesaplanan R^2 , RMSE ve MAE değerleri karşılaştırılmış ve sabit bir değer alana kadar değiştirilmiştir. $\alpha = 0.005 \text{ cm}^{-1}$ ve $n = 1.39$ olarak belirlendikten sonra K_s değeri değiştirilmiş ve $K_s = 9 \text{ cm gün}^{-1}$ değerinden sonra sonuçlar değişmediği için 9 olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma için şekil parametreleri; α , n ve K_s sırası ile, 0.005 cm^{-1} , 1.39, 9 cm gün^{-1} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.37 Deneme 17). Belirlenen bu parametrelerde R^2 , RMSE ve MAE değerleri sırası ile 1, 15.86, 14.06 mm olarak hesaplanmıştır. Modelin ilk tahmini şekil parametreleri tahminini siltli tın toprak bünyesine göre yapmıştır. Ancak tarla koşullarında toprak bünyesinin daha ağır bir bünyeye sahip olması dikkate alınarak, şekil parametrelerinin değerleri değiştirilmiştir. α parametresinin değiştirilmesi su tutma eğrisinin değişmesine neden olur. α , gözenek boyutunun bir ölçüdür ve α değeri büyük olan gözenekli bir ortam büyük gözeneklere sahiptir. Su tablası üzerindeki bölgenin doymamış hidrolik iletkenliği, büyük α değerlerine sahip topraklar için, küçük gözeneklilere kıyasla daha fazladır. Suyu drene etmek için, büyük α 'ya sahip topraklar için daha ince bir iletim bölgesi aracılığı ile suyu taşır. α değeri azaldıkça, su içeriği değerleri artmaktadır. Şekil 4.25 incelendiği zaman, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. denemelerde, α değeri azaldıkça toprak nem içeriği değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir (n ve K_s parametreleri sabit tutulmuştur). n parametresi incelendiği zaman, α parametresinde olduğu gibi su tutma eğrisi üzerinde etkisi vardır. n parametresi gözenek yoğunluğu ile ilgili bir parametredir. n parametresi azaldıkça, gözenek boyutu yoğunluk fonksiyonunun genişliği artmaktadır. n azaldığı zaman, ortalama gözenek boyutuna kıyasla, daha küçük gözeneklerin nispi fazlalığı artar. Daha büyük gözenekler, daha önce su boşaltma eğilimindedir, bu da daha küçük gözeneklere su akışını sınırlamaktadır. n değeri azaldıkça, su içeriği değeri artar ve doymamış bölgede hidrolik iletkenlik azalmış olur. α parametresine benzer şekilde, n parametresi değeri de arttıkça, hidrolik iletkenlik azalmaktadır.

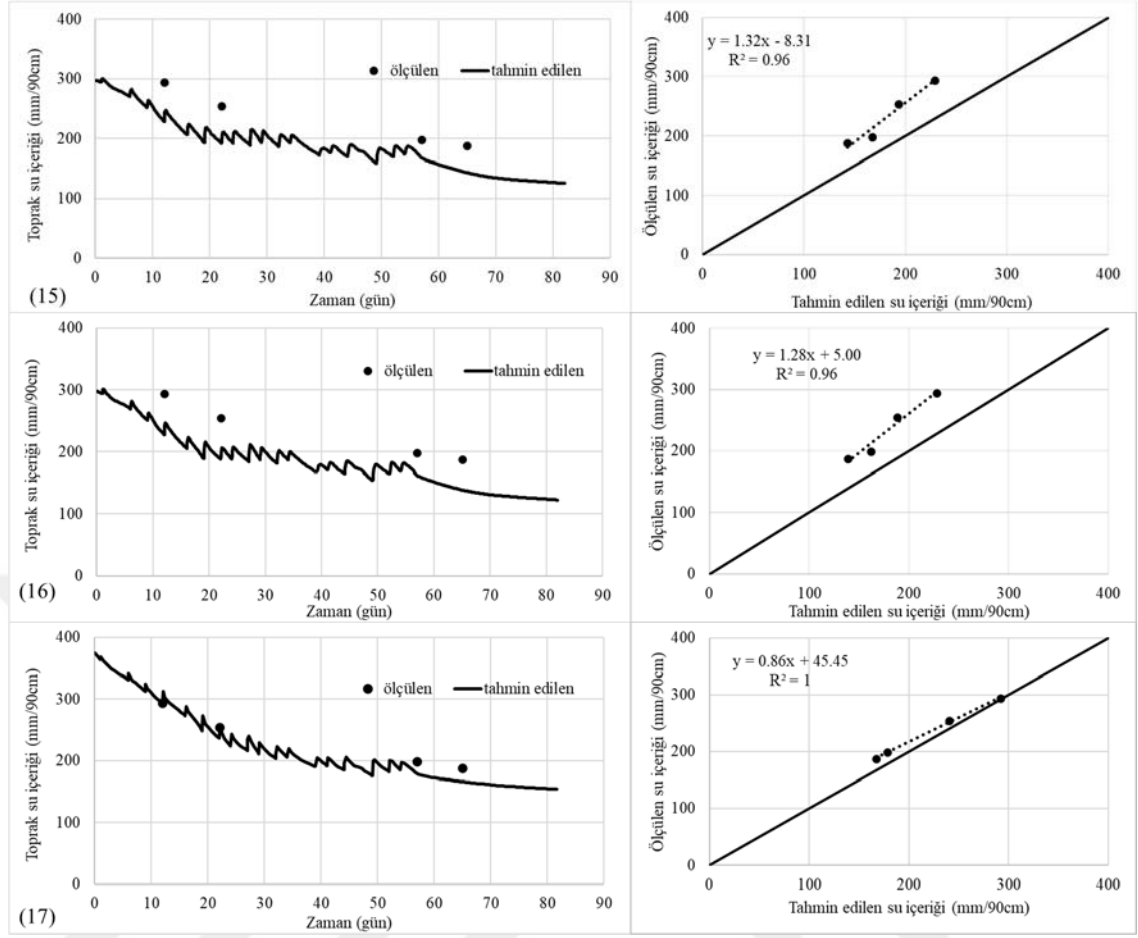
Çizelge 4.37. HYDRUS programında D50S33 konusunda değiştirilen şekil parametreleri ve istatistiksel değerlendirmelerin karşılaştırılması

Denemeler	Şekil parametreleri			İstatistiksel değerlendirmeler		
	K_s (cm gün ⁻¹)	α (cm ⁻¹)	n	R^2	RMSE	MAE
1	10.8	0.02	1.41	0.96	52.26	50.40
2	10.8	0.03	1.41	0.90	62.15	58.19
3	10.8	0.05	1.41	0.70	72.53	66.06
4	10.8	0.01	1.41	0.97	38.01	37.06
5	10.8	0.009	1.41	0.97	35.97	34.98
6	10.8	0.007	1.41	0.99	30.43	29.20
7	10.8	0.006	1.41	0.99	27.12	25.69
8	10.8	0.005	1.41	1.0	24.03	22.22
9	10.8	0.005	1.40	1.0	21.62	19.84
10	10.8	0.005	1.39	0.99	19.54	17.76
11	10.8	0.005	1.38	0.99	19.54	17.76
12	10.9	0.005	1.37	1.0	15.86	14.06
13	9.0	0.005	1.37	0.95	50.00	48.17
14	8.0	0.005	1.37	0.95	49.11	46.82
15	11.0	0.005	1.37	0.96	52.42	50.66
16	15.0	0.005	1.37	0.96	55.91	54.50
17	9.0	0.005	1.39	1.0	15.86	14.06









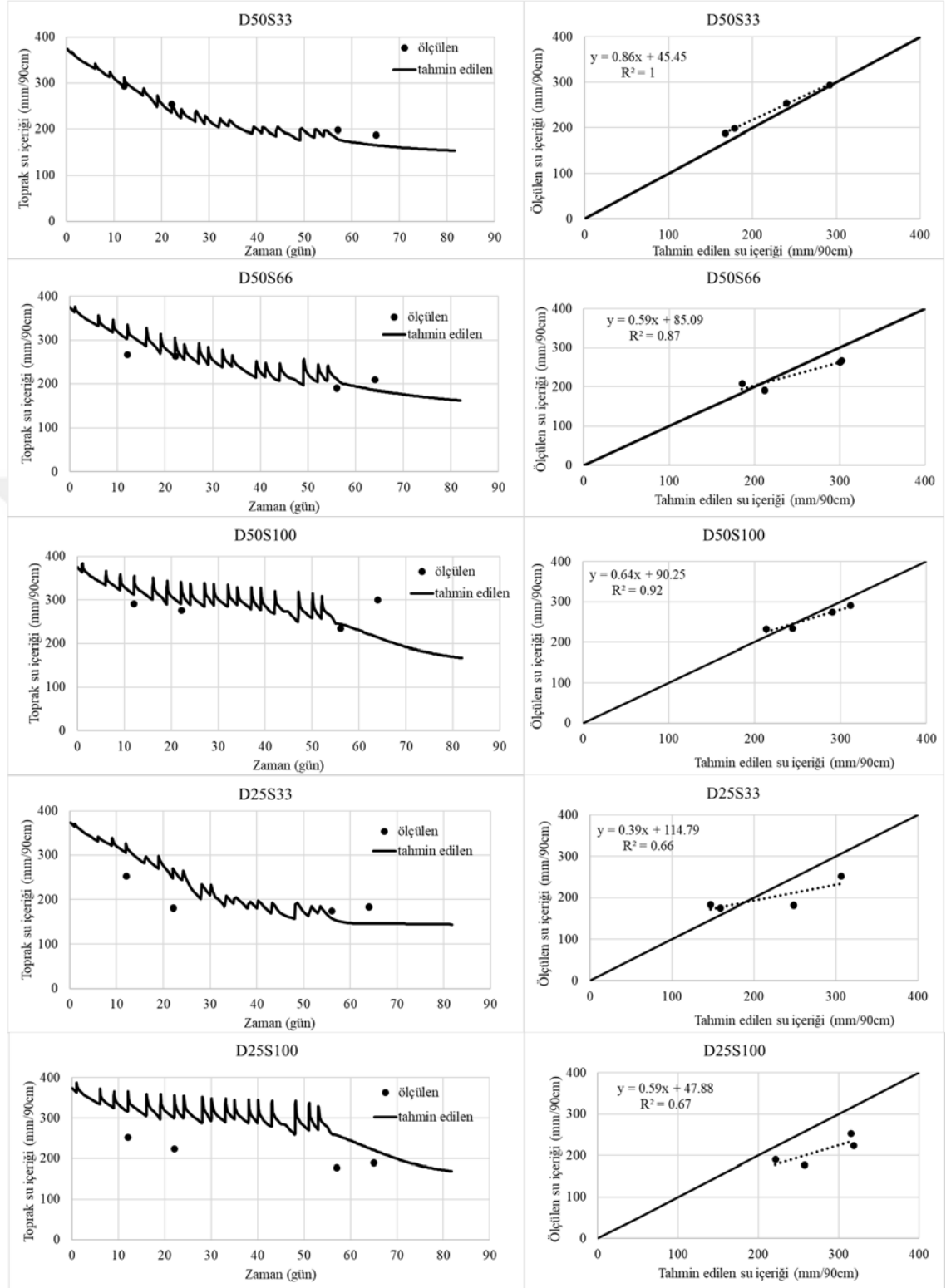
Şekil 4.25. Kalibrasyon aşamasında ölçülen ve tahmin edilen toprak su içeriğinin değişimi

4.7.2. Doğrulama

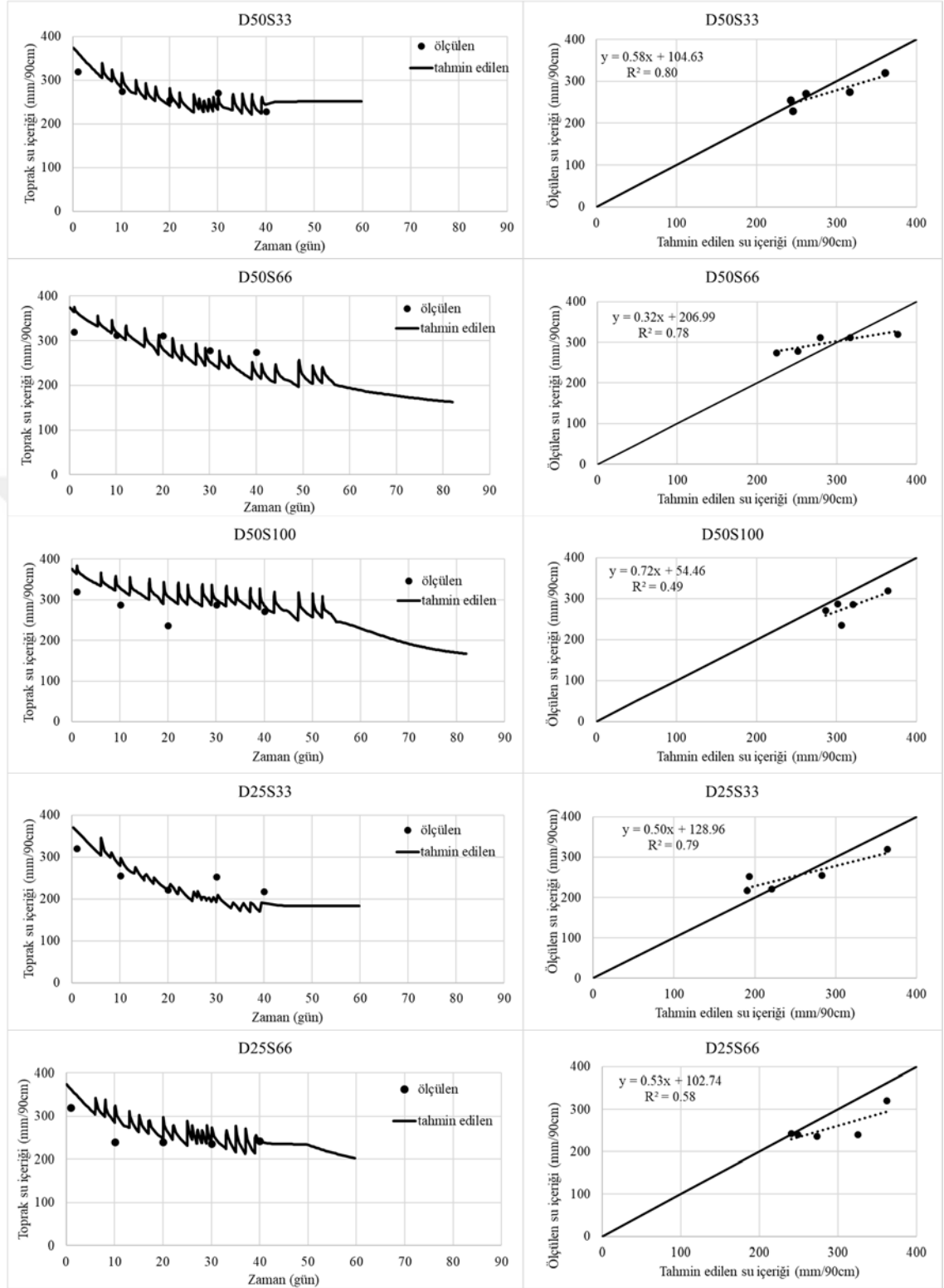
D50S33 konusunda kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra, birinci yıl ve ikinci yıl gravimetrik yöntemle belirlenen toprak su içeriği değerleri ile kalibrasyonla belirlenen şekil parametreleri kullanılarak programdan elde edilen toprak su içeriği değerleri karşılaştırılmış ve doğrulama işlemi tamamlanmıştır. Birinci yıl; D50S33, D50S66, D50S100, D25S33, D25S100 ve ikinci yıl; D50S33, D50S66, D50S100, D25S33, D25S66 konularında yapılan doğrulama işlemleri ve istatistiksel parametreler Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Kalibre edilen modelin farklı konular için doğrulama işlemlerine ilişkin istatistiksel değerlendirme parametreleri

Deneme yılı	Konular	R ² (mm)	RMSE (mm)	MAE (mm)
1.yıl	D50S33	1.00	15.86	14.06
	D50S66	0.87	29.86	29.02
	D50S100	0.92	16.76	16.18
	D25S33	0.66	46.95	43.21
	D25S100	0.67	70.50	66.36
2.yıl	D50S33	0.80	27.91	24.24
	D50S66	0.78	38.56	34
	D50S100	0.49	40.55	34.80
	D25S33	0.79	37.26	31.58
	D25S66	0.58	45.52	34.85



Şekil 4.26. Birinci yıl yapılan doğrulama aşamasında ölçülen ve tahmin edilen toprak su içeriğinin değişimi

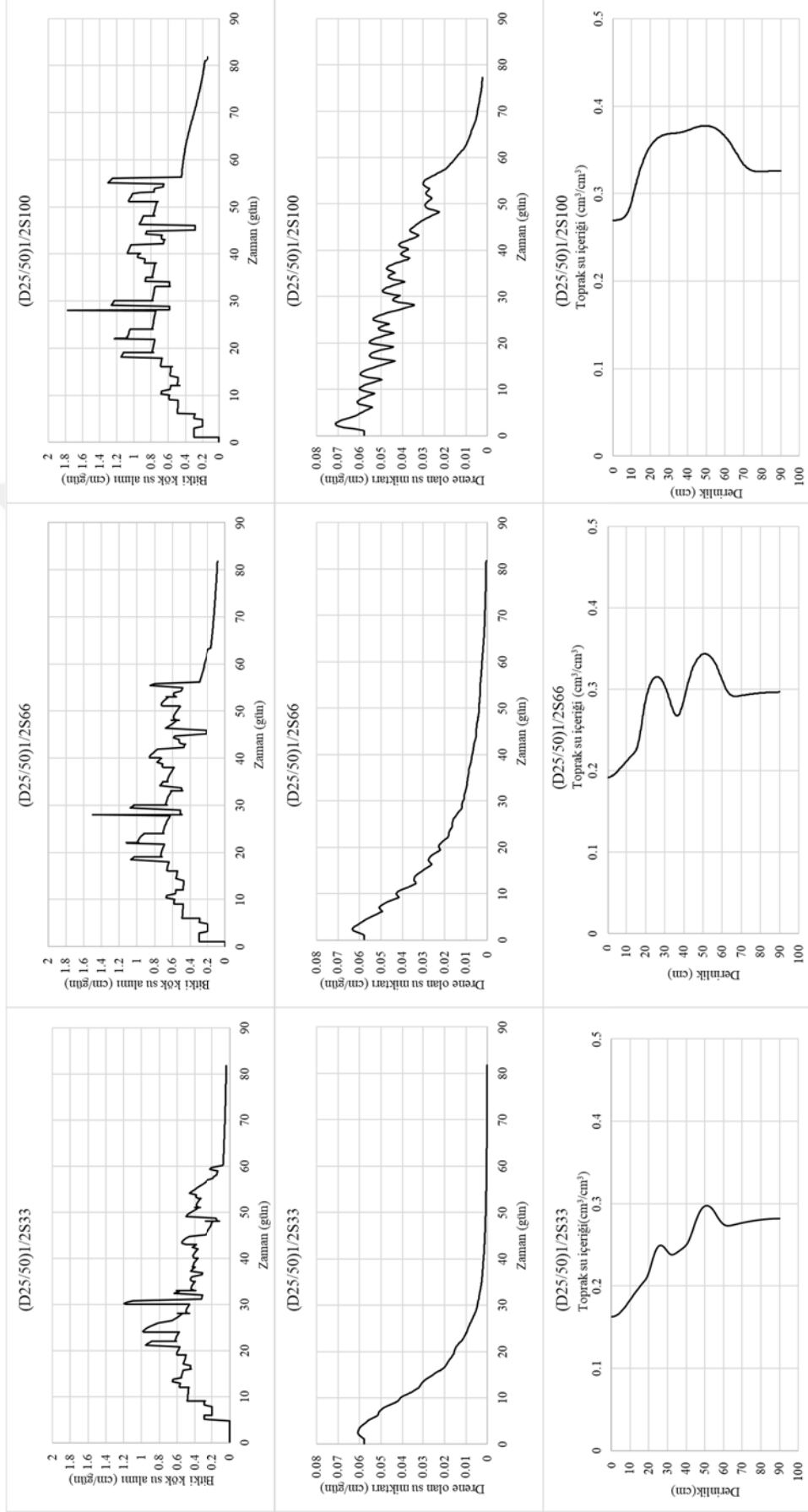


Şekil 4.27. İkinci yıl yapılan doğrulama aşamasında ölçülen ve tahmin edilen toprak su içeriğinin değişimi

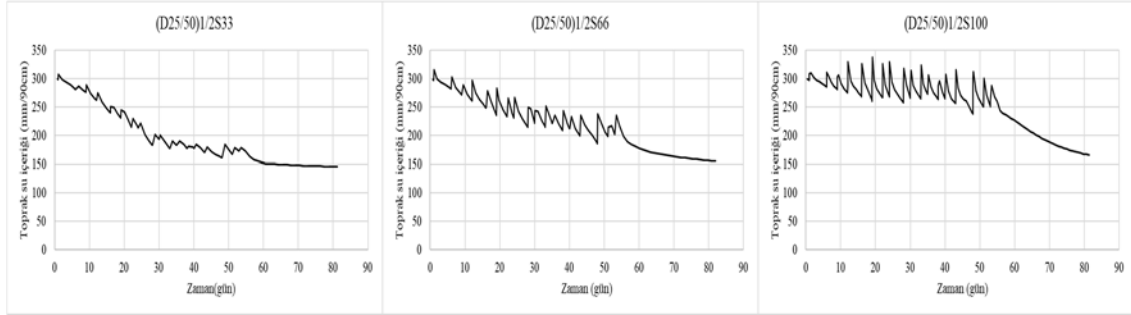
Birinci ve ikinci yetiştirme döneminde ölçülen ve tahmin edilen su içeriği değerleri için hesaplanan R^2 değerleri, 0.49-0.92 arasında, RMSE değerleri ise, 16.76-70.50 mm arasında, MAE değerleri ise, 16.18-66.36 mm arasında değişmiştir. Birinci yetiştirme döneminde, D25S100 ve D50S100 konuları karşılaştırıldığı zaman, D50S100 konusunda ölçülen toprak su içeriği ile tahmin edilen su içeriğinin daha yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.26). İkinci yıl, D25S66 ile D50S66 ve D25S33 ve D50S33 konuları birlikte incelendiğinde, lateralın 50 cm derinlikte olduğu konularda gravimetrik yöntemle ölçülen toprak su içeriğinin model ile tahmin edilen değerlere daha yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.27). Nitekim söz konusu konularda, R^2 değerleri de yüksek hesaplanmıştır. Lateral derinliğinin 25 cm olduğu konularda modelin tahmin ettiği su içeriği değerlerinin, ölçülen değerlerden genellikle daha yüksek olduğu görülmektedir. Tarla koşullarında 25 cm lateral derinliği toprak yüzeyine daha yakın olduğu için toprak yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma miktarı, modelin tahmin ettiğinden daha fazla olabilir. Nitekim, Kong ve ark (2014), mısır bitkisinde toprak altı damla sulamada 15 cm ve 30 cm lateral derinliğinde ölçülen ve Hydrus programında tahmin edilen su içeriği değerlerini karşılaştırdıklarında, 15 cm lateral derinliğinde toprak su içeriğini daha yüksek tahmin ettiklerini, bunu modelde gerçekte olduğundan daha fazla yağmur suyunun sızmasından veya toprakta meydana gelen buharlaşmanın modelde daha az tahmin edilmiş olabileceğinden kaynaklandığını açıklamışlardır. Kandelous ve Simunek (2010b), toprak altı damla sulama yönteminde, killi tınlı bir toprakta farklı lateral derinliğinde belirledikleri sulama konularında arazi ve labaratuardan elde ettikleri su içeriği değerleri ile Hydrus programından elde ettikleri su içeriği değerleri arasında RMSE değerlerinin 0.011 ile 0.045 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, R^2 değerlerinin ise 0.57-0.99 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar 5, 15, 25 cm lateral derinliğinde farklı damlatıcı debilerinde belirledikleri su içeriği ve tahmin ettikleri su içeriği değerleri arasında hesapladıkları R^2 değerlerinin 0.60-0.98, RMSE değerlerinin ise 0.012-0.035 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen mm birimindeki RMSE değerleri, hacimsel su içeriğine çevrildiğinde, RMSE değerlerinin 0.02-0.07 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ arasında değiştiği görülmektedir. Araştırmacılar 15 ve 30 cm lateral derinliğinde ve sulama konularından elde ettikleri RMSE değerlerini 0.012-0.091 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar R^2 değerini ise 0.56-0.70 arasında hesapladıklarını ve programın toprak altı damla sulama sisteminin tasarımı ve yönetimini araştırmak için uygun bir araç olduğu sonucuna varmışlardır.

4.7.2.1. Farklı su uygulama stratejilerine ilişkin bulguların değerlendirilmesi

Kalibre edilen model, birinci yetiştirme döneminde belirlenen girdi parametreleri ile kullanılarak farklı senaryolar oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir. Değerlendirilen senaryolarda, bitki kökleri tarafından günlük su alım miktarı, drene olan su miktarı, sulama gününden bir gün sonra (32. gün) 0-90 cm toprak profilindeki su içeriği dağılımı ve dönem boyunca 0-90 cm derinliğindeki su içeriğinin değişimi karşılaştırılmıştır. Ayrıca sulamadan bir gün sonra (32.gün) programdan elde edilen nem haritaları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. (D25/50)1/2 S33, S66 ve S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği dağılımları Şekil 4.28'de, simüle edilen dönem süresince 0-90 cm toprak derinliğinde (D25/50)1/2 S33, (D25/50)1/2 S66 ve (D25/50)1/2 S100 konularında, su içeriği değişimleri Şekil 4.29'da verilmiştir. (D25/50)1/2 S33, S66 ve S100 konularında sulama gününden bir gün sonra (32. gün) programdan elde edilen toprak su içeriği dağılımları Şekil 4.30'da verilmiştir.



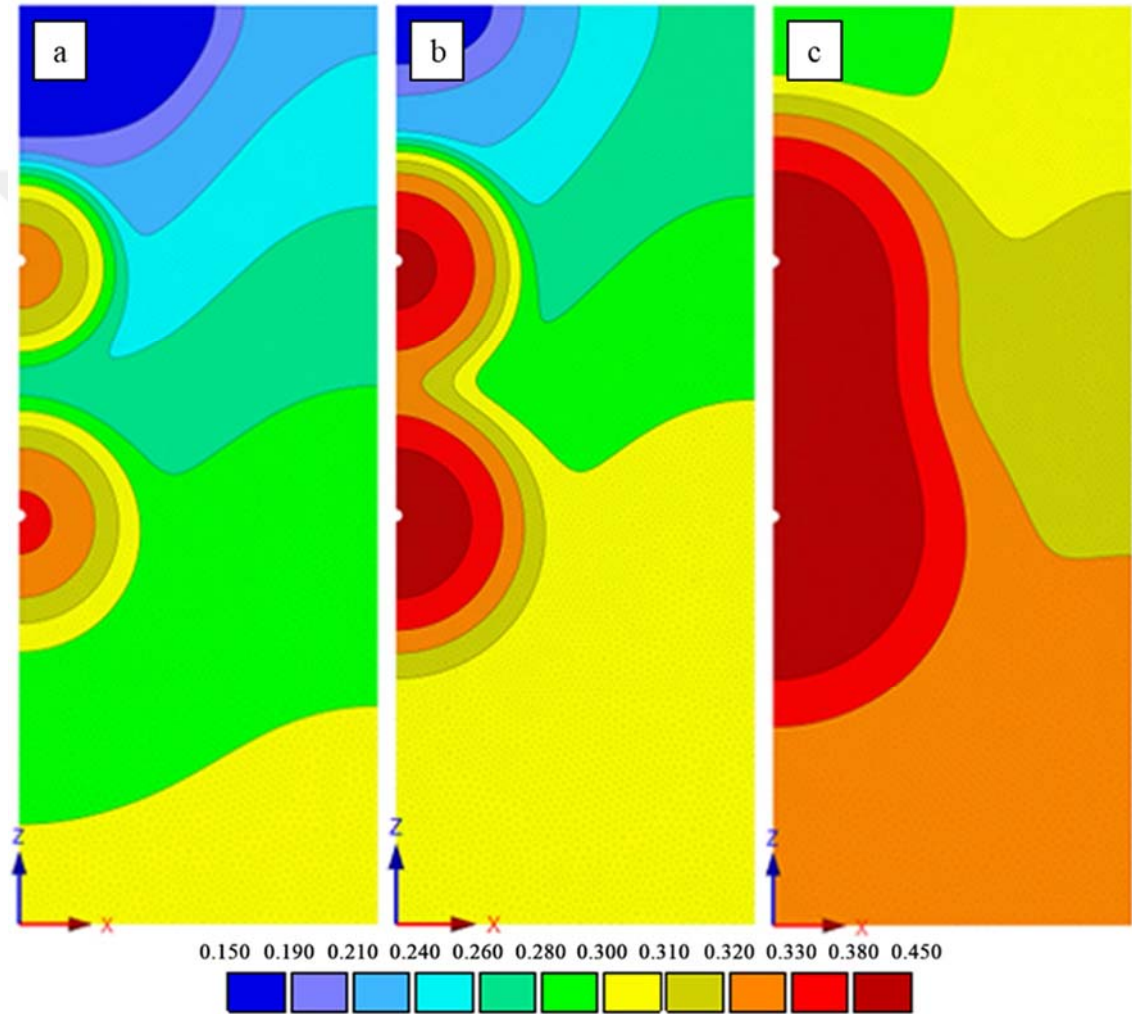
Şekil 4.28. (D25/50)1/2 S33, S66 ve S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki toprak su içeriği değişimleri



Şekil 4.29. Dönem boyunca, (D25/50)1/2 S33, S66 ve S100 konularının, su içeriği değişimleri

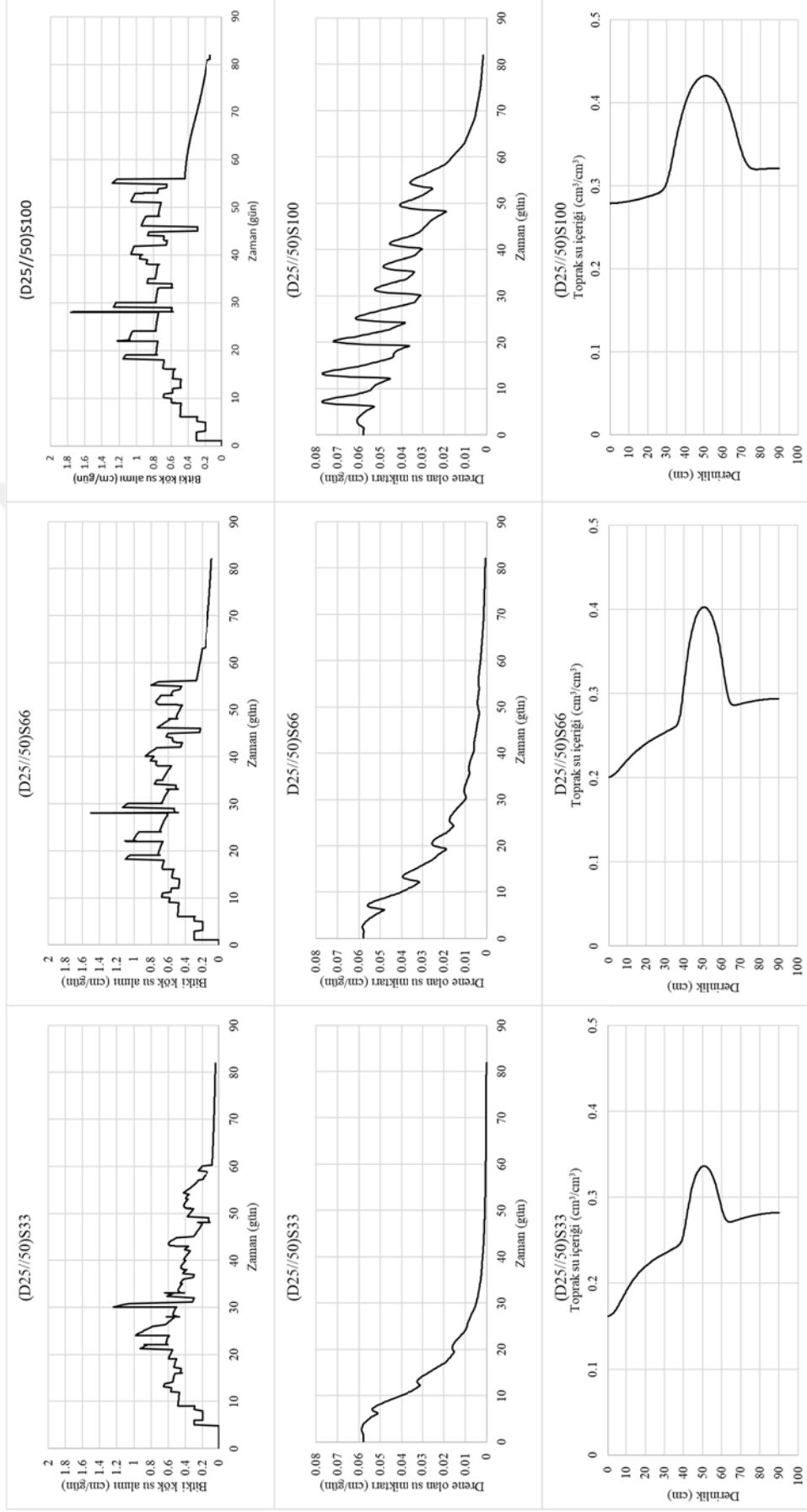
Şekil 4.28’de aynı hat üzerinde iki farklı lateral derinliği kullanılmıştır. Uygulanan sulama suyu hem 25 hem de 50 cm lateral derinliğinde eşit bölüştürülerek uygulanmıştır. Bitki kök bölgesindeki su alımı değerlendirildiği zaman, bitki köklerinde en yüksek su alımı (D25/50)1/2 S100 konusunda elde edilmiştir. Sulama tarihlerinde tüm konularda bitki su alımının arttığı ve bu artışın uygulanan sulama suyu miktarı ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Bitki kökleri tarafından en düşük su alımı ise (D25/50)1/2 S33 konusunda elde edilmiştir. (D25/50)1/2 S100 konusunda ortalama olarak bitkinin kökleri ile aldığı su miktarı 0.85 cm gün^{-1} iken, (D25/50)1/2 S66 konusunda 0.70 cm gün^{-1} , (D25/50)1/2 S33 konusunda ise 0.44 cm gün^{-1} olarak hesaplanmıştır. Bununla beraber drene olan su miktarı incelendiği zaman, (D25/50)1/2 S33 ve (D25/50)1/2 S66 konularında sulama tarihlerinden sonra, benzer bir değişim gösterirken, (D25/50)1/2 S100 konusunda daha fazla miktarda su derine sızmıştır. (D25/50)1/2 S33 ve (D25/50)1/2 S66 konularında deneme sonuna doğru drene olan su miktarı azalan bir değişim gösterdiği görülmektedir. Buna karşın, (D25/50)1/2 S100 konusunda dönem boyunca sulamalardan sonra artan ve sulamalarda önce azalan bir değişim olduğu görülmektedir. Toprak altı damla sulama yönteminde, bitki kök bölgesindeki su alımını arttırmak ve drene olan su miktarını azaltmak istenen bir özellik olmasına rağmen, 0-90 cm toprak derinliğinde sulama gününden bir gün sonra su içeriği değişimi incelendiği zaman, (D25/50)1/2 S100 ıslatma deseninin daha homojen ve suyun daha geniş alanda yayıldığı görülmektedir. Kök bölgesinde su içeriğinin fazla olmasından dolayı, bu konuda bitki köklerinde daha fazla su alımı gerçekleşmiştir. Islatma desinin hem x hem de z yönünde boyutları daha yüksektir. Toprak bünyesi siltli tın olduğu için (D25/50)1/2S33 ve (D25/50)1/2S66 konularında su damlatıcıların etrafında sınırlı kalmış ve yayılmamıştır. Dönem boyunca su içeriği değerlerinin değişimi incelendiği zaman, (D25/50)1/2 S33, konusunun su içeriği değerleri 25. günden itibaren 200 mm’ nin altına düştüğü görülmektedir. (D25/50)1/2 S66 konusunun su içeriği değerleri ise dönem boyunca 200-300 mm arasında değişmiştir. (D25/50)1/2 S100 konusu ise dönem boyunca 200-350 mm arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.29). Sulamanın yapıldığı günden bir gün sonra 0-90 cm derinliğinde toprak su içeriği dağılımının haritaları incelendiği zaman, (D25/50)1/2 S100 konusunda su dağılımının daha homojen olduğu görülmektedir. Ayrıca, (D25/50)1/2 S33 konusunda toprak yüzeyinde su içeriği değerlerinin en düşük seviyede ($\theta=0.18 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) olduğu görülmektedir. (D25/50)1/2 S66 konusunda ise su damlatıcıların etrafında sınırlı kalmıştır. (D25/50)1/2S33 konusunda toprak yüzeyinde su içeriği değeri (D25/50)1/2S100 konusuna göre oldukça düşüktür. (D25/50)1/2 S100 konusunda bitki su alımı fazla olması ve suyun daha homojen dağılması nedeniyle bu senaryoda en iyi sonuç veren konu olarak belirlenmiştir. Toprak altı damla sulamada amaç laterallerin bitki kök

bölgesine yerleştirilerek bitki köklerinin maksimum su alımını sağlamak, bununla beraber buharlaşma ve derine sızma kayıplarını önlemek olduğu için, lateral derinliği oldukça önemlidir. Lateraller, bitki kök derinliğine ve uygulanacak sulama suyu miktarına da bağlı olarak yüzeye yakın yerleştirildiğinde buharlaşma kayıpları, daha derine yerleştirildiğinde ise derine sızma miktarı fazla olabilir ve bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarı toprakta bulunmayabilir. Bu senaryoda, bitkinin ihtiyaç duyduğu sulama suyu miktarı hem 25 cm hem de 50 cm lateral derinliğinde uygulandığından sulama suyu miktarı ikiye bölündüğü için, bitkilerin kök bölgesinde en iyi su içeriği ve ıslatma deseni elde edilmesinin yanında, buharlaşma ve derine sızma ile oluşacak kayıpların da önlenileceği belirlenmiştir.

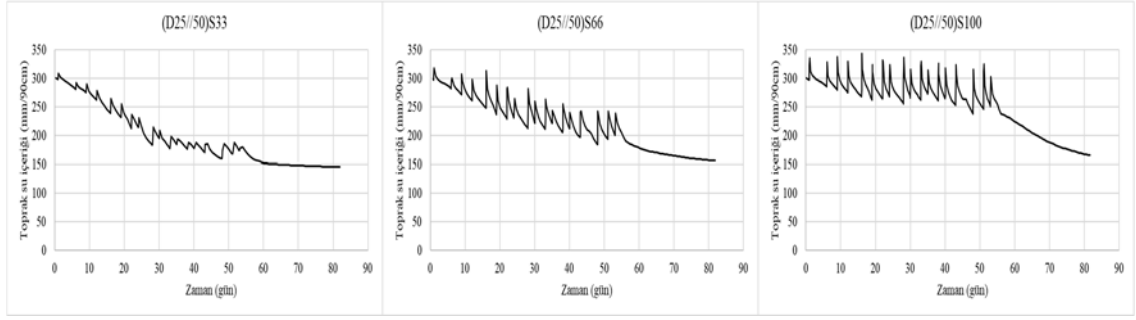


Şekil 4.30. a) (D25/50)1/2S33; **b)** (D25/50)1/2S66; **c)** (D25/50)1/2S100 konularında, sulamadan bir gün sonra toprak su içeriği dağılımı

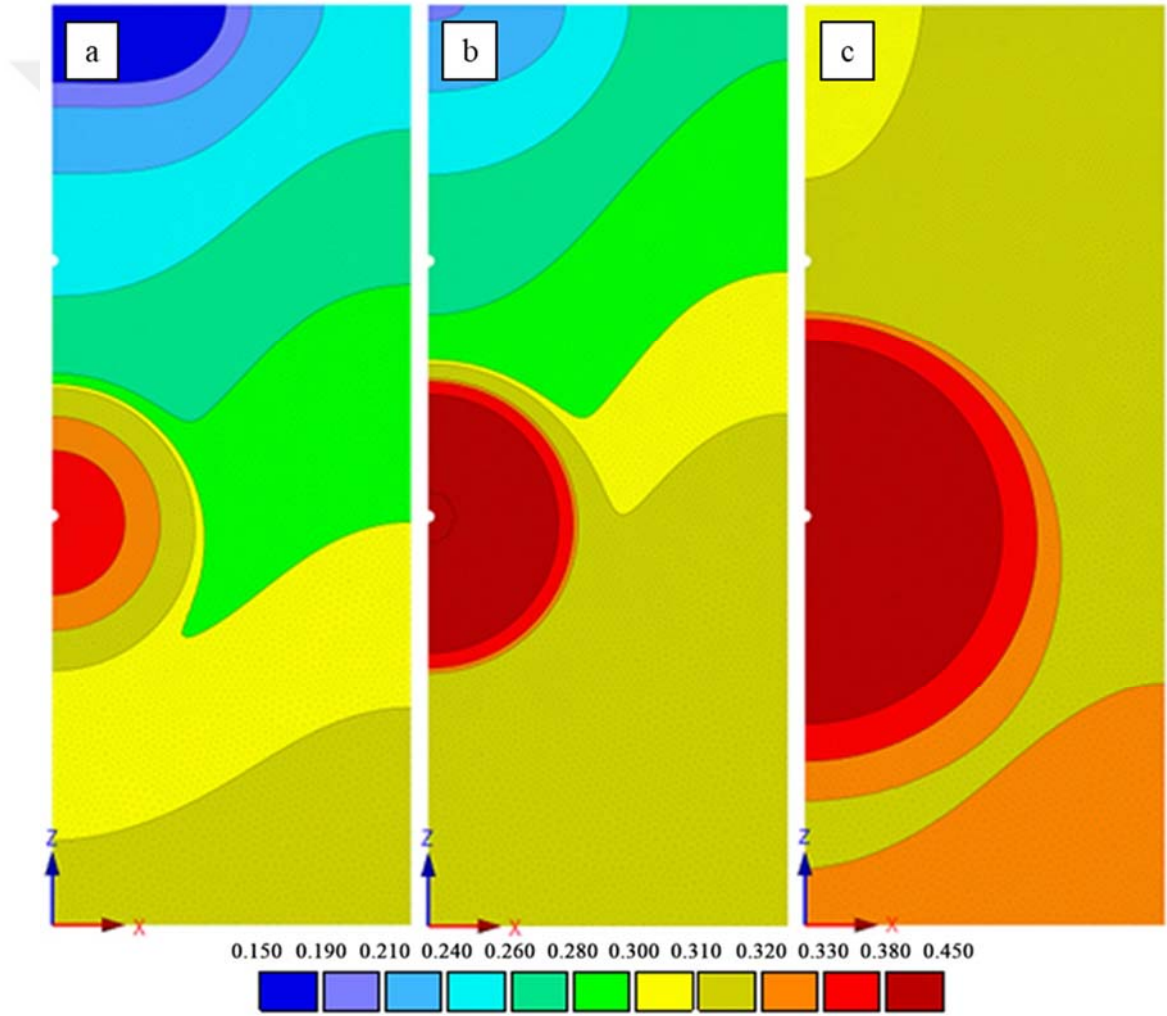
(D25//50) S33, S66 ve S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri Şekil 4.31’de verilmiştir. Uygulanacak sulama suyu miktarı bir sulama da 25 cm, diğer sulama da 50 cm lateral derinliğinde olmak üzere dönüşümlü olarak uygulanmıştır. Uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça bitki köklerinde su alımının arttığı görülmektedir. Drene olan su miktarı değişimleri incelendiği zaman (D25//50) S33 ve S66 konuları arasında önemli bir farklılık olmadığı görülse de (D25//50)S100 konusunda drene olan su miktarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sulama tarihlerinde drene olan su miktarı artışı daha yüksektir. Bunun, su dönüşümlü olarak verildiği için, 25 cm lateral derinliğinde sulama yapıldıktan sonra, 50 cm lateral derinliğinde sulama yapılana kadar geçen sürede fazla su miktarının aşağı doğru hareket etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Toprak profilindeki (0-90 cm) su içeriği dağılımları incelendiği zaman, suyun sadece damlaticıların etrafında yayıldığı ve uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça hem x hem de z doğrultusunda ıslatma desenin daha geniş olduğu görülmektedir. (D25//50) S33, S66 ve S100 konularında, su içeriği değişimleri (D25//50)1/2 konuları ile oldukça benzer bir eğilim göstermiştir. (D25//50) S33 konusunun su içeriği değişimi 30. günden sonra 200 mm’nin altında seyrederken, (D25//50) S66 konusu 200-300 mm arasında, (D25//50)100 konusu ise dönem boyunca 250-350 mm civarında değişmiştir. Toprak su içeriği dağılım haritaları sulamanın 25 cm (Şekil 4.33) lateral derinliğinde yapıldığı günden sonraki gün (29. gün) ve 50 cm (Şekil 4.34) lateral derinliğinde yapıldığı günden sonraki gün (32. gün) için topraktaki nem değişimi haritalanmıştır. Burada üç konuda da 50 cm lateral derinliğinde sulama yapıldığı zaman, ertesi gün suyun damlaticı etrafında yayıldığı görülmektedir. Bununla beraber S33 ve S66 konularında damlaticıdan toprak yüzeyine doğru su içeriğinin azaldığı görülmektedir. S100 konusunda ise 32. gün 50 cm lateral derinliğinin altına doğru bir su hareketi gerçekleşmiştir. 25 cm lateral derinliğinde sulama yapıldıktan sonraki gün (29.gün), (D25//50) S33 konusunda toprak su içeriğinin toprak yüzeyine doğru azaldığı görülmektedir. (D25//50) S66 konusunda ise, S33 konusuna göre toprak yüzeyinde daha az buharlaşma meydana gelmiştir. Bununla beraber toprak bünyesi siltli tın olduğu için su damlaticı etrafında birikmiştir. (D25//50) S100 konusunda ise ıslatma deseni S33 ve S66 dan hem z hemde x yönünde daha yüksektir. Bununla beraber su içeriğinin aşağıya doğru hareket ettiği görülmektedir. Bir önceki sulama 50 cm lateral derinliğinde gerçekleştiği için, fazla su yerçekiminin de etkisi ile aşağıya doğru hareket ederken, 25 cm lateral derinliğinde tekrar sulama yapıldığı zaman topraktaki fazla su tabana doğru artmıştır. O nedenle S33 ve S66 konularına göre derine sızan su miktarı daha fazladır. Bu konfigürasyonda, (D25//50)S66 konusu önerilmektedir. Bu konuda su içeriği değişimi, (D25//50)S100 konusu ile benzer bir değişim gösterirken, dönem sonuna doğru drene olan su miktarı azalan bir değişim göstermiştir. (D25//50)S100 konusunda ise drene olan su miktarı sulama günlerine göre artan ve azalan bir değişim göstermiştir. Ayrıca özellikle sulama günlerinde (D25//50)S100 konularında toprak su içeriği değerleri 350 mm civarındadır ve bitkinin ihtiyaç duyduğu sulama suyu miktarından oldukça yüksek olduğu görülmektedir. (D25//50)S66 konusunda sulamadan bir gün sonra 0-90 cm derinliğinde su içeriği değişimi incelendiği zaman, toprak yüzeyinde $0.2 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ olan su içeriğinin 40 cm derinliğe kadar arttığı, 40 cm derinliğinde ise $0.4 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ değerine ulaştığı görülmektedir. Islatma deseninin ise 40-70 cm arasında oluştuğu saptanmıştır.



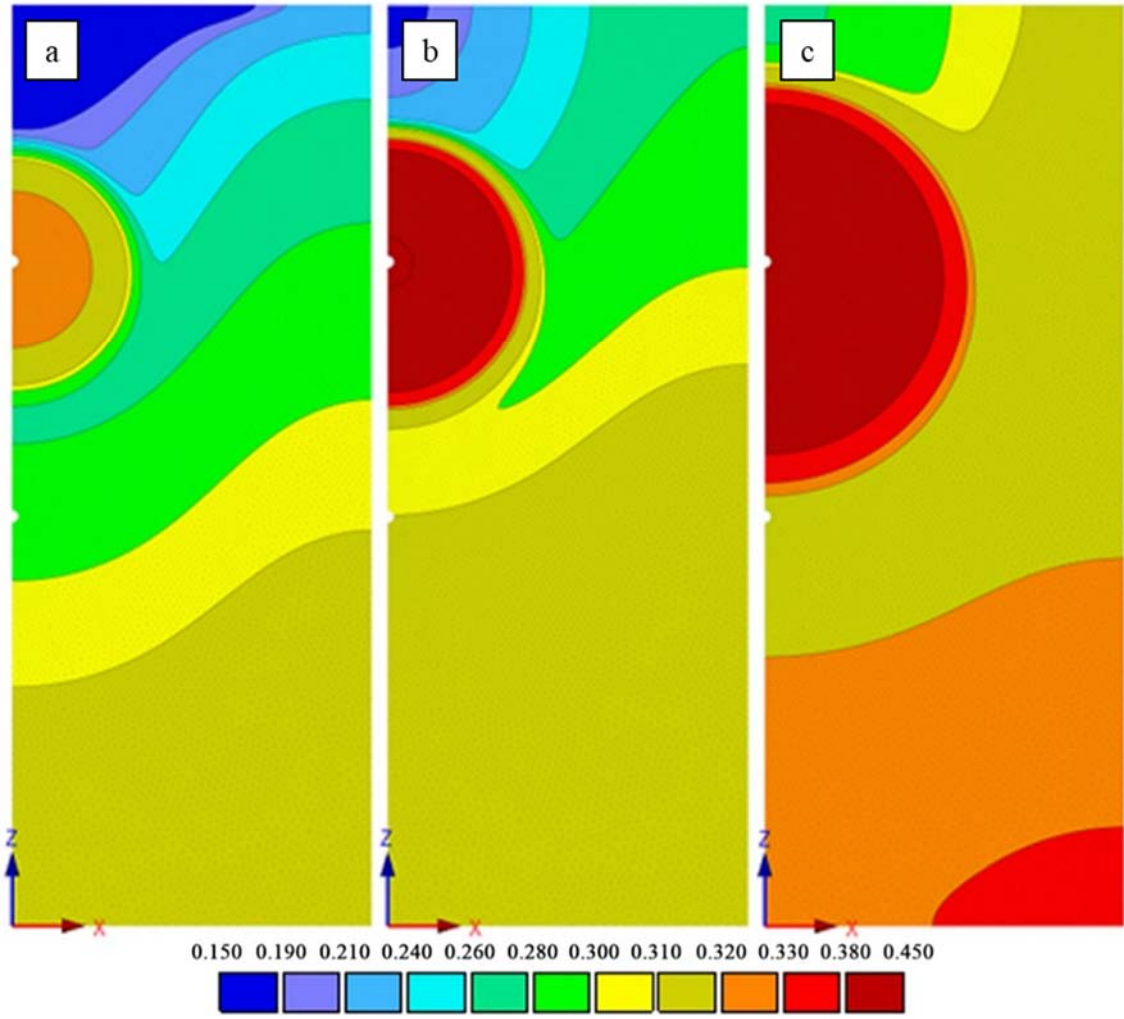
Şekil 4.31. (D25//50) S33, S66 ve S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri



Şekil 4.32. Dönem boyunca (D25//50) S33, S66 ve S100 konularının su içeriği değişimleri



Şekil 4.33. a) (D25//50)S33; b) (D25//50)S66; c) (D25//50)S100 konularında, sulamadan bir gün sonra (sulama 50 cm lateral derinliğinde gerçekleştirildiği zaman) su içeriği değişimlerinin haritası



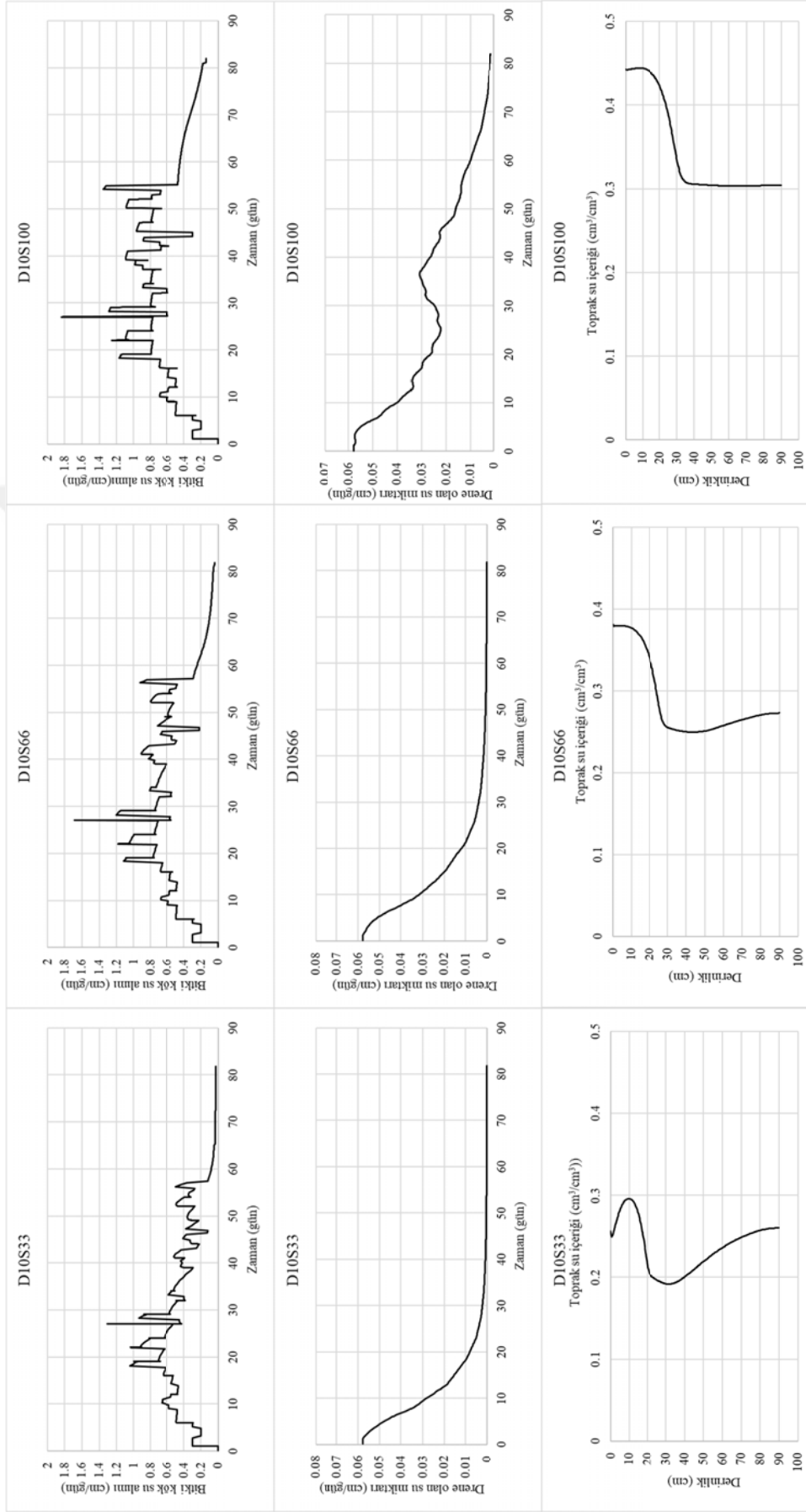
Şekil 4.34. a) (D25//50)S33; b) (D25//50)S66; c) (D25//50)S100 konularında, sulamadan bir gün sonra (sulama 25 cm lateral derinliğinde gerçekleştirildiği zaman) su içeriği değişimlerinin haritası

(D25/50)1/2 S100 ve (D25//50) S100 konuları beraber değerlendirildiği zaman, dönem boyunca, (D25/50)1/2 S100 konusunda bitki kökleri toplam su alımı (D25//50)S100 konusu ile karşılaştırıldığı zaman daha fazla olduğu görülmektedir. Bitki kökleri tarafından su alımının artması toprak altı damla sulamada istenen bir özelliktir. Ayrıca, (D25/50)1/2 S100 konusunda ıslatma deseni daha homojen ve hem x hem de z doğrultusunda daha geniştir. Lateralin hem 25 cm hem de 50 cm de bulunduğu ve tam sulama konusunda yarısının 25 cm yarısının da 50 cm de uygulandığı (D25/50)1/2 S100 konusunun en iyi uygulama senaryosu olduğu görülmektedir. (D25//50)S100 konusunda her sulamada lateralin 50 cm de olması durumunda fazla su derine sızarak taban suyu yüksekliğinin artmasına neden olabileceği ayrıca özellikle ağır bünyeli topraklarda suyun toprak yüzeyine hareketi daha yavaş olacağından bitki kök bölgesinin tamamına suyun ulaşmadığı düşünülmüştür. Tam tersi, 25 cm lateral derinliğinde sulama yapıldığında ise fazla su toprak yüzeyinden buharlaşacaktır. Bu sefer bitki kök bölgesinin alt kısımlarına su akışı azalacaktır. (D25/50)1/2 S100 konusunda 25 cm ve 50 cm lateral derinliğinden aynı anda su akışı gerçekleştiği için ıslatma deseninin boyutları daha yüksektir. 90 cm kök derinliğinde sulamadan bir gün sonra (D25/50)1/2 S100 konusu toprak yüzeyinde su

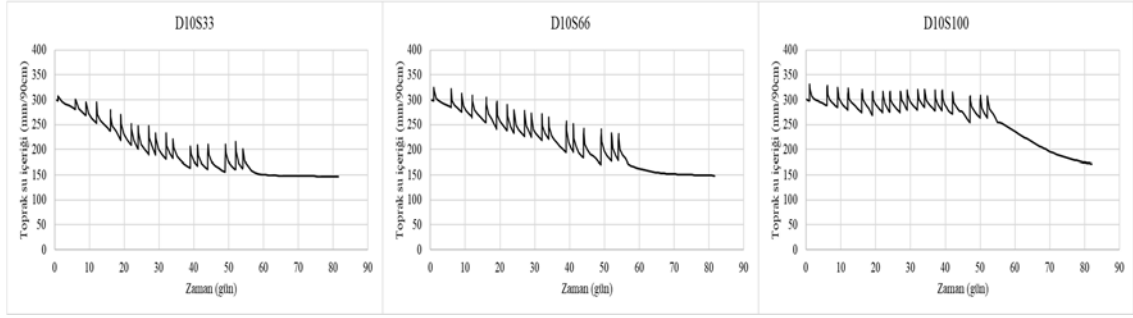
içeriği değeri 0.26, 25 cm derinliğine doğru 0.36 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ 'e yükseldiği görülürken, 50 cm derinliğinde ise maksimum su içeriği 0.37 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ 'e yükseldiği görülmektedir. Burada önemli olan 25 cm ve 50 cm lateral derinliğinde yüksek ve neredeyse sabit su içeriği değerini muhafaza etmiştir. 70-90 cm toprak derinliğinde su içeriği değeri ise 0.32 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak sabit kalmıştır. (D25/50)1/2 S100 konusunda ise toprak su içeriği değeri 0.27 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ iken, 25 cm lateral derinliğinde 0.29 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ 'e yükselmiş ve 50 cm lateral derinliğinde ise 0.43 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ değerine yükselmiştir. 90 cm derinliğinde ise 0.32 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ olarak sabit kalmıştır. (D25/50)1/2 S100 konusuna göre 50 cm lateral derinliğinde su içeriği değeri daha fazla olması bu derinlikte dönüşümlü sulama yapılmasına rağmen su içeriğinin fazla olduğu anlamına gelmektedir. Dönüşümlü sulama uygulamalarında uygulanacak sulama suyunun bölüştürülmesi toprak içerisinde ıslatma deseninin boyutlarının artmasına neden olmuştur.

4.7.3.2 . Farklı lateral derinliklerine ilişkin bulguların değerlendirilmesi

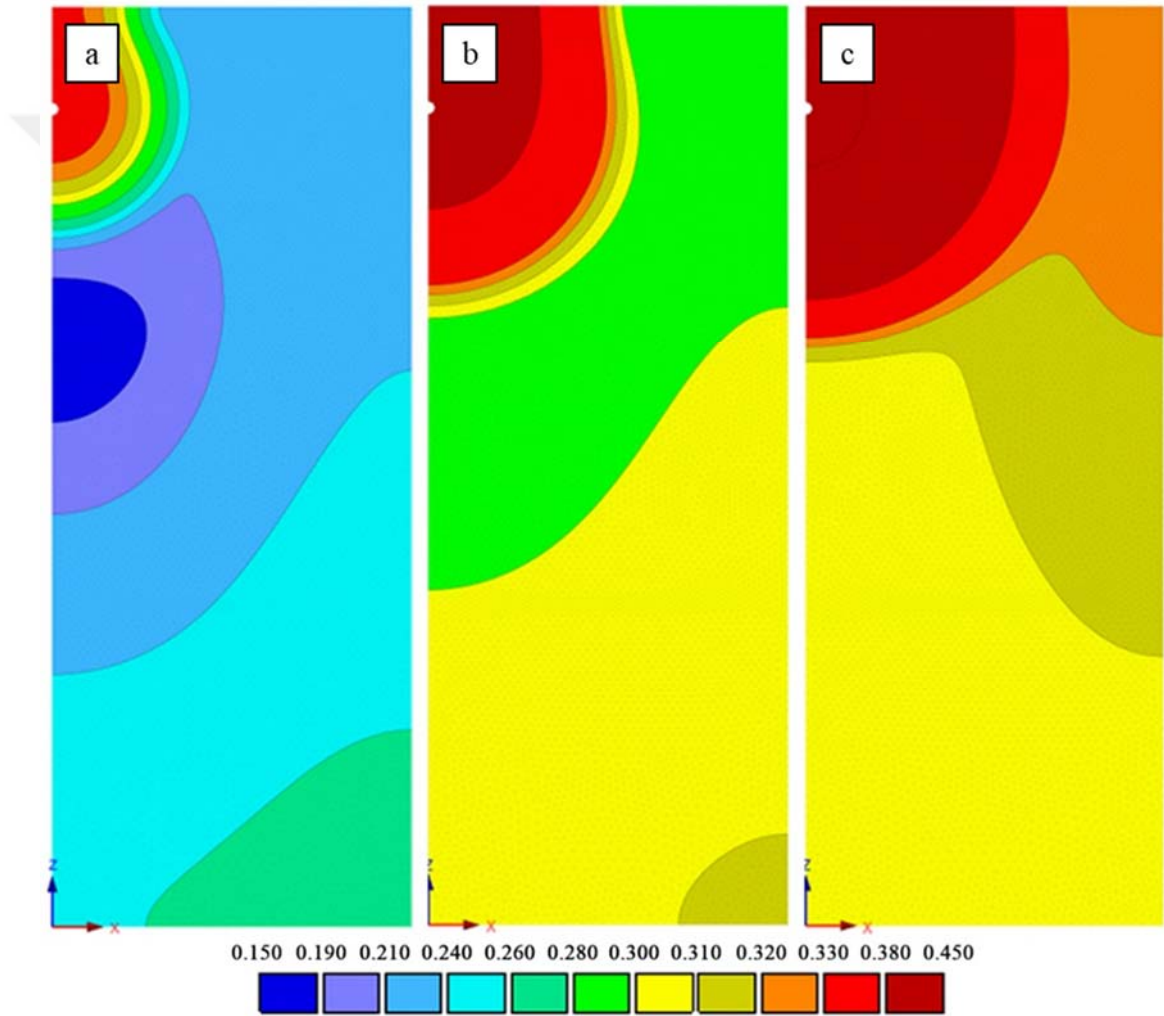
D10S33, D10S66, D10S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.35'de, dönem boyunca su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.36'da verilmiştir. Sulamadan bir gün sonra D10S33, D10S66, D10S100 konularında, toprak su içeriği dağılımı ise Şekil 4.37'de verilmiştir. Lateralin 10 cm olduğu senaryoda, uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça bitki köklerinde su alımı da artmıştır. Drene olan su miktarı incelendiği zaman ise uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça drene olan su miktarının da arttığı görülmektedir. 0-90 cm toprak derinliğinde su içeriği değerleri incelendiği zaman, üç sulama uygulamasında da en yüksek su içeriği değeri 10 cm toprak derinliğinde meydana gelmiştir. Su içeriğinin, 20 cm toprak derinliğinden toprak tabanına doğru azaldığı görülmektedir. Lateralin toprak yüzeyine yakın olmasından dolayı, toprak yüzeyinde buharlaşma miktarının fazla olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.35). Dönem boyunca 0-90 cm toprak derinliğinde su içeriği değerleri incelendiği zaman, D10S33 konusu 10. günden sonra 250 mm'nin altına düşerken, 20. günden simüle edilen dönemin sonuna kadar 150-200 mm arasında değişmiştir. D10S66 konusu ise deneme başlangıcından, 20. güne kadar 300-250 mm arasında değişirken, 20. gün ve 40. gün arasında 200-250 mm arasında değişmiştir. 40. günden sonra ise 200 mm'nin altına düşmüştür. D10S100 konusu ise dönem boyunca 270-310 mm civarında değişmiştir. Tüm konularda sulamadan sonra toprak su içeriğinin arttığı ve bir sonraki sulama gününe doğru azaldığı görülmektedir. Ayrıca dönem boyunca D10S33 ve D10S66 konularında 0-90 cm derinliğinde toprak su içeriği simülasyon başlangıcından sonuna doğru azalırken, D10S100 konusunda toprak su içeriği 300 mm civarında değişmiştir (Şekil 4.36). Şekil 4.37 incelendiğinde, D10S33 konusunda ıslatma deseninin boyutlarının küçük olduğu ve simüle edilen toprak kesitinde su içeriğinin toprak yüzeyine doğru azaldığı saptanmıştır. Uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça, ıslatma deseninin boyutları artmıştır. Buna rağmen, damlatıcıdan hem x hem de z düzleminden uzaklaştıkça su içeriği değerlerinin de azaldığı görülmektedir. 10 cm lateral derinliğinde üç farklı sulama seviyesinde de ıslatma deseninin oluşmadığı görülmektedir. Bu çalışmada, toprak altı damla sulama yöntemi ile sulanan sorgum bitkisinde, laterallerin 10 cm toprak derinliğinde bulunması önerilmemektedir.



Şekil 4.35. D10S33, D10S66 ve D10S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan bir gün sonra 0-90 cm toprak derinliğindeki toprak su içeriğinin değişimleri

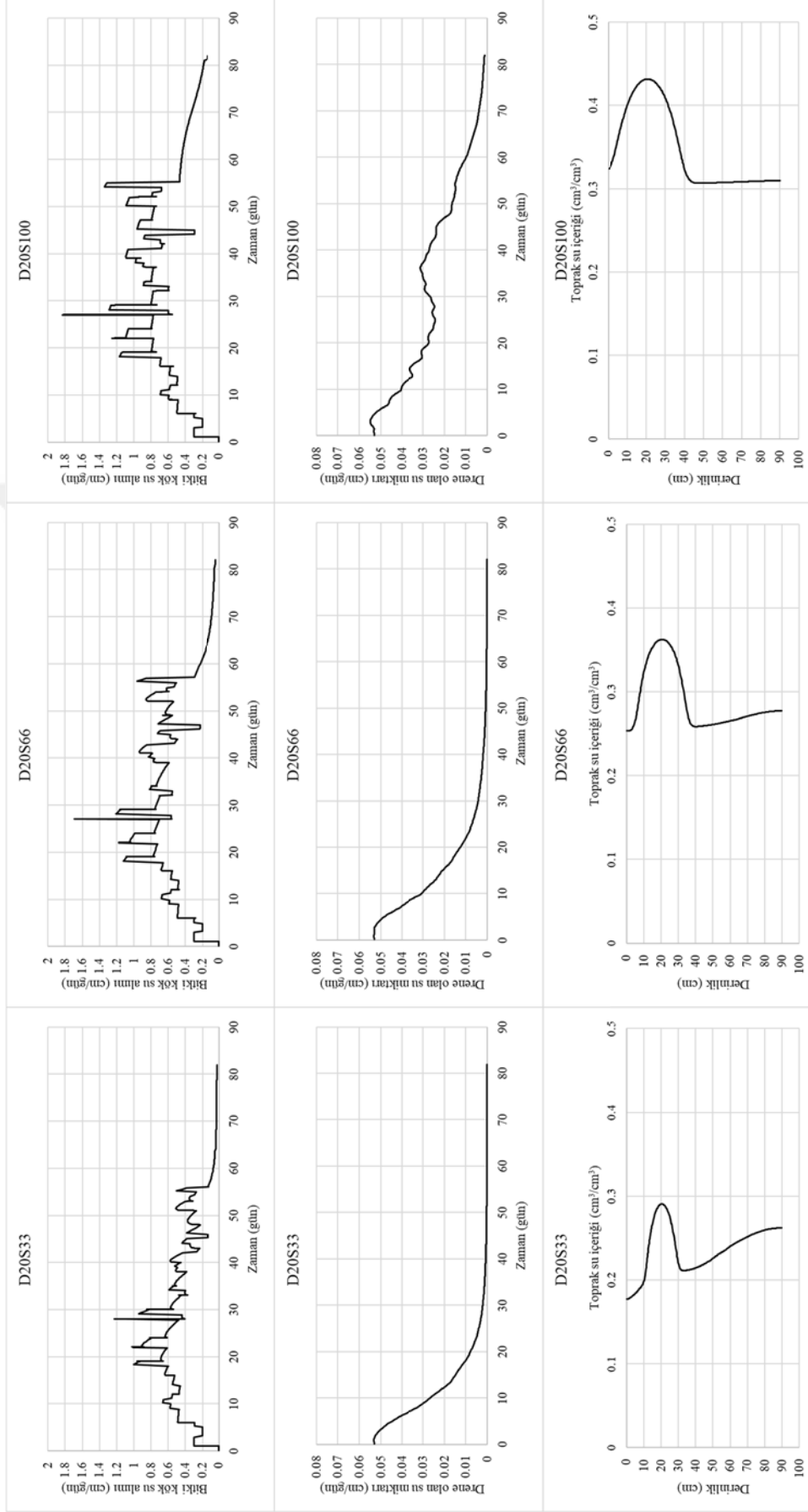


Şekil 4.36. Dönem boyunca D10S33, D10S66 ve D10S100 konularında, 0-90 cm derinliğinde toprak su içeriği değişimleri

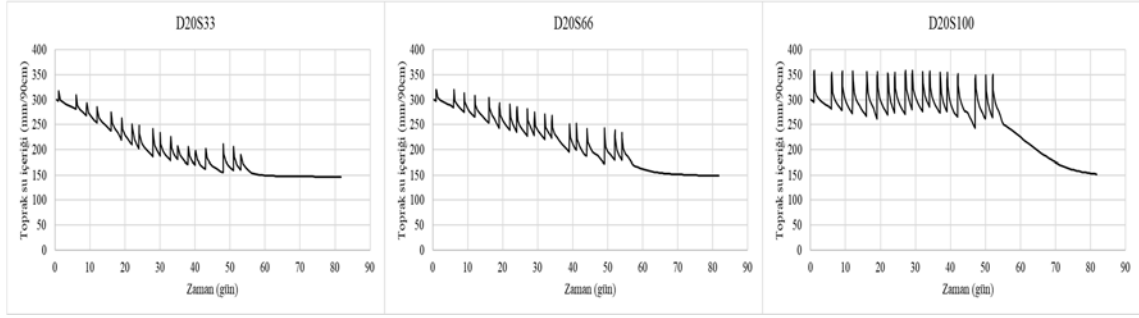


Şekil 4.37. Sulamadan bir gün sonra, **a)** D10S33; **b)** D10S66; **c)** D10S100 konularında, toprak su içeriği dağılımı

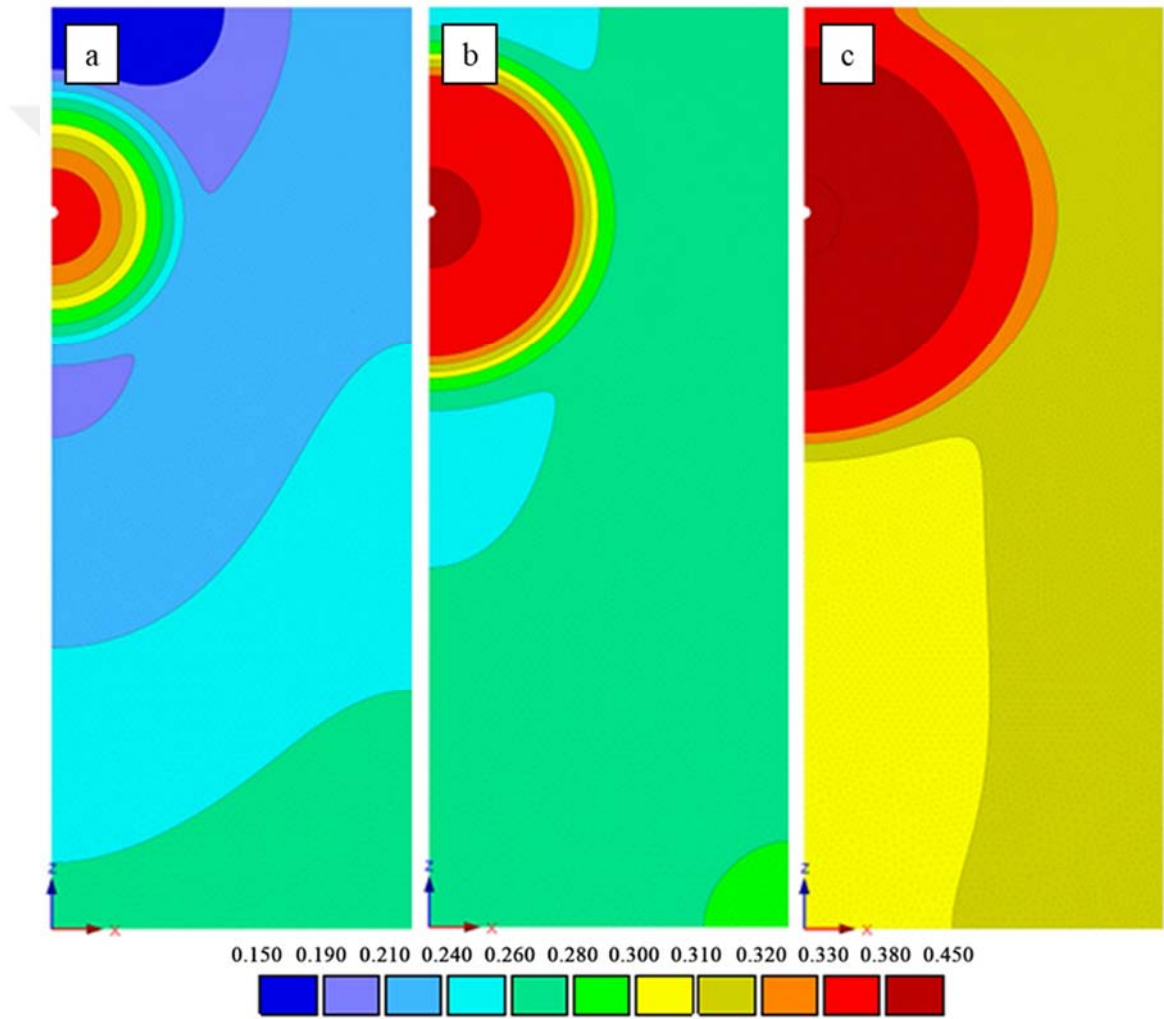
D20S33, D20S66, D20S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.38’de, dönem boyunca su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.39’da verilmiştir. Sulamadan bir gün sonra (32. gün) D20S33, D20S66, D20S100 konularında, toprak su içeriği dağılımı Şekil 4.40’da verilmiştir.



Şekil 4.38. D20S33, D20S66 ve D20S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan bir gün sonra 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri



Şekil 4.39. Dönem boyunca D20S33, D20S66, D20S100 konularında, toprak su içeriği değişimleri

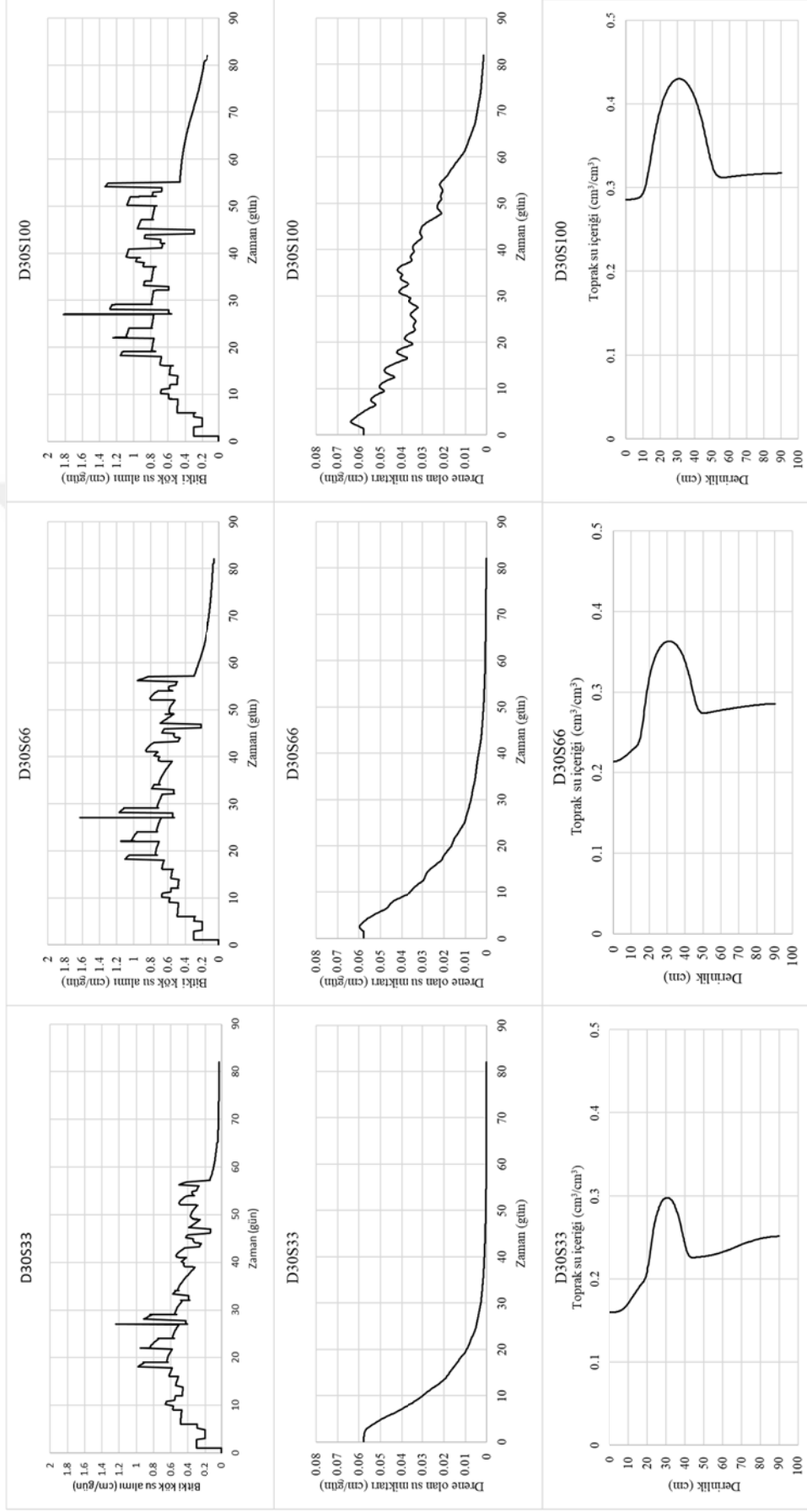


Şekil 4.40. Sulamadan bir gün sonra, a) D20S33; b) D20S66; c) D20S100 konularında toprak su içeriği dağılımı

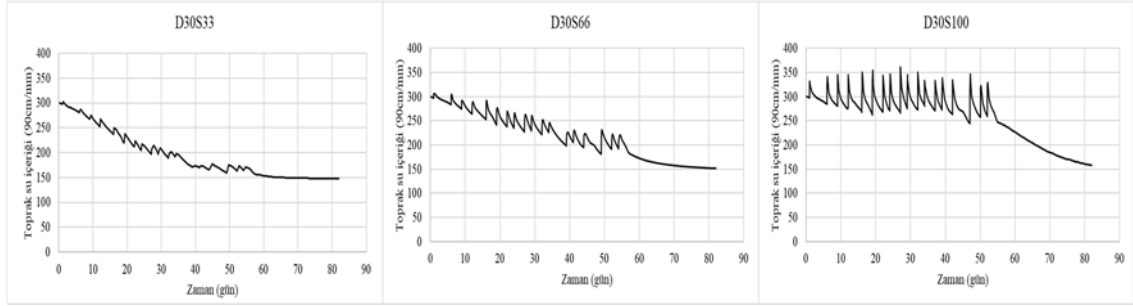
Şekil 4.38, 4.39 ve 4.40 beraber değerlendirildiğinde, en yüksek bitki kök su alımı sırası ile D20S100, D20S66 ve D20D33 konularında elde edilmiştir. Bununla beraber D20S100 konusunda drene olan su miktarı daha fazladır. Sulamadan bir gün sonra 0-90

cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri incelendiği zaman, her üç sulama uygulamasında da 20 cm derinlikte su içeriği en yüksek seviyededir. Uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça ıslatma deseninin boyutları da artmıştır. Dönem boyunca D20S33 konusunda simülasyon başlangıcından 20. güne kadar 300-200 mm arasında değişirken, 20. günden sonra 200 mm'nin altına düşmüştür. D20S66 konusu ise, yaklaşık 40. günden sonra 200 mm'nin altına düşmüştür. D20S100 konusunda ise sulamalardan önce 300 mm'nin altına düşerken, sulamalardan sonra ise 300 mm'nin üzerine çıkmıştır. Nem dağılımı değerlendirildiği zaman, D20S33 konusunda suyun sadece damlatıcının çevresinde yoğunlaştığı ve 0-90 cm kök derinliğinde toprağın su içeriğinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. D20S66 konusunda ise sulamadan bir gün sonra damlatıcı etrafında su içeriğinin yüksek olduğu ve suyun dağılmadığı görülmektedir. Toprak yüzeyinde buharlaşma olduğu görülmektedir. D20S100 konusunda ıslatma deseninin boyutu daha büyüktür. D20S33 ve D20S66 konuları ile karşılaştırıldığı zaman toprak kesitinde su içeriği değerlerinin daha yüksek olduğu ve suyun toprak kesitine yayıldığı görülmektedir. Bu nedenle 20 cm lateral derinliğinde S100 konusu önerilmektedir.

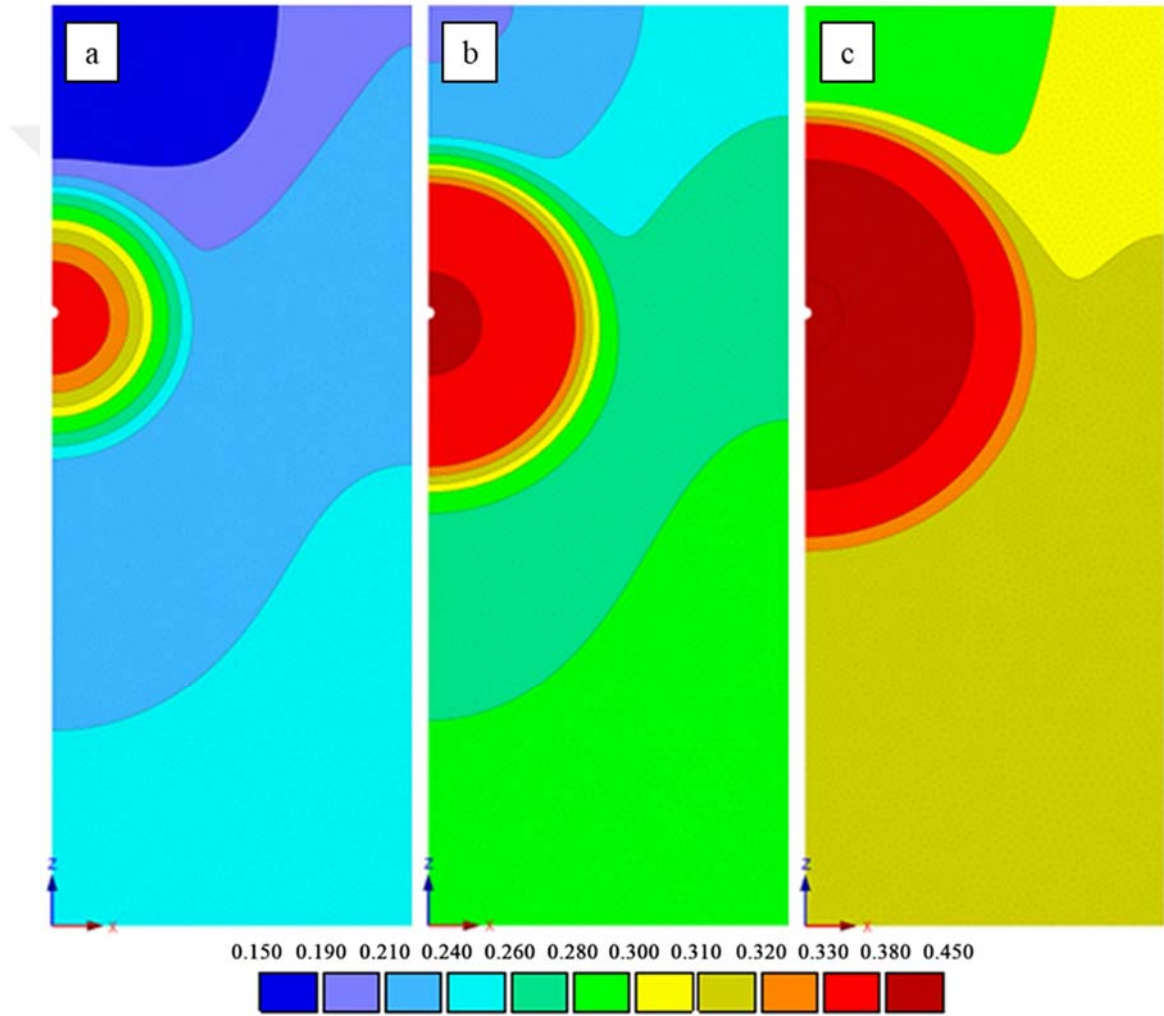
D30S33, D30S66, D30S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.41'de, dönem boyunca su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.42'de verilmiştir. Sulamadan bir gün sonra (32. gün) D20S33, D20S66, D20S100 konularında, su içeriği değişimlerinin haritası 4.43'de verilmiştir



Şekil 4.41. D30S33, D30S66 ve D30S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan sonraki gün 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri



Şekil 4.42. D30S33, D30S66, D30S100 konularında dönem boyunca su içeriği değişimleri



Şekil 4.43. Sulamadan bir gün sonra, a) D30S33; b) D30S66; c) D30S100 konularında toprak su içeriği dağılımı

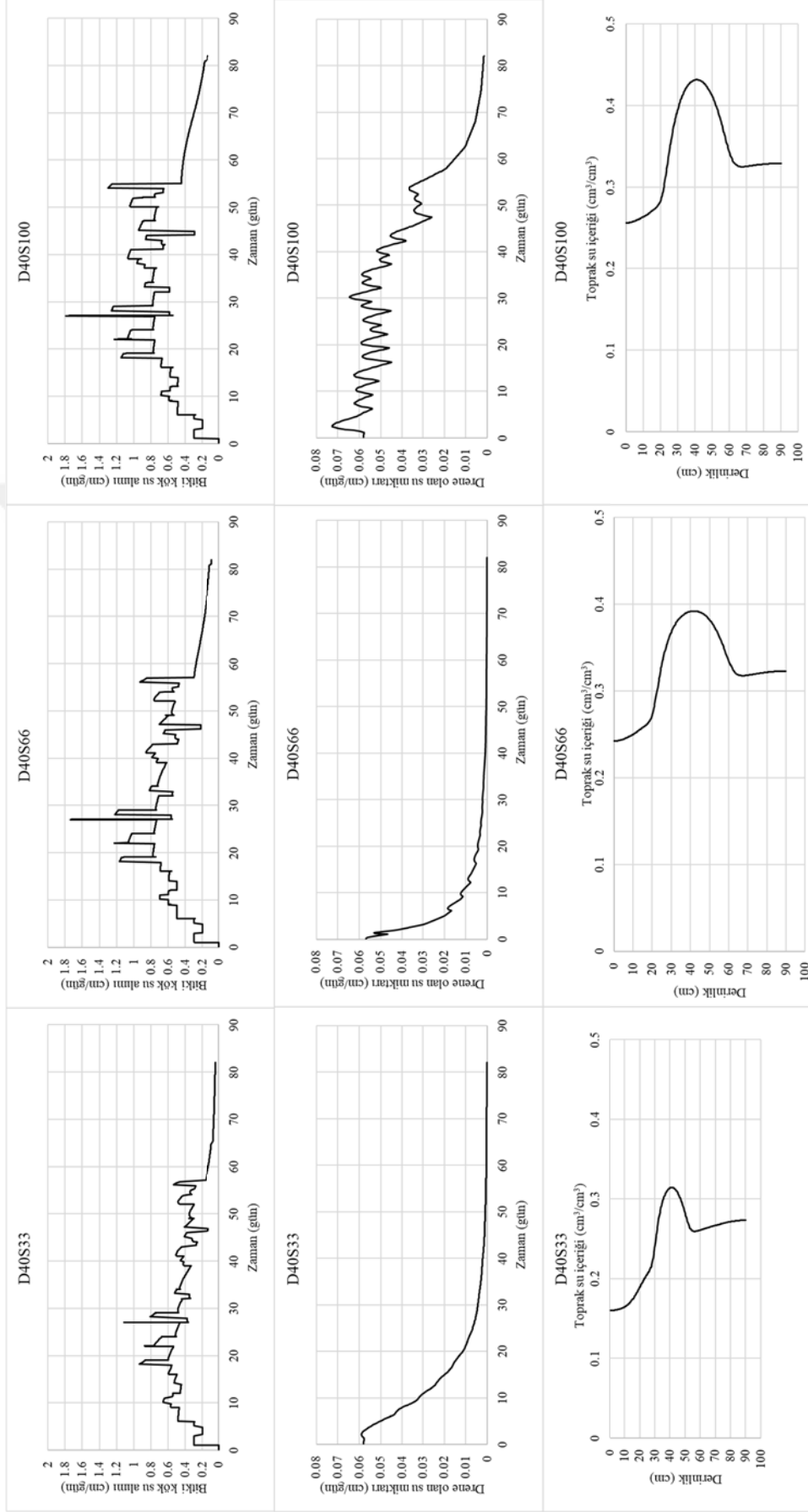
Şekil 4.41, 4.42 ve 4.43 beraber değerlendirildiği zaman, bitki köklerinde en yüksek su alımı sırası ile D30S100, D30S66 ve D30S33 konularında elde edilmiştir. Buna karşı drene olan su miktarları incelendiği zaman, en fazla drene olan su miktarı sırası ile D30S100, D30S66 ve D30S33 konularından elde edilmiştir. Özellikle sulama yapılan

günlerde D30S100 konusunda drene olan su miktarı fazladır. Sulamadan sonraki gün 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri incelendiği zaman, 30 cm toprak derinliğinde D30S33 konusunda su içeriği $0.3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ iken, D30S66 konusunda $0.36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ civarındadır, D30S100 konusu ise 30 cm toprak derinliğinde, $0.42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ değerine yükselmiştir. Programa köklerin yoğunlaştığı dikey uzunluk 15 cm olarak belirlenmiştir bu nedenle bu bölgede fazla su miktarının bulunmasının sakıncalı olduğu düşünülmektedir. Dönem boyunca toprak su içeriği değişimleri incelendiği zaman D30S33 konusu, 20. günden sonra 200 mm değerinin altında bir seyir izlemiştir. D30S66 konusu ise dönem boyunca 200-300 mm arasında değişirken, D30S100 konusu dönem boyunca 300 mm'nin üzerinde toprak su içeriği değerlerine sahiptir. Nem dağılımı incelendiği zaman, D30S33 konusunda toprak kesitinde su miktarının düşük olduğu görülmektedir. D30S66 konusu, D30S33 konusuna göre daha fazla su içeriğine sahip olsa da, toprak yüzeyinde su içeriği değeri oldukça düşüktür, toprak yüzeyinde sulamadan bir gün sonra suyun buharlaştığı görülmektedir. D30S100 konusunda ise, ıslatma desenin daha fazla olduğu ve toprak kesitinin $0.32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ civarında olduğu görülmektedir. 30 cm lateral derinliğinde S100 konusu önerilmektedir.

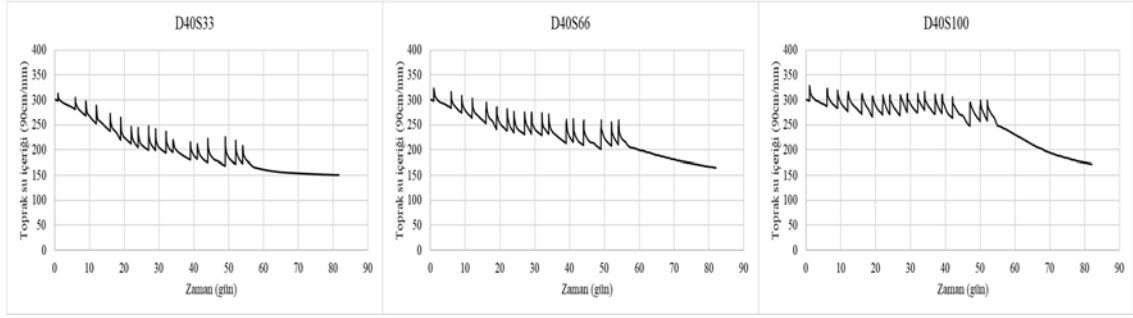
D40S33, D40S66, D40S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki toprak su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.44'de, dönem boyunca su içeriği değerlerinin değişimleri 4.45'de verilmiştir. Sulamadan bir gün sonra (32. gün) D40S33, D40S66, D40S100 konularında, toprak su içeriği dağılımı Şekil 4.46'da verilmiştir. Bitki köklerinde su alımı miktarları değerlendirildiği zaman, D40S33 konusunda dönem boyunca alınan su miktarı D40S66 ve D40S100 konusundan daha düşük değerlerde değiştiği görülmektedir. D40S66 ve D40S100 konularında su alımı ise oldukça benzer bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Drene olan su miktarı değişimleri incelendiği zaman D40S66 konusunda 30. günden sonra drene olan su miktarının sıfıra yaklaştığı ve 30. günden sonra derine su sızmadığı görülmektedir. D40S100 konusunda ise dönem boyunca sulamadan sonra drene olan su miktarının artan ve azalan bir değişim göstermiştir. 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri incelendiği zaman D40S66 konusunda ıslatma deseninin daha homojen olduğu görülmektedir. Ayrıca, D40S66 konusu 40 cm lateral derinliğinde su içeriği değerinin $0.39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, D40S100 konusunda ise $0.43 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ olduğu görülmektedir ve D40S100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının bitkinin ihtiyaç duyduğu sulama suyu miktarından fazla olduğu belirlenmiştir. Dönem boyunca su içeriği değişimleri incelendiğinde, D40S66 konusunda su içeriğinin 300-200 mm arasında değiştiği görülmektedir. Bu çalışmada belirlenen tarla kapasitesi ve solma noktası sırasıyla, 306 ve 206 mm'dir. Bu konuda dönem boyunca toprak su içeriği değişiminin tarla kapasitesi ve solma noktası arasında değiştiği saptanmıştır. Toprak su içeriği dağılımları incelendiği zaman, D40S33 konusunda uygulanan sulama suyu yetersiz kaldığı bunun nedeninin toprak yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma olduğu düşünülmektedir. D40S100 konusunda da toprak yüzeyinde buharlaşma meydana geldiği ve su içeriği değerlerinin toprak yüzeyine doğru azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni fazla suyun derine sızması ve toprak bünyesi ağır olduğu

için 40 cm lateral derinliğinde uygulanan suyun toprak yüzeyine ulaşamamasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. D40S66 konusunda ise, toprak yüzeyinde buharlaşma olmadığı görülmektedir. Damlatıcının bulunduğu konumdan toprak yüzeyine kadar olan toprak kesitinde su içeriği değişiminin $0.30-0.32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ arasında değişmiştir. Bu nedenle 40 cm lateral derinliğinde S66 konusu en uygun senaryo olarak belirlenmiştir.

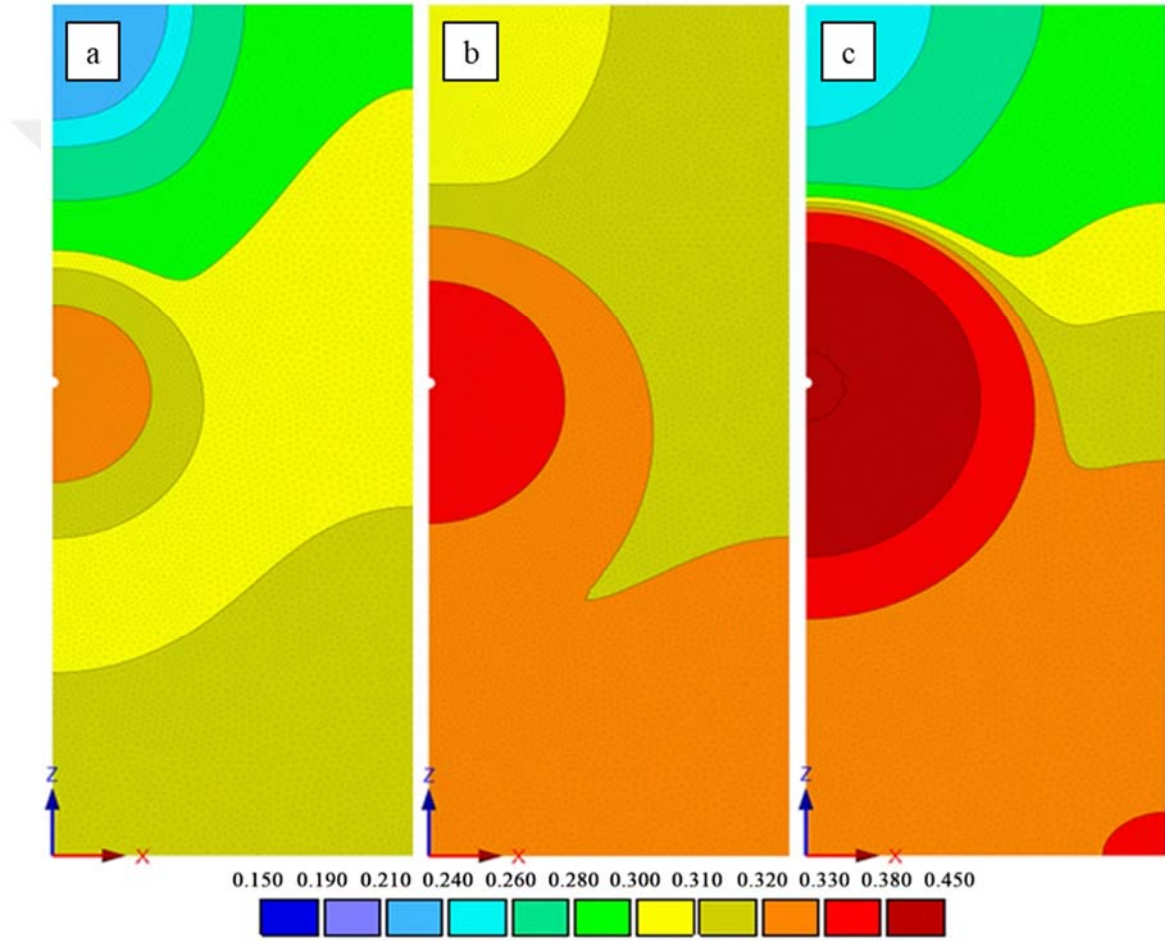




Şekil 4.44. D40S33, D40S66 ve D40S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan bir gün sonra 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri

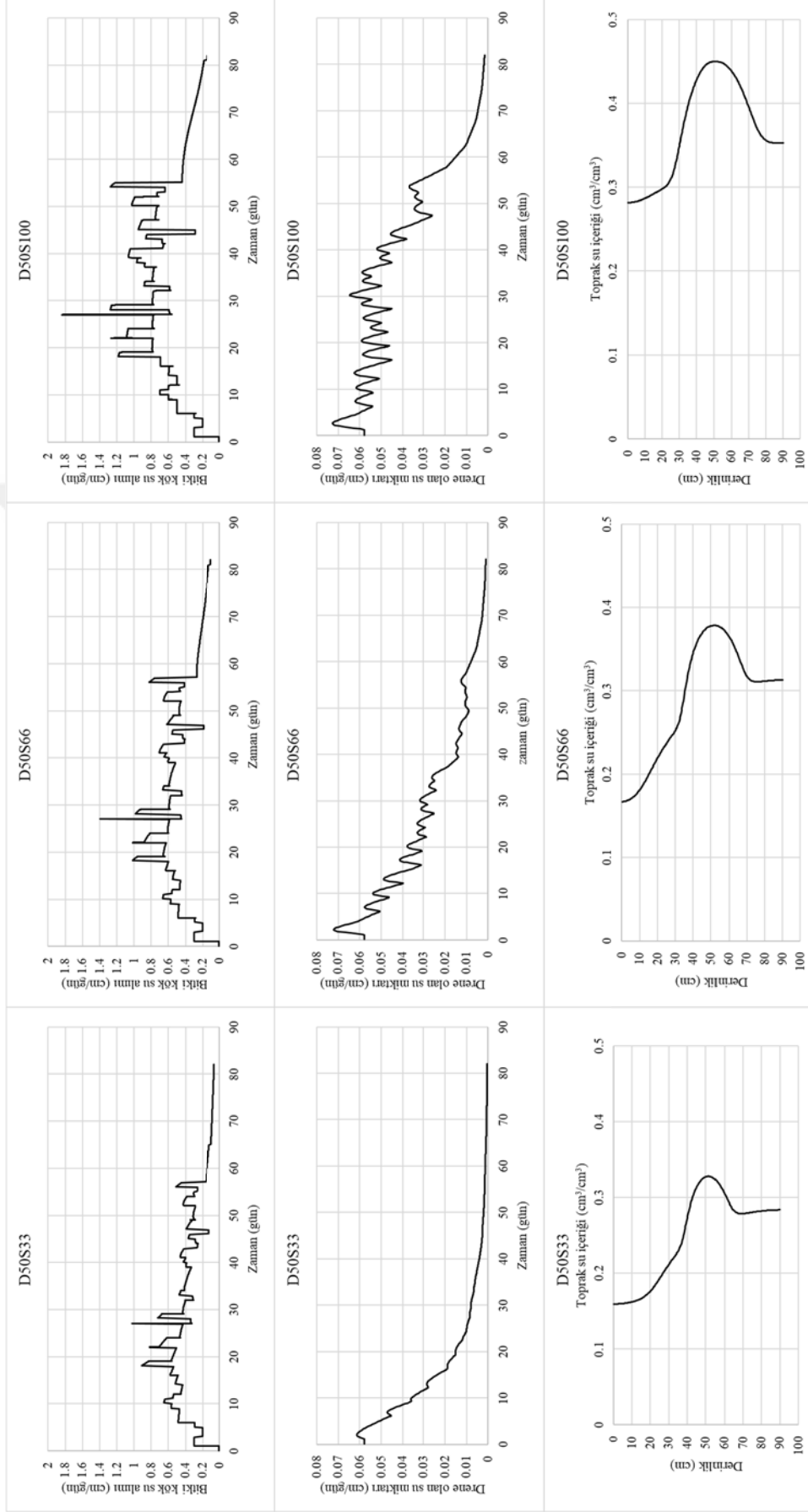


Şekil 4.45. Dönem boyunca, D40S33, D40S66, D40S100 konularında toprak su içeriği değişimleri

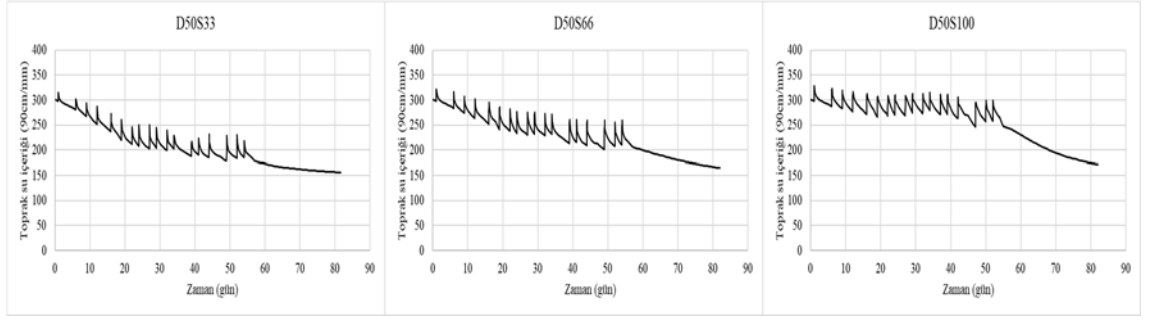


Şekil 4.46. Sulamadan bir gün sonra, a) D40S33; b) D40S66; c) D40S100 konularında toprak su içeriği dağılımı

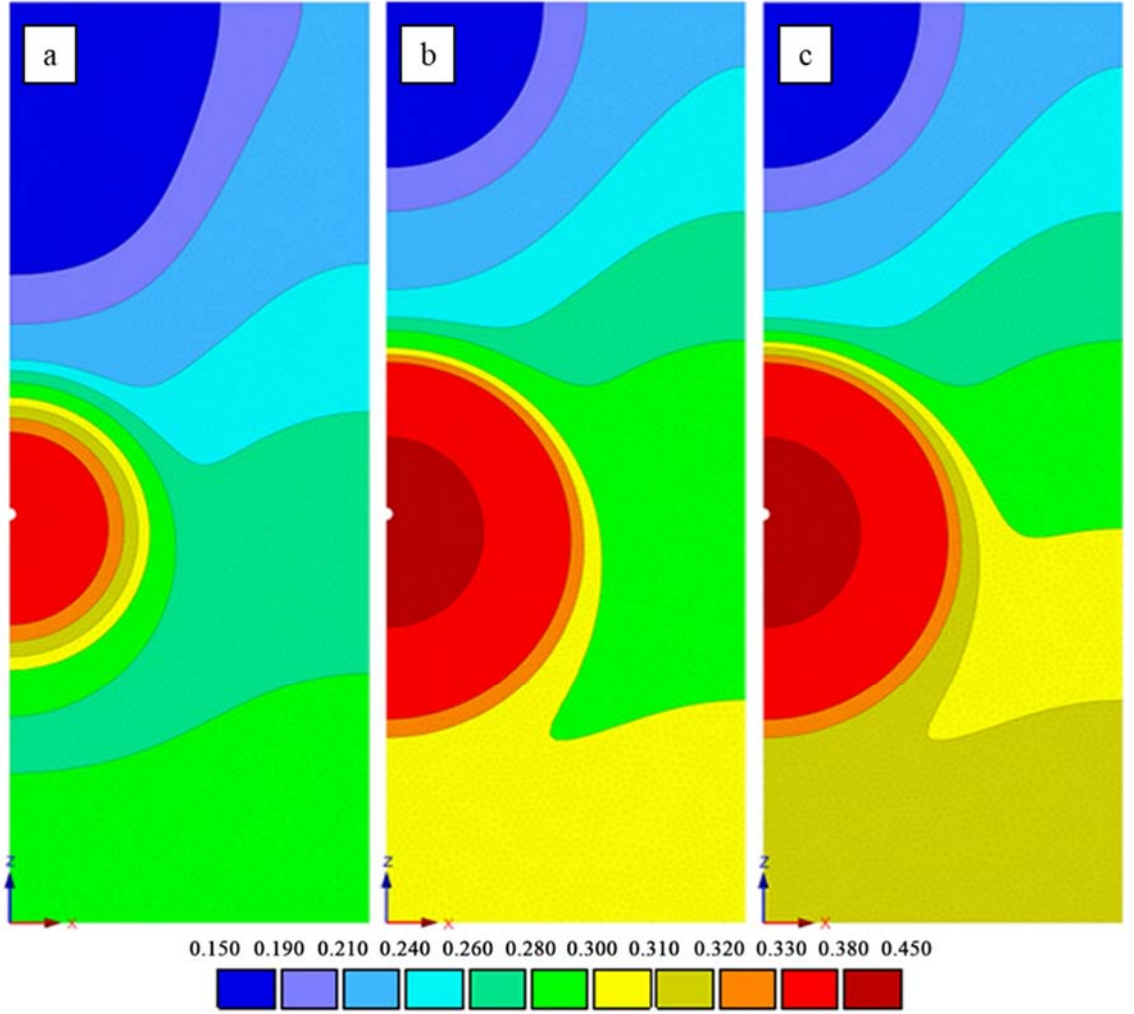
D50S33, D50S66, D50S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.47’de, dönem boyunca su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.48’de verilmiştir. Sulamadan bir gün sonra (32. gün) D50S33, D50S66, D50S100 konularında, su içeriği değişimlerinin haritası Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.47. D50S33, D50S66 ve D50S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve sulamadan bir gün sonra 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri



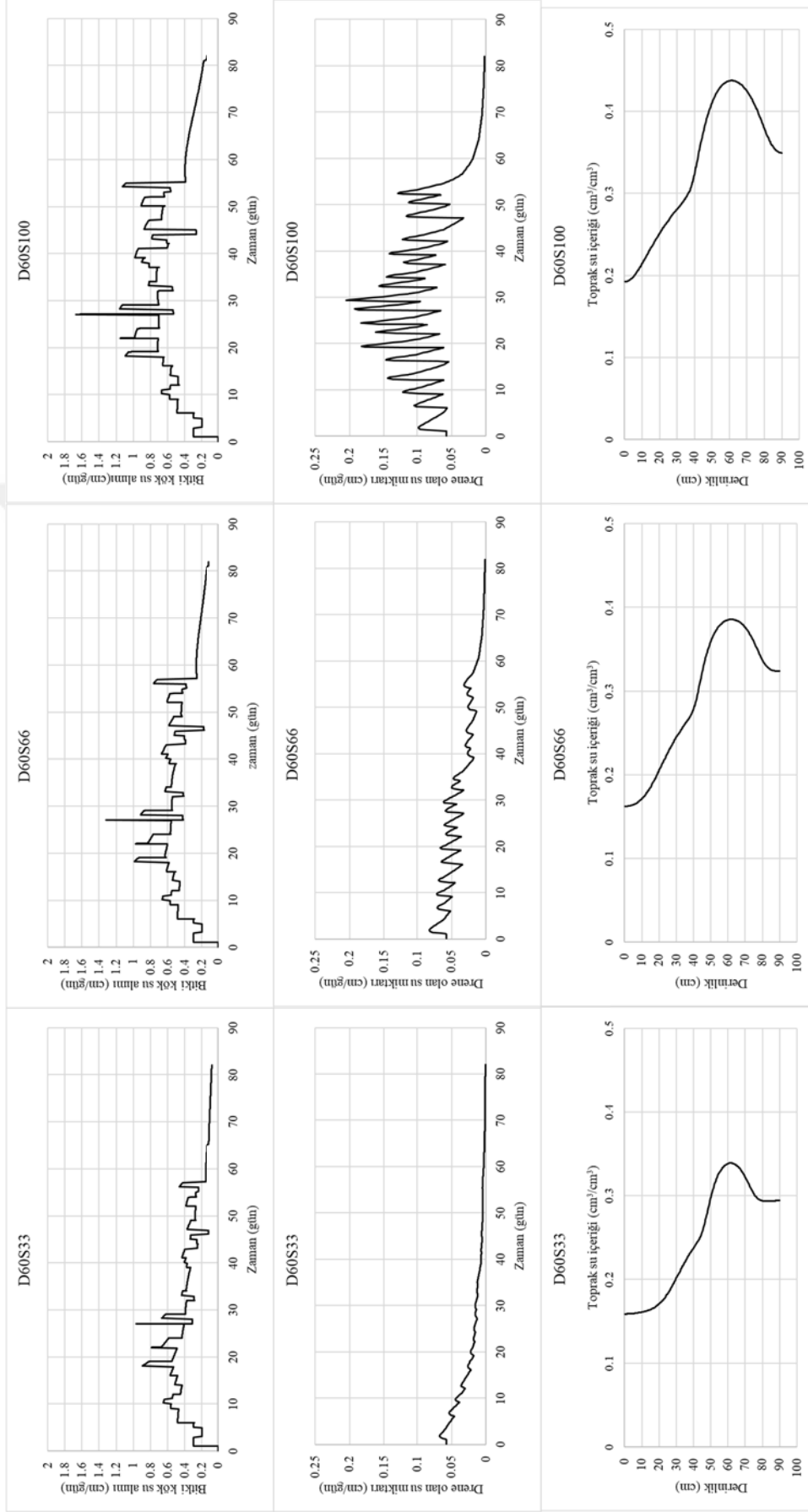
Şekil 4.48. Dönem boyunca, D50S33, D50S66, konularında su içeriği değişimler



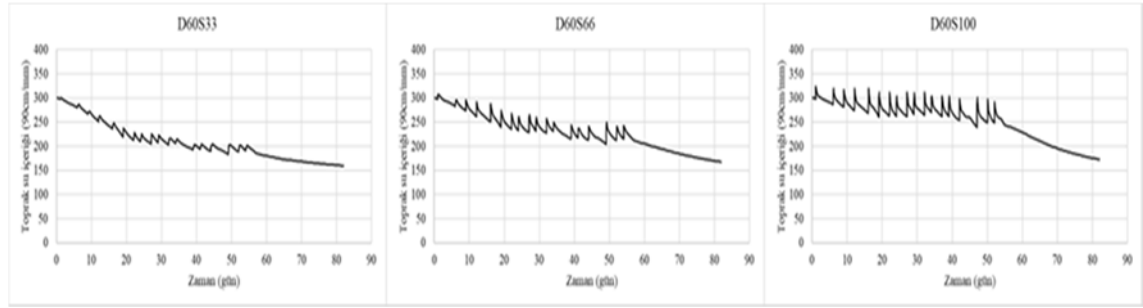
Şekil 4.49. Sulamadan bir gün sonra, a) D50S33; b) D50S66; c) D50S100 konularında toprak su içeriği dağılımı

Bitki köklerinde su alım miktarı değerlendirildiği zaman, dönem boyunca en yüksek su alımı D50S100 konusunda, en düşük su alımı ise D50S33 konusunda olduğu görülmektedir. Drene olan su miktarları incelendiği zaman üç konuda da her sulama gününden sonra drene olan su miktarının arttığı ve bu artışın uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça yükseldiği görülmektedir. Dönem boyunca su içeriği değişimleri incelendiğinde, D50S33 konusunda 10. günden sonra 250 mm değerinin altında düştüğü ve uygulanan sulama suyunun yetersiz kaldığı görülmektedir. D50S66 konusunda ise 200-300 mm arasında değiştiği görülmektedir. D50S100 konusunda ise, sulama günlerinde toprak su içeriğinin 300 mm'den fazla olduğu belirlenmiştir. Sulamadan bir gün sonra su içeriği dağılımı değerlendirildiğinde, üç konuda da toprak yüzeyine doğru su içeriği değerlerinin azaldığı görülmektedir. Toprak bünyesi ağır bir bünyeye sahip olduğundan, suyun toprak yüzeyine ulaşamadığı düşünülmektedir. Fazla su drene olmakla beraber kök bölgesinin tamamının özellikle köklerin yoğunlaştığı 15 cm derinlikte yeterli su bulunmadığı görülmektedir. Bu durumda, bitki gelişimi ve verimini olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu senaryoda derine sızan su miktarının daha az olması ve dönem boyunca su içeriği değerlerinin 200-300 mm arasında değişmesinden dolayı, D50S66 konusu önerilmektedir.

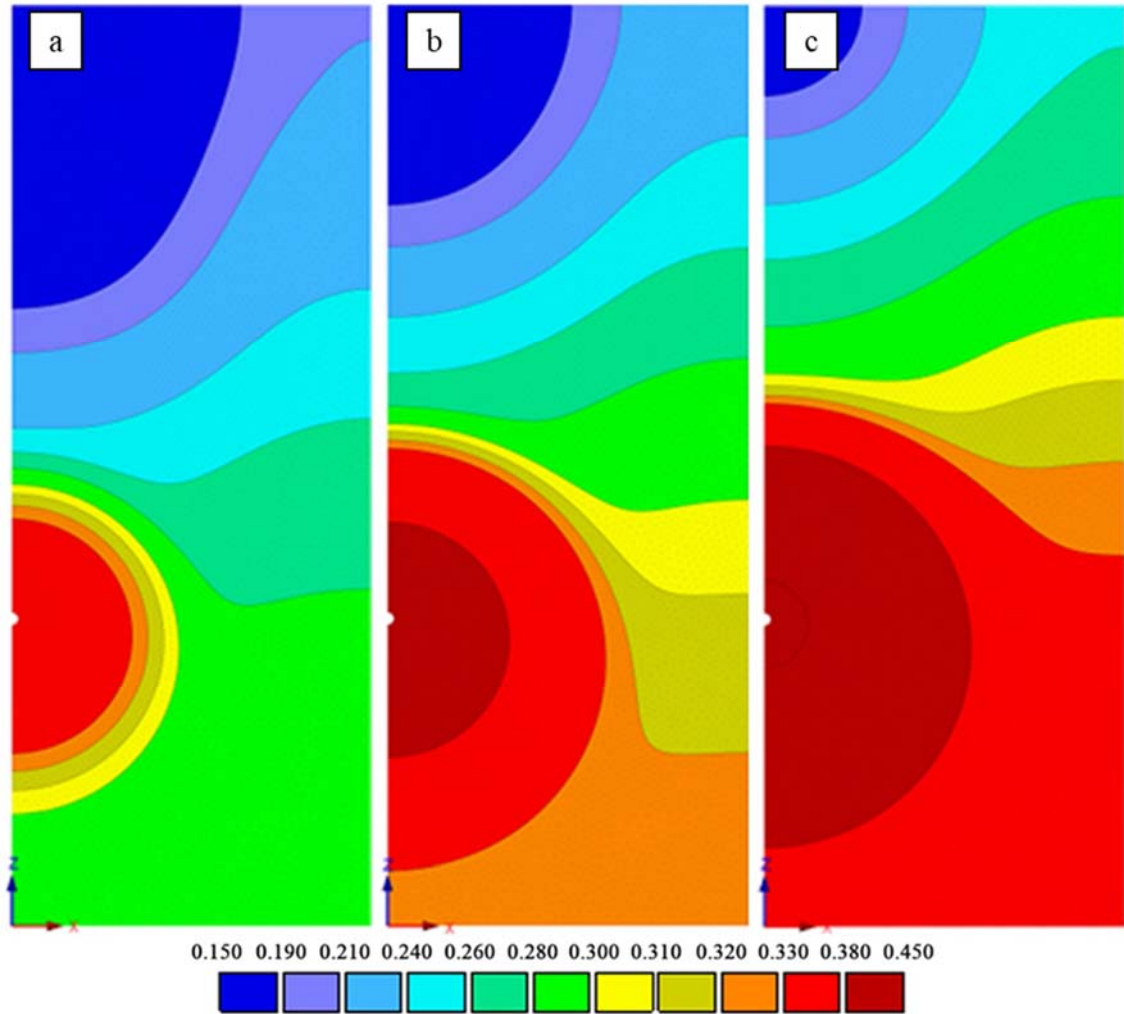
D60S33, D60S66, D60S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.50'de, dönem boyunca su içeriği değerlerinin değişimleri Şekil 4.51'de verilmiştir. Sulamadan bir gün sonra D60S33, D60S66, D60S100 konularında, su içeriği dağılımı 4.52'de verilmiştir. 60 cm lateral derinliğinde uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça bitki köklerinde su alımı artmıştır. En yüksek su alımı D60S100 konusundan elde edilirken, en düşük su alımı D60S33 konusundan elde edilmiştir. Drene olan su miktarı incelendiği zaman, D60S66 ve D60S100 konularında drene olan su miktarı oldukça yüksektir. Islatma deseni toprak derinliğinin 50-80 cm derinliğinde meydana gelmiştir. Toprak nem dağılımı incelendiği zamanda her üç konuda da toprak yüzeyinde su içeriği değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Lateral derin olduğu için su toprak yüzeyine ulaşamamıştır. Sorgum bitkisi için, siltli tınlı toprak da 60 cm lateral derinliği önerilmemektedir.



Şekil 4.50. D60S33, D60S66 ve D60S100 konularında, bitki su alımı, drene olan su miktarı ve 0-90 cm toprak derinliğindeki su içeriği değişimleri



Şekil 4.51. D60S33, D60S66, D60S100 konularında su içeriği değişimleri



Şekil 4.52. Sulamadan bir gün sonra, **a)** D60S33; **b)** D60S66; **c)** D60S100 konularında toprak su içeriği dağılımı

Farklı lateral derinliklerinde oluşturulan senaryolar birlikte değerlendirildiği zaman, 10, 20 ve 30 cm lateral derinlikleri toprak yüzeyine yakın bir konumda olduğundan, toprak yüzeyinde buharlaşma miktarının artmasından dolayı toprak yüzeyinin çok kuruduğu, 50 ve 60 cm lateral derinliğinde ise drene olan su miktarının fazla olduğu saptanmıştır. 40 cm lateral derinliğinde S66 konusunda ise, drene olan su

miktarının dönem sonuna doğru azaldığı ve kök bölgesinde ise en uygun ıslatma deseni belirlenmiştir. Bu nedenle sorgum bitkisinde toprak altı damla sulamada 40 cm lateral derinliğinde ve yığışımlı kıyas bitki su tüketiminin 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulanacağı D40S66 konusu önerilmektedir



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki yetiştirme döneminde (2020 ve 2021 yılları) toprak altı damla sulama yönteminde farklı lateral derinlikleri ve sulama suyu düzeylerinin biyoetanol üretim amacı ile yetiştirilen sorgum bitkisinin verim ve bitki gelişim parametrelerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, HYDRUS/2D modelinin farklı lateral derinliklerinde toprak profilindeki nem dağılımına göre kalibrasyon ve doğrulama işlemleri tamamlanmış, modelin kullanılabilirliği test edilmiştir. Ardından, HYDRUS/2D modeli ile tarla koşullarında denenemeyen lateral derinlikleri sayısal ortamda gerçekleştirilmiştir ve farklı senaryolar hazırlanarak biyoetanol amacı ile yetiştirilen sorgum bitkisinde en uygun lateral derinliği ve sulama suyu düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla tarla koşullarında 25 cm ve 50 cm olmak üzere iki farklı lateral derinliğinde ve tam suyun %33, %66 ve %100 olmak üzere 3 farklı sulama düzeyinde sulama konuları oluşturulmuştur. Sayısal ortamda ise, farklı lateral derinlikleri ve sulama düzeyi kombinasyonlarının suyun tek veya dönüşümlü olarak uygulandığı farklı alternatifleri içeren senaryolar HYDRUS/2D modeli ile denenmiştir.

İki farklı yetiştirme mevsiminde hesaplanan bitki su tüketim değerlerinin 105.1-473.0 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Her iki yetiştirme mevsiminde de en yüksek bitki su tüketimi D25S100 konusunda meydana gelmiştir. Bununla beraber her iki mevsimde D50S100 konusu D25S100 konusu ile karşılaştırıldığında, D50S100 konusunda daha düşük bitki su tüketimi hesaplanmıştır. Bu çalışmada iki farklı lateral derinliğinde tam sulama konuları karşılaştırıldığında, lateralin 25 cm toprak derinliğinde bulunması durumunda uygulanan sulama suyunun bir kısmının buharlaşma yolu ile kaybolduğu düşünülmektedir. Bu nedenle bitki su tüketim değerleri açısından incelendiğinde, sorgum bitkisinde toprak altı damla sulama sisteminin tasarımında sulama düzeyi olarak yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün uygulanması durumunda, lateralin toprak yüzeyinin 50 cm derinliğe yerleştirilmesinin daha uygun olduğu düşünülmektedir.

Sorgum bitkisinde her iki yetiştirme mevsiminde bitki gelişim parametreleri olarak bitki boyu, klorofil içeriği, stoma iletkenliği ve yaprak alan indeksi değerlerinin ortalamaları değerlendirilmiştir. Genel olarak her iki yetiştirme mevsiminde lateral derinliğinin ve sulama suyu seviyesinin interaksyonunun sorgum bitkisinin gelişim parametrelerini etkilemediği belirlenmiştir. Bitki gelişim parametreleri irdelendiğinde interaksyonun sadece birinci yetiştirme mevsiminde stoma iletkenliği değerlerini etkilediği ($p < 0.01$) saptanmıştır ve en yüksek stoma iletkenliği D50S100 konusunda ölçülmüştür. Farklı lateral derinliğinin bitki gelişim parametreleri üzerindeki etkileri incelendiğinde; hesaplanan ortalama bitki gelişim parametreleri arasında farklılık saptanmamıştır. Lateral derinliğinin sadece ikinci yetiştirme mevsimi sonunda ölçülen bitki boyu değerlerini etkilediği ($p < 0.01$) belirlenmiş olup, laterallerin 50 cm toprak derinliğinde bulunması durumunda daha yüksek bitki boyu değerleri elde edilmiştir. Her iki yetiştirme mevsiminde sulama suyu seviyesinin bitki gelişim parametrelerini ($p < 0.01$) etkilediği belirlenmiştir. İki yetiştirme mevsimi sonunda ölçülen bitki boyları değerlendirildiğinde en yüksek bitki boyu S100 ve S66 konularında belirlenirken bu iki konu arasında farklılık ($p > 0.05$) saptanmamıştır. Bununla beraber iki farklı yetiştirme mevsiminde belirlenen klorofil indeks içeriği (CCI), YAI ve ikinci yetiştirme mevsiminde belirlenen stoma iletkenliği değerlerinin ortalamaları en yüksek S100 konusunda belirlenirken S100 konusunun S66 konusu takip etmiştir.

Sorgum bitkisinde yaş ot ve kuru ot verim parametrelerinin birbiri ile ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Birinci yetiştirme mevsimi sonunda lateral derinliği, lateral derinliği ve sulama suyu seviyesinin interaksyonu hem yaş hem de kuru ot verim değerlerini etkilememiştir. Buna karşın sulama suyu seviyelerinin ortalama yaş ot ve kuru ot verim değerlerini etkilediği belirlenmiş, en yüksek yaş ot ve kuru ot verim değerleri sırasıyla S100, S66, S33 ve S0 konularından elde edilmiştir. İkinci yetiştirme mevsiminde ise lateral derinliği ve sulama suyu seviyesinin interaksyonunun yaş ot ve kuru ot verim değerlerine ait varyans analiz sonuçları istatistiksel olarak farklılık ($p<0.01$) göstermiştir. En yüksek yaş ot verimi D25S100 ve D50S100 konularında elde edilirken bu iki konu arasında farklılık saptanmamıştır. Bu konulardan sonra en yüksek yaş ot veriminin D50S66 ve D25S100 konusundan elde edilmesi ve aralarında istatistiksel farklılık belirlenmemesi göze çarpmaktadır. En yüksek kuru ot verimi ise D50S100, D25S100 ve D50S66 konularından elde edilirken bu konular arasında da farklılık belirlenmemiştir. Her ne kadar birinci yetiştirme döneminde interaksyonun etkisi olmasa da, ikinci yetiştirme döneminde hem yaş ot hem de kuru ot verim değerleri açısından D25S100 ve D50S66 konuları arasında farklılık belirlenmemesinin önemli bir sonuç olduğu düşünülmektedir. Özellikle suyun kısıtlı olduğu kurak koşullarda yaş ve kuru ot verim değerleri ele alındığında, D50S66 konusunun daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

İki dönem sonunda çalışmadan elde edilen özsu verim değerlerinin 1217.5-7086.8 l da⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Hasat sonunda elde edilen özsu verim değerleri incelendiğinde birinci yetiştirme mevsiminde lateral derinliği ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonunun özsu verim değerlerini etkilediği ($p<0.01$) belirlenirken, ikinci yetiştirme döneminde ise etkisinin olmadığı saptanmıştır. En yüksek özsu verimi D50S100 konusunda belirlenirken, bu konuyu D25S100 ve D50S66 konuları takip etmiş ve bu iki konu arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmamıştır. Birinci yetiştirme dönemi irdelendiğinde, en yüksek özsu verimini elde etmek için 50 cm lateral derinliğinde S66 konusunun daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Her ne kadar ikinci yetiştirme döneminde interaksyonun bir etkisi olmasa da lateral derinliğinin ortalama özsu verimine etkisi olmuş ($p<0.05$) ve 50 cm lateral derinliğinde daha yüksek özsu verimi elde edilmiştir. İkinci yetiştirme mevsimi sonunda farklı sulama konularının ortalama özsu verim değerleri arasında farklılık ($p<0.01$) belirlenirken, uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça özsu verim değerlerinin de arttığı saptanmıştır. Bu çalışmada en yüksek özsu verimi elde etmek 50 cm lateral derinliğinde tam sulama konusu önerilmektedir. Bununla beraber suyun kısıtlı olduğu koşullarda D50S66 konusunun uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmada elde edilen briks değerleri %11-16.23 arasında değiştiği belirlenmiştir. İki yetiştirme mevsiminde de lateral derinliği ve sulama suyu seviyesinin interaksyonu briks değerlerini etkilememiştir ($p<0.05$). Lateral derinliğinin önemli bir etkisi olmasına rağmen iki yetiştirme mevsiminde elde edilen brix ve lateral derinliği arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Buna karşın, iki yetiştirme mevsiminde farklı sulama suyu seviyelerinin ortalama briks değerlerini istatistiksel anlamda ($p<0.01$) etkilediği belirlenmiştir. İki yetiştirme mevsiminde de susuz konuda en az brix değeri belirlenmiştir. Bu çalışmada su stresinin brix değerlerini azalttığı belirlenmiştir. Bununla beraber her iki yetiştirme mevsimi beraber irdelendiğinde, en yüksek brix değeri sulama seviyesi olarak yığışlı kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında bu miktarın %66' sının uygulanması durumunda elde edilmiştir. Biyoetanol üretim amacıyla yetiştirilen sorgum

bitkisinde farklı gelişme dönemlerinde su stresi ve briks değerleri arasındaki ilişki açık değildir. Bu nedenle, bu çalışmada farklı sulama konularında elde edilen briks değerlerinin değişiminin literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Sorgum bitkisinin iki yetiştirme mevsimi sonunda hesaplanan biyoetanol verim değerlerinin 44.1-304.6 l da⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir. Her iki yetiştirme mevsiminde de lateral derinliğinin, lateral derinliği ve sulama seviyesinin interaksyonunun biyoetanol verim değerlerini etkilemediği saptanmıştır. Buna karşın, farklı sulama konularının ortalama biyoetanol verim değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık (p<0.01) belirlenmiştir. Her iki yetiştirme mevsiminin sonunda en yüksek biyoetanol verimi S100 konusunda belirlenirken, ikinci yetiştirme döneminde S66 ve S100 konuları arasında bir farklılık saptanmamıştır. Bu nedenle, Antalya bölgesinde sorgum bitkisi için toprak altı damla sulama yönteminde, sulama suyu seviyesi olarak yığışımlı kıyas bitki su tüketimi 25±5 mm'ye ulaştığında bu miktarın %100'ünün uygulanması durumunda daha yüksek biyoetanol verimi elde edilebileceği bununla beraber suyun kısıtlı olduğu koşullarda söz konusu miktarın %66'sının uygulanabileceği düşünülmektedir. Her ne kadar lateral derinliğinin biyoetanol verim değerlerine etkisi olmasada, rakamsal olarak 50 cm lateral derinliğinde daha yüksek biyoetanol verim değerlerinin hesaplanması, 25 ve 50 cm lateral derinliğinden farklı olarak farklı toprak derinliğine yerleştirilen lateral derinliklerinden elde edilecek verim değerlerinin değişebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada hasattan sonra elde edilen şeker verim değerlerinin 91.3-623.7 kg da⁻¹ arasında değiştiği saptanmıştır. Birinci yetiştirme mevsiminde lateral derinliğinin ve sulama suyu seviyelerinin interaksyonunun şeker verim değerlerini etkilediği (p<0.01) belirlenmiştir. En yüksek şeker verimi D25S100, D50S100, D25S66, D50S66 konularında hesaplanırken bu konular arasında farklılık saptanmamıştır. En az şeker verimi susuz konudan ve D50S33 konusundan elde edilmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde her ne kadar su stresi ve şeker verimi arasında doğrusal bir ilişki belirlenmemiş olsa da su stresinin şeker verimini olumsuz anlamda etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. İkinci yetiştirme mevsiminde ise interaksyonun etkisi olmamasına rağmen, lateral derinliğinin ortalama şeker verim değerlerini istatistiksel anlamda etkilediği (p<0.05) belirlenmiştir. Lateral derinliğinin 50 cm olması durumunda daha yüksek şeker verim değerleri elde edilmiştir. Bununla beraber farklı sulama suyu seviyelerinin de ortalama şeker verim değerlerini etkilediği (p<0.01), en yüksek şeker veriminin ise S100, S66 konularında hesaplandığı saptanmıştır. Ayrıca, S100 ve S66 konuları arasında farklılık belirlenmemiştir. Bu çalışmada elde edilen şeker verim değerleri karşılaştırıldığında, toprak altı damla sulama yönteminde 50 cm lateral derinliğinde sulama suyu seviyesi olarak, yığışımlı kıyas bitki su tüketimi 25±5 mm'ye ulaştığında bu miktarın %100'ünün veya %66'sının uygulanması özellikle kurak koşullarda %66'sının uygulanmasının daha uygun olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber su stresinin şeker verim değerlerini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Nitekim su stresi ve şeker verimi arasındaki ilişki literatürde net değildir. Bu nedenle bu çalışma da elde edilen su stresi ve şeker verimi arasındaki ilişkinin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Her iki dönemde de lateral derinliklerinin, sulama suyu seviyelerinin ve interaksyonlarının glikoz ve fruktoz şekerleri değerlerine bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Buna karşın her iki yetiştirme mevsiminde su stresinin sorgum bitkisinde sakkaroz şekerini azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Her iki yetiştirme

mevsiminde de en yüksek sakkaroz şekeri S100 ve S66 konularından elde edilirken bu iki konu arasında farklılık belirlenmemiştir. Burada en yüksek şeker veriminin S66 ve S100 konularından elde edilmesi önemli bir bulgudur. Bu çalışmada yüksek biyoetanol ve şeker verim değerleri elde etmek için önerilen konuların S66 ve S100 olduğu düşünülürse, sorgum bitkisinde su stresinin, sakkaroz şekeri, şeker ve biyoetanol verim değerlerini olumsuz etkilediği ve bu verim parametrelerinin de birbiri ile ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmada biyoetanol verimi için su kullanım randımanı (WUE_b) ve sulama suyu kullanım randımanı ($IWUE_b$) biyoetanol verimine göre hesaplanmıştır. Su stresinin WUE_b ve $IWUE_b$ değerlerini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada her iki yetiştirme mevsiminde farklı lateral derinlikleri açısından, hesaplanan WUE_b değerleri karşılaştırılmıştır ve sulama seviyesi olarak yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında söz konusu miktarın %100 ve %66' sının uygulanması durumunda 50 cm lateral derinliğinde birim sudan daha fazla biyoetanol verimi elde edilmiştir. Ayrıca, ikinci yetiştirme mevsiminde aynı lateral derinliğinde uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça WUE_b değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Ancak birinci yetiştirme döneminde benzer bir eğilim elde edilmemiştir. Bununla beraber birinci yetiştirme mevsiminde en yüksek WUE_b değeri D50S66 konusunda, ikinci yetiştirme mevsiminde ise D50S100 konusunda belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen $IWUE_b$ değerleri incelendiğinde, her iki mevsimde de uygulanacak sulama suyunun %100'ünün ve %66'sının uygulanması durumunda 50 cm lateral derinliğinde sorgum bitkisinin sulama suyunu daha verimli kullandığı saptanmıştır. Birinci yetiştirme mevsiminde en yüksek $IWUE_b$ D50S66 konusundan elde edilirken ikinci yetiştirme mevsiminde D50S66 ve D50S100 konularından elde edilmiştir. Sorgum bitkisinde su kullanım randımanı ve sulama suyu kullanım randımanının genel olarak 25 cm ile karşılaştırıldığında 50 cm lateral derinliğinde daha yüksek olduğu belirlenirken, sulama suyu seviyesi olarak yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında söz konusu miktarın %66'sının uygulanması önerilmektedir.

Birinci ve ikinci yetiştirme mevsiminde iki farklı derinlikte verim tepki etmeni (k_y) belirlenmiştir. Birinci yetiştirme mevsiminde 1.01 (D25) ve 1.18 (D50), ikinci yetiştirme mevsiminde 0.83 (D25) ve 0.93 (D50) olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada 50 cm lateral derinliğinde bitkilerin fizyolojik olarak daha iyi olduğu ve bu nedenle 50 cm lateral derinliğinde sorgum bitkisinin su stresine daha duyarlı olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada tarla koşullarında 25 ve 50 cm lateral derinliğinde farklı sulama suyu seviyelerinin sorgum bitkisinin gelişmesi ile verim değerlerine etkileri araştırılmıştır. Lateral derinliğinin 50 cm toprak derinliğinde bulunması durumunda her ne kadar istatistiksel olarak farklılık belirlenmemiş olsa da bitkinin gelişim ve verim parametrelerinin rakamsal olarak daha iyi olduğu ve su kullanım, sulama suyu kullanım randımanlarının da daha yüksek olduğu saptanmıştır. Toprak altı damla sulama sisteminde lateral derinliğinin belirlenmesi topraktaki nem içeriğini etkilediğinden oldukça önemlidir. Bu çalışmada farklılık belirlenmemesinin nedeninin sorgumun gelişmiş bir kök yapısına sahip olduğu ve kullanılan iki farklı lateral derinliğinde uygulanan sulama suyundan bitki köklerinin yararlandığı düşünülmektedir. Bununla beraber bu çalışmada 50 cm lateral derinliğinin ön plana çıkması, arazi koşullarında denememeyen farklı lateral derinliklerinin toprak nemini, bitki gelişim ve verim parametrelerini etkileyebileceği düşüncesini desteklemektedir. Bu amaçla tarla

koşullarında uygulanamayan farklı lateral derinlikleri sayısal ortamda oluşturulmuş ve toprak su içeriğine olan etkileri değerlendirilmiştir.

Toprak altı damla sulama sisteminde farklı derinlik senaryolarını değerlendirmek amacıyla HYDRUS/2D programı kullanılmıştır. Programın kalibrasyon ve doğrulama işlemleri gerçekleştirilmiş ve HYDRUS/2D programının toprak su içeriği değerlerini doğru tahmin ettiği ve programın toprak altı damla sulama yönteminin tasarımına katkı sağlayabileceği belirlenmiştir. HYDRUS/2D programı kullanarak tahmin edilen ve ölçülen toprak su içeriği için belirlenen R^2 değerleri, 0.49-0.92, RMSE değerleri 16.76-70.50 mm ve MAE değerleri 16.18-66.36 mm arasında değişmiş ve literatür ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Bununla beraber 25 ve 50 cm lateral derinlikleri irdelendiğinde, programın 50 cm lateral derinliğini daha doğru tahmin ettiği ve 25 cm lateral derinliğinde tarla koşullarında toprak yüzeyinde programın tahmin ettiğinden daha fazla buharlaşma kaybı meydana gelmesinin etkili olabileceği düşünülmüştür.

Sorgum bitkisi için sayısal ortamda 6 farklı lateral derinliği (10, 20, 30, 40, 50, 60 cm) ve 3 farklı sulama seviyesi (yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün, %66'sının ve %33'ünün sulama suyu olarak uygulandığı) oluşturulmuştur. Sorgum bitkisinde toprak altı damla sulama sisteminin tasarımında, 10 ve 20 cm lateral derinliğinde toprak yüzeyinde buharlaşma kaybının fazla olduğu belirlenmiş ve kök bölgesinde homojen bir ıslatma deseni elde edilememiştir. Bununla beraber 60 cm lateral derinliğinde derine sızan su miktarının fazla olduğu ve bitki kök bölgesine yeterli sulama suyunun ulaşmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle 10 20 ve 60 cm lateral derinliği kesinlikle önerilmemektedir. Farklı lateral derinliği ve sulama suyu düzeyleri değerlendirildiğinde, lateralın 40 cm toprak derinliğinde bulunduğu ve sulama seviyesi olarak yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %66'sının sulama suyu olarak uygulanması önerilmektedir. Bu konuda, dönem boyunca derine sızan su miktarının daha az ve kök bölgesinde su alımının en fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, dönem boyunca toprak su içeriği değerlerinin değişiminin bu çalışmada tarla koşullarında belirlenen tarla kapasitesi ve solma noktası arasında değiştiği saptanmıştır. Bununla beraber kök bölgesinde homojen bir su dağılımı elde edilmiştir.

Bu çalışmada toprak altı damla sulama sisteminde uygulanan sulama suyunun ve lateral derinliklerinin toprak altında infiltrasyon sürecini daha detaylı değerlendirmek ve en uygun ıslatma deseni ve dönem boyunca en uygun toprak su içeriği değişimi elde etmek amacıyla farklı su uygulama stratejileri oluşturulmuştur. Üç farklı sulama seviyesinde (yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün, %66'sının ve %33'ünün sulama suyu olarak uygulandığı) farklı derinlik senaryoları oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolarda lateral derinliği olarak 25 ve 50 cm lateral derinliği kullanılmıştır. Bir senaryoda uygulanacak sulama suyu miktarı toprak yüzeyinden 25 ve 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallerin her ikisine aynı anda eşit bölüştürülerek uygulanırken, diğer senaryoda bir sulamada toprak yüzeyinden 25 cm derinliğe diğer sulamada ise 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallere olmak üzere dönüşümlü olarak uygulanmıştır. Bu senaryolarda yığışimli kıyas bitki su tüketimi 25 ± 5 mm'ye ulaştığında, söz konusu miktarın %100'ünün 25 ve 50 cm derinliğe yerleştirilen laterallerin her ikisine aynı anda eşit bölüştürülerek uygulandığı konu önerilmiştir. Bu konuda kök bölgesinde homojen bir ıslatma deseni elde edilmiş ve bitki köklerinde su alımının fazla olduğu saptanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Abid, H.N. and Abid, M.B. 2019. Predicting wetting patterns in soil from a single subsurface drip irrigation system. *Journal of Engineering*, 25 (9): 41-53.
- Acar, R., Akbudak, M.A., Sade, B. 2001. "Sorgum x Sudan otu melezi (silaj amaçlı)", *Konya Ticaret Borsası Dergisi*, s:18-23.
- Addai, K.I and Alimiyawo, M. 2015. Graphical determination of leaf area index and its relationship with growth and yield parameters of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) as affected by fertilizer application. *Journal of Agronomy*, 14 (4): 272-278.
- Ajdary, K., Singh, D.K., Singh, A.K. and Khanna, M. 2005. Simulation of Water Distribution Under Drip Irrigation Using Hydrus-2D. In: XII World Water Congress Water for Sustainable Development-Towards Innovative Solutions, pp. 221-231, 22-25 November, New Delhi, India.
- Al-Hamdani, Safaa H. ve Barger, T. Wayne 2015. Influence of water stress on selected physiological responses of three sorghum genotypes. *Ital. J. Agron*, 7 (1): 15-22.
- Allamine, H.M. 2021. Kısıntılı sulama uygulamalarının dane sorgum bitkisinin su tüketimi, verim ve kalite özelliklerine etkisi. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 56 s.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Fao Irrigation and Drainage Paper, No:56, Rome, pp. 79-81.
- Almodares, A., Aghamiri, A. and Sepahi, A. 1996. Effects of the amount and time of nitrogen fertilization on carbohydrate contents of three sweet sorghum cultivars. *Annual Plant Physiology*, 10: 56-60.
- Almodares, A., Hadi, M.R. and Ahmadpour, H. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agriculture Research*, 4 (9): 772-780.
- Almodares, A., Hotjatabady, R.H. and Mirniam, E. 2012. Effects of drought stress on biomass and carbohydrate contents of two sweet sorghum cultivars. *Journal of Environmental Biology*, 34 (3): 585-589.
- Almodares, A., Sepahi, A., Dalilitajary, H. and Gavami, R. 1994. Effect of phenological stages on biomass and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars *Ann. Plant Physiol*, 8: 42-48.
- Amaducci, S., Colauzzi, M., Battini, F. and Fracasso, A. 2016. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on the production of biogas from maize and sorghum in a water limited environment. *European Journal of Agronomy*, 76: 54-65.
- Angelakis, A.N., Rolston, D.E., Kadir, T.N. and Scott, V.H. 1993. Soil-water distribution under trickle source. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119 (3): 484-500.
- Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 2026-2032.

- Anlauf, R., Rehrmann, P. and 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.
- Audilakshmi, S., Mall, A.K., Swarnalatha, M. and Seetharama, N. 2010. Inheritance of sugar concentration in stalk (briks), sucrose content, stalk and juice yield in sorghum. *Biomass and Bioenergy*, 34 (6): 813-820.
- Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, K.R., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S., 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.
- Aydinsakir, K., Buyuktas, D., Dinç, N., Erdurmus, C., Bayram, E. and Yegin, A.B. 2021. Yield and bioethanol productivity of sorghum under surface and subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 243: 1-13.
- Balat, M. 2010. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management*, 52 (2): 858-875.
- Balat, M. and Balat, H. 2009. Recent trends in global production and utilization of bioethanol fuel. *Applied Energy*, 86 (11): 2273-2282.
- Bayraç, H.N. 2010. Enerji kullanımının küresel ısınmaya etkisi ve önleyici politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11 (2): 229-259.
- Bayram, G. and Turgut, İ. 2015. Biyoetanol kaynağı olarak şeker darı (sorghum bicolor ssp. saccharatum) üretimi ve önemi. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29 (1): 147-155.
- Ben-Asher, J. and Phene, C.J. 1996. Surface and subsurface drip irrigation: An analysis by a numerical model. Res. Rep. Jacob Blaustein Inst. for Desert Res.
- Bengisu, G. 2014. Alternatif yakıt kaynağı olarak biyoetanol. *Alinteri Ziraat Bilimler Dergisi*, 27 (2): 43-52.
- Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1965. Bulk density. In Methods of Soil Analysis, Part 1-Physical and Mineralogical Methods. In: A. Klute (ed.) Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. 2nd Edition Madison, pp. 363-382.
- 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 (1-2): 153-165.
- Broecker, W.S. 1975. Climatic change: are we on the brink of a pronounced global warming. *Science*, 189 (4201): 460-463.
- Büyüktas, D. ve Havgören, F. 2005. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Aksu birimi topraklarının toprak-su karakteristik eğrisi parametrelerinin belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (1): 101-106.
- Camp, C. R. 1998. Subsurface drip irrigation: A review. *Trans. ASAE* 41(5): 1353-1367.

- Camp, C.R., Lamm, F.R., Evans, R.G. and Phene, C.J. 2000. Subsurface Drip Irrigation: Past, Present and Future. In proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium, pp. 363-372, November, Phoenix, Arizona.
- Campi, P., Navarro, A., Palumbo, D., Solimando, M., Lonigro, A. and Mastrorilli, M. 2014. Productivity of energy sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. *Italian Journal of Agronomy*, 9 (3): 115-119.
- Canan, S ve Ceyhan V. 2017. Türkiye’de biyokütle fiyatındaki değişimin biyoetanol maliyeti üzerine etkileri. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 32 (1):16-22.
- Chopra, R.K. 1982. Technical guideline for sorghum and millet seed production. Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, pp. 110.
- Cole, M.R., Eggleston, G., Petrie, E., Uchimiya, M. and Dalley, C. 2017. Cultivar and maturity effects on the quality attributes and ethanol potential of sweet sorghum. *Biomass and Bioenergy*, 96: 183-192.
- Cook, F.J., Thorburn, P.J., Fitch, P. and Bristow, K.L. 2003. Wet up: A soft ware tool to display approximate wetting pattern from drippers. *Irrigation Science*, 22 (3): 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 (3-4): 143-156.
- Curt, M.D., Fernandez, J. and Martinez, M. 1995. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (sorghum bicolor (L.) moench) cv. “keller” in relation to water regime. *Biomass and Bioenergy*, 8(6): 401-409.
- Curt, M.D., Fernandez, J., Gonzalez, J. and Gil, J.L. 2000. Comparative growth analysis of two sorghum cultivars in Badajoz, Spain. In: Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry, 1877–1880.
- Dalla Marta, A., Mancini, M., Orlando, F., Natali, F., Capecchi, L. and Orlandini, S. 2014. Sweet sorghum for bioethanol production: Crop responses to different water stress levels. *Biomass and energy*, 64: 211–219.
- Davila-Gomez, F.J., Chuck-Hernandez, C., Perez-Carrillo, E., Rooney, W.L. and Serna-Saldivar, S.O. 2011. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (Sorghum bicolor (L) moench). *Industrial Crops and Products*, 33 (3): 611-616.
- Demiralay, İ. 1977. Toprak Fiziği. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınları: 38, Ders Kitabı, Erzurum.
- Demirel, K. 2014. Toprak nem değişiminin HYDRUS programı yardımıyla modellenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2 (2): 1-81.
- Dercas, N. and Liakatas, A. 2006. Water and radiation effect on sweet sorghum productivity. *Water Resour Manage*, 21 (9): 1585-1600.
- Dhaka M., Charles P. West, Sanjit K. Deb, Geeta Kharel, and Glen L.Ritchie 2019. Field calibration of PR2 capacitance probe in Pullman clay-loam soil of southern high plains. *Agrosyst. Geosci. Environ.* 2: 180043

- Doorenbos J. ve Pruitt W.O. 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, 2st edition., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 156p.
- DSİ. 2022. Toprak ve su kaynakları. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754> [Son erişim tarihi: 27.06.2022].
- Dukes, M.D. and Scholberg, J.M. 2005. Soil moisture controlled subsurface drip irrigation on sandy soils. *Applied Engineering in Agriculture*, 21 (1): 89-101.
- Dündar, M. and Ünlü, M. 2019. Kısıntılı sulama tekniğinin ikinci ürün tatlı sorgumun biyokütle ve biyoetanol verimine etkilerinin araştırılması. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 38 (3): 77-86.
- Ekefre, D.E., Mahapatra, A.K., Jr., M.L., Bellmer, D., Jena, U., Whitehead, G. and Williams, A. 2017. Evaluation of three cultivars of sweet sorghum as feed stocks for ethanol production in the Southeast United States. *Heliyon*, 2405–8440.
- El Bassam, N. 2010. Handbook of bioenergy crops. <https://nishat2013.files.wordpress.com/2013/11/handbook-of-bioenergy-crops.pdf> [Son erişim tarihi: 11.10.2021].
- El Nesr, M.C. 2019. Using HYDRUS-2D model to assess the optimal drip lateral depth for Eggplant crop in a sandy loam soil of central Tunisia. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162: 189–205.
- El-Berry, A.M. 1989. Design and utilization of subsurface drip irrigation system for fodder production in arid lands. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 6 (2): 153-165.
- Elings, A. 2000. Estimation of leaf area in tropical maize. *Agronomy Journal*, 92 (3): 436-444.
- El-Nesr, N., M., Alazba, A.A. and Simunek, J. 2013. HYDRUS simulations of the effects of dual-drip subsurface irrigation and a physical barrier on water movement and solute transport in soils. *Irrigation Science*, 32 (2): 111-125.
- EPDK 2011. 27 Eylül 2011 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan 28067 Sayılı Tebliğ.
- Erdurmuş, C., Erdal, S., Oten, M., Kiremitçi, S. and Uzun, B. 2021. Investigation of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes for yield and yield components. *Maydica Electronic Publication*, 66 (2): 1-13.
- Erkan, S., Coban, H. and Turhan, I. 2022. Evaluation of the inhibitory effect of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) on ethanol fermentation by using immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in stirred-tank bioreactor and mathematical modeling. *Fuel*, 317 (14): 123499.
- FAO, 2012. Crop yield response to water. <https://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-475-Steduto-et-al-Crop-yield.pdf> [Son erişim tarihi: 21.12.2021].
- Faostat 2020. Food and agriculture data.
- Feddes, R.A., Kowalik, P., Kolinska-Malinka, K. and Zaradny, H. 1976. Simulation of field water uptake by plants using a soil-water dependent root extraction function. *J. Hydrol*, 31 (1-2): 13-26.

- Feddes, R.A., Kowalik, P. and Zaradny, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. John Wiley & Sons.
- Gardenas, A.I., Hopmans, J.W., Hanson, B.R. and Simunek, J. 2005. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural Water Management*, 74 (3): 219-242.
- Gardner, W.H. 1986. Water content in methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. *American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc.*, Madison, WI, 493-544.
- Garofalo, P and Rinaldi, M. 2013. Water-use efficiency of irrigated biomass sorghum in a Mediterranean environment. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11 (4): 1153-1169.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis in Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods. *In: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America*. 2nd Edition Madison: 383-411.
- Germec, M., Ozcan, A., Yilmazer, C., Tas, N., Onuk, Z., Demirel, F. and Turhan, I. 2017. Ethanol fermentation from microwave-assisted acid pretreated raw materials by *Scheffersomyces stipitis*. *AgroLife Scientific Journal*, 6 (1): 112-118.
- 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. *Italian Journal of Agrometeorology*, 21 (1): 47-58).
- Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı 2017. Türkiye’de sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri, Ankara, 600 s.
- Goldemberg, J. 2007. Ethanol for a Sustainable Energy Future. *Science*, 315 (5813): 808-810.
- Gomez, K.A. and Gomez, A.A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAR208.pdf [Son erişim tarihi: 08.05.2021].
- Grabow, G.L., Huffman, R.L., Evans, R.O., Jordan, D.L. and Nuti, R.C. 2006. Water distribution from subsurface drip irrigation system and dripline spacing effect on cotton yield and water use efficiency in a coastal plain soil. *Transactions of the ASABE*, 49 (6): 1823–1835.
- Grassi, G. 2000. Bioethanol: industrial world perspectives. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:31041771 [Son erişim tarihi: 17.07.2021].
- Güngör, Y., Yıldırım, O. 1989. Tarla Sulama Sistemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1155 s.
- Houghton, J.T., Jenkins, G.J. and Ephraums, J.J. 1990. Climate change- the IPCC scientific assessment. *Cambridge University Press*, Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia 410 s.
- Howell, T.A., Tolk, J.A., Evett, S.R., Copeland, K.S. and Dusek, D.A. 2007. Evapotranspiration of deficit irrigated sorghum. Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress, pp. 1-10, May 15-19, Tampa, Florida.

- Hubbard N.L., Huber C.H., Pharr D.M. 1989. Sucrose phosphate synthase and acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelons (*Cucumis melo* L.) fruits. *Plant Physiol.*, 91; 127-134.
- Hunter, E.L. 1994. Development, sugar yield, and ethanol potential of sweet sorghum. Master of science, Iowa State University, Ames Iowa, pp. 114.
- IAEA 2008. Field estimation of soil water content. Training Course Series No. 30, 2–8.
- IPCC 2021. Climate change 2021 the physical science basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp.120.
- İsmail, S., Zien El-Abedin, T.K., Wassif, M.A. and El-Nesr. M.N. 2006. Physical and hydraulic barriers under surface and subsurface drip irrigation systems. *The 14th Annual Conference of Misr Society of Agr. Eng.* 23 (4): 1021-1076.
- James, L.G. 1988. Principles of farm irrigation system design. John Wiley & Sons Inc. Washington State University, pp.543
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri 3: Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları: 3, Ankara, 705 s.
- Kanber, R. 2002. Sulama. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 174, Ders Kitapları, Adana, 530 s.
- Kanber, R., Baştuğ, R., Büyüktaş, D., Ünlü, M. and Kapur, B. 2010. Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynakları ve Tarımsal Sulamaya Etkileri. TMMOB Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı, ss. 83-118. 11-15 Ocak, Ankara.
- Kandelous, M.M. and Simunek, J. 2010a. Comparison of numerical, analytical, and empirical models to estimate wetting patterns for surface and subsurface drip irrigation. *Irrigation Science*, 28 (5): 435-444.
- Kandelous, M.M. and Simunek, J. 2010b. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. *Agricultural Water Management*, 97 (7): 1070-1076.
- Kandelous, M.M., Liaghat, A. and Abbasi, F. 2008. Estimation of soil moisture pattern in subsurface drip irrigation using dimensional analysis method. *Journal of Agricultural Science*, 39 (2): 371-378.
- Kandelous, M.M., Simunek, J., Van Genuchten, M.T. 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.
- Kannah, R.Y., Sivashanmugham, P., Kavitha, S. and Banu, J.R.B. 2020. Valorization of food waste for bioethanol and biobutanol production. *In: Food Waste to Valuable Resources*. 39–73.
- Kirda, C. 2002. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In: Deficit irrigation practices-FAO24. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 3–10.

- Kırda, C. and Sarıyev, A. 2012. Toprak fiziği, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 79, Ders kitabı, Adana, 188 s.
- Kırnak, H., Demirtaş, M.N., 2002. Su stresi altındaki kiraz fidanlarında fizyolojik ve morfolojik değişimlerin belirlenmesi. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi*, 33(3): 265-270.
- 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. Master of Science, North Carolina State University, North Carolina, pp. 124.
- Korukçu, A., Kanber, R., (1981). Su-verim ilişkileri. Topraksu Arastırma Ana Projesi. (435):1. Tarsus.
- Kramer, P.J. 1983. Water relations of plants. New York: Academic Press.
- Kulute, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. İçinde: Klute A (ed) Methods of Soil Analysis. Klute A (ed) Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods, ASA and SSSA. Madison, 635–662.
- Lal, R. 2008. Crop residues as soil amendments and feedstock for bioethanol production. *Waste Management*, 28 (4): 747–758.
- Lamm, F.R., Kheira, A.A.A. and Trooien, T. 2012. Sunflower, soybean, and grain sorghum crop production as affected by dripline depth. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 26 (5): 873-882.
- 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.
- Legates, D.R., McCabe, G.J., 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, 35 (1): 233-241.
- Li, J., Zhang, J. and Rao, M. 2005. Modeling of water flow and nitrate transport under surface drip fertigation. *Trans. ASAE*, 48 (2): 627-637.
- Lingle S.E., 1987. Sucrose metabolism in the primary culm of sweet sorghum during development. *Cop Sci.*, 27: 1214-1219.
- Liu, L., Maier, A., Klocke, N., Yan, S., Rogers, D., Tesso, T. and Wang, D. 2013. Impact of deficit irrigation on sorghum physical and chemical properties and ethanol yield. *Transactions of the ASABE*, 56 (4): 1541-1549.
- Looney, B. 2021. Statistical Review of World Energy 2021. <https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> [Son erişim tarihi: 22.12.2021].
- Lueschen, W.E., Putnam, D.H., Kanne, B.K. and Hoverstad, T.R. 1991. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of Production Agriculture*, 4 (4): 619-625.

- Manyathi, T. 2014. Water productivity of selected sorghum varieties. https://ukzn-dspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/12557/Manyathi_Thobeka_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Son erişim tarihi: 23.04.2021].
- Massacci, A., Battistelli, A. and Loreto, F. 1996. Effect of drought stress on photosynthetic characteristics, growth and sugar accumulation of field-grown sweet sorghum. *Aust J Plant Physiol*, 23: 331–340.
- Mastrorilli, M., Campi, P., Palumbo, A., Navarro, F., Modugno, F. and Turci, V. 2011. Water use efficiency of sorghum cultivated for energy in Mediterranean environments. In: 19th European biomass conference and exhibition. 2011.
- Mastrorilli, M., Kate, N., Rana, G. and Steduto, P. 1995. Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies. *Industrial Crops and Products*, 3 (1995): 253-260.
- Mastrorilli, M., Katerji, N. and Gianfranco, R. 1999. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. *European Journal of Agronomy*, 11 (1999): 207-215.
- Melikoğlu, M. and Albostan, A. 2011. Türkiye’de biyoetanol üretimi ve potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (1): 151-160.
- Mengistu, M.G., Steyn, J.M., Kunz, R., Doidge, I., Hlophe, H.B., Everson, C.S., Jewitt, G.P.W. and Clulow, A.D. 2016. A preliminary investigation of the water use efficiency of sweet sorghum for biofuel in South Africa. *Water S.A.*, 42 (1): 152-160.
- Miller, A.N. and Ottman, M.J. 2012. Irrigation frequency effects on growth and ethanol yield in sweet sorghum. *Agronomy Journal*, 102 (1): 60-70.
- Miron D., Schaffer A., 1991. Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and the sucrose accumulation of *Lycopersicon hirsutum* Humb. and bonpl. *Plant Physiol.*, 95; 623-627.
- Mmolawa, K. and Or, D. 2000. Water and solute dynamics under a drip-irrigated crop: Experiments and analytical model. *Trans. ASAE*, 43 (6): 1597-1608.
- Moncef, H., Hedi, D., Jelloul, B. and Mohamed, M. 2002. Approach for predicting the wetting front depth beneath a surface point source: Theory and numerical aspect. *Irrigation and Drainage*, 51 (4): 347-360.
- Morales, F., Ancín, M., Fakhret, D., González-Torralba, J., Gámez, A. L., Seminario, A., Soba, D., Ben Mariem, S., Garriga, M., Aranjuelo, I. 2020. Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a bases for crop breeding and yield improvement. *Plants*, 9 (1): 88.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G.; Van Liew, M. W., Bingner, R. L.; Harmel, R. D., Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. *Trans. ASABE*, 50 (3): 885–900.
- Mualem, Y. 1976. A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12 (3): 513–522.

- Murray, S.C., Rooney, W.L., Martha, T., Hamblin, M.T., Sharon, E., Mitchell, S.E., Kresovich, S. 2009. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for briks and height. *Plant Genome*, 2:48-62.
- Murty, D.S., Tabo, R. and Ajayi, O. 1994. Sorghum hybrid seed production and management. *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*, 41 67.
- Mygdakos, E., Papanikolaou, C. and Sakellariou-Makrantonaki, M. 2009. Sorghum economics under different irrigation methods and water doses. *New Medit*, 8 (4): 47-54.
- OECD-FAO 2021. Agricultural outlook 2021-2030. <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/cb5332en.pdf> [Son erişim tarihi: 24.11.2021].
- Oliveira, J.P.V.D, Duarte, V.P, Castro, E.M.D, Magalhães, P.C, Pereira, F.J, 2022. Stomatal cavity modulates the gas exchange of Sorghum bicolor (L.) Moench. grown under different water levels. 259:1081–1097.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L.P. 2014. Response of plants to water stress. *Front Plant Science*, 5: 86.
- Öztürk, H. 2012. Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi. Hasad Yayıncılık: 300, İstanbul, 272 s.
- Papanikolaou, C. and Sakellariou-Makrantonaki, M. 2013. The effect of an intelligent surface drip irrigation method on sorghum biomass, energy and water savings. *Irrigation Science*, 31 (4): 807-814.
- Philip, J.R. 1984. Travel-times from buried and surface infiltration point sources. *Water Resources Research*, 20 (7): 990-994.
- Prasad, S., Singh, A., Jain, N. and Joshi, H.C. 2007. Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuels in India. *Energy & Fuels*, 21 (4): 2415-2420.
- Provenzano, G. 2007. Using HYDRUS-2D simulation model to evaluate wetted soil volume in subsurface drip irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133 (4): 342-349.
- Qu, H., Liu, X.B., Dong, C.F., Lu, X.Y. and Shen, Y.X. 2014. Field performance and nutritive value of sweet sorghum in eastern China. *Field Crops Research*, 157: 84-88.
- Reddy, B.V.S., Kumar, A.A. and Reddy, P.S. 2008. Sweet Sorghum: A Dryland Adapted Bioethanol Feedstock Yielding Both Grain and Fuel. Proceedings of the 5th International Conference on Biofuels, New Delhi, 50–57.
- Reddy, B.V.S., Ramesh, S., Reddy, P., Ramaiah, B., Salimath, P., and Kachapur, R. 2005. Sweet sorghum-a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter*, 46: 79-86.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf [Son erişim tarihi: 11.10.2020].

- Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research*, 8 (5): 1204-1213.
- Roman, G.V., Mitroi, A., Roman Ana, M., Ion, V., Dumbrava, M., 1998. Sweet sorghum an energetical crop of the future in Romania. In: Proceedings of the 10th European Conference on Biomass for Energy and Industry, 8–11 June, pp. 1039-1041 C.A.R.M.E.N., Wurzburg, Germany.
- Romero, P. 2004. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant and Soil*, 260 (1): 169-181.
- Rosenthal, W.D., Arkin, G.F., Shouse, P.J. and Jordan, W.R. 1987. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. *Agronomy Journal*, 79: 1019-1026.
- Sakaguchi, A., Yanai, Y. and Sasaki, H. 2019. Subsurface irrigation system design for vegetable production using HYDRUS-2D. *Agricultural Water Management*, 219: 12-18.
- Sakellariou-Makrantonaki, M. Papalexis, D., Nakos, N., Dassios, S., Chatzinikos, A., Papanikos, N. and Danalatos, N. 2006. Potential and water-limited growth and productivity of fiber sorghum in Central Greece irrigated by surface and subsurface drip methods on a rainy and a dry year. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.545.6245&rep=rep1&type=pdf> [Son erişim tarihi: 02.09.2021].
- Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N. and Kalavrouziotis, I. 2007. Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. *Agricultural Water Management*, 90 (3): 181-189.
- Schmitz, G.H., Schutze, N. and Petersohn, U. 2002. New strategy for optimizing water application under trickle irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128 (5): 287-297.
- Schwartzman, M. and Zur, B. 1986. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 112 (3): 242–253.
- Shan, G., Y. Sun, H., Zhou, P., Schulze Lammers, D. A. Grantz, X.X. and Wang, Z. 2019. A horizontal mobile dielectric sensor to assess dynamic soil water content and flows: Direct measurements under drip irrigation compared with HYDRUS-2D model simulation. *Biosystems Engineering*, 179 (2): 13-21.
- Silva, K.M.J., Aspiazu, I., Portugal, A.F., Oliveira, R.M., Oliveira, P.M., Santos, S.R., Alves, J.A.A. 2016. Determination of soil water tension for irrigation management of sweet sorghum. *Semina: Ciências Agrárias*. Londrina, 37(3): 1189-1200.
- Simunek, J. and Vos, J.A. de 1999. Inverse optimization, calibration and validation of simulation models at the field scale. http://www.pc-progress.com/documents/jirka/simunek_and_de_vos_leuven_1999.pdf [Son erişim tarihi: 21.05.2020].
- Simunek, J., Köhne, M.J., Kodesova, R. and Sejna, M. 2008. Simulating nonequilibrium movement of water, solutes and particles using HYDRUS- a review of recent applications. *Soil & Water Res*, 3 (1): 42-51.

- Simunek, J., Sejna, M. and Van Genuchten, M.T. 1998. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media.
- Simunek, J., Sejna, M. and Van Genuchten, M.T. 1999. The HYDRUS/2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media.
- Simunek, J., Sejna, M., Genuchten, V. and M.Th. 2012. HYDRUS: Model use, calibration, and validation. *Transactions of ASABE*, 55 (3): 1263-1276.
- Singh, D.K., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N. and Ahmad, T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agricultural Water Management*, 83 (1-2): 130-134.
- 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.
- Smith, C.W. and Frederiksen, R.A. 2000. Sorghum: Origin, History, Technology and Production, John Wiley Sons, New York, 325 p.
- Smith, G., Buxton, D. R. 1993. Temperate zone sweet sorghum ethanol production potential. *Bioresource Technology*, 43: 71-75.
- Smith, G.A., Bagby, M.O., Lewellan, R.T., D.L., D., Moore, P.H. and Hills, F.J. 1987. Evaluation of sweet sorghum for fermentable sugar production potential. *Crop Science*, 27 (4): 788-793.
- Smith, M. and Steduto, P. 2012. Yield response to water: the original FAO water production function. In: P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres, and D. Raes (eds.) Crop yield response to water-FAO66. Rome: FAO, 6-13.
- Squire, G.. 1990. Effects of changes in climate and physiology around the dry limits of agriculture in the tropics. *Climatic change and plant genetic resources*, 47-116.
- Stewart, B.A. and Musick, J.T. 1982. Conjunctive use of irrigation and rainfall in semiarid regions. *Advances in Agronomy*, 1: 1-23.
- Stewart, J.I., Hagan, R.M., Pruitt, W.O., Danielson, R.E., Franklin, W.T. and Hanks, R.J. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah: Utah Water Lab.
- Subramanian, S.K. 2013. Agronomical, physiological and biochemical approaches to characterize sweet sorghum genotypes for biofuel production. M.S., Tamil Nadu Agricultural University, India, 2003. An abstract of a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree, Doctor of Philosophy. Department of Agronomy College of Agriculture. Kansas State University, Manhattan, Kansas, pp.205.
- T.C çevre şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığı 2021. İklim değişikliği.
- Tarpley L., Lingle S.E., Vietor D.M., Andrews D.L., Miller F.R., 1994. Enzymatic control of nonstructural carbohydrate concentrations in stem and panicles of sorghum. *Crop Sci.*, 33; 446-452.

- Thomson, T.L., Huan Cheng, P. and Yu-Yi, L. 2009. The potential contribution of subsurface drip irrigation to water-saving agriculture in the Western USA. *Agricultural Sciences in China*, 8 (7): 850-854.
- Topp, G.C. 2003. State of the art of measuring soil water content. *Hydrological Processes*, 17 (14): 2993-2996.
- TUİK 2021. Sera gazı emisyon istatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862>
- Turhan, I., Bialka, K.L., Demirci, A. and Karhan, M. 2010. Ethanol production from carob extract by using *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*, 101 (14): 5290-5296.
- Turner, N.C. 1974. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. *Plant Physiol*, 53 (3): 360-365.
- Van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44 (5): 892-898.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K., Karagiannidis, N. and Gatsis, T. 2011. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Field Crops Research*, 120 (1): 38-46.
- Volaire F., Thomas H., 1995. Effects of drought on water relations, mineral uptake, water-soluble carbohydrate accumulation and survival of two contrasting populations of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Annals of Botany*, 75; 513-524.
- Vrugt, J.A., Hopmans, J.W. and Simunek, J. 2001. Calibration of a two dimensional root water uptake model. *Soil Science Society of America Journal*, 65 (4): 1027-1037.
- Wani, S.P. 2012. Sorghum. In: P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres, and D. Raes (eds.) Crop yield response to water-FAO66. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 66, 144-153.
- Warrick, A.W. and Shani, U. 1996. Soil-limiting flow from subsurface emitters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 122 (5): 296-300.
- Wiedenfeld, R.P. 1984. Nutrient requirements and use efficiency by sweet sorghum. *Energy in Agriculture*, 3 (1): 49-59.
- Wittenberg, E. 2007. Preliminary evaluation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) as a feedstock for ethanol production in Arizona. Univ. of Arizona, Tucson.
- Wu, X., Staggenborg, S., Propheter, J.L., Rooney, W.L., Yu, J. and Wang, D. 2010. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. *Industrial Crops and Products*, 31 (1): 164-170.
- Wuebbles, D.J. and Jain, A.K. 2001. Concerns about climate change and the role of fossil fuel use. *Fuel Processing Technology*, 71 (1-3): 99-119.
- Xie, T. and Su, P. 2012. Canopy and leaf photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under drought stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59 (2): 224-234.

- Yıldırım, O. 2013. Sulama sistemlerinin tasarımı. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 4, Ders Kitabı, Ankara, 72 s.
- Yücel, D., Yücel, C., Karaağaç, H.A., Çakır, B. and Hatipoğlu, R. 2020. Adana koşullarında tatlı sorgumun biyokütle ve biyoetanol potansiyelinin belirlenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed & Refereed*, 8 (9): 2667-6702.
- Zegada, W., Zatta, A. and Monti, A. 2011. Water uptake efficiency and above-and belowground biomass development of sweet sorghum and maize under different water regimes. *Plant and Soil*, 351 (1-2): 47-60.
- Zegada-Lizarazu, W. and Monti, A. 2012. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. *Biomass and Bioenergy*, 40: 1-12.



ÖZGEÇMİŞ

Begüm POLAT

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2016-2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Yüksek Lisans 2013-2016	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Lisans 2007-2013	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2014-Devam Ediyor	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya
Araştırma Görevlisi 2013-2014	Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Polat B., Karaca C., Aydınşakir K., Büyüктаş D., Baştuğ R. 2021. Comparison of response of soybean irrigated by surface and subsurface drip irrigation method to deficit irrigation using canopy temperature under the Mediterranean conditions. *Mustafa Kemal University Journal of Agricultural Sciences*, 26 (2): 228-237.
- 2- Karaca C., Aslan G.E., Polat B., Büyüктаş D. 2021. Non-destructive estimation of chlorophyll content of peanuts grown at different soil texture and salinity levels. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34(3): 301-305.
- 3- Karaca C., Aydınşakir K., Dinç N., Büyüктаş D., Baştuğ R., Polat B. 2018. Comparison of measured and estimated evapotranspiration of pomegranate grown under mediterranean conditions. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 140-150.
- 4- Karaca C., Büyüктаş D., Baştuğ R., Aydınşakir K., Tekelioğlu B. 2017. Antalya koşullarında kıyas bitki su tüketiminin alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesi. *Derim*, 34(2): 158-171
- 5- Karaca C., Büyüктаş D., Tekelioğlu B. 2017. Kıyas bitki su tüketiminin (ET_o) hesaplanması amacıyla kullanılan bilgisayar yazılımlarının karşılaştırması. *Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research*, 6:118-128.
- 6- Karaca C., Tekelioğlu B., Büyüктаş D. Sürdürülebilir tarımsal üretim için toprak nem sensörlerinin etkin kullanımı. *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2: 33-41.
- 7- Karaca C., Tekelioğlu B., Büyüктаş D., Baştuğ R. 2017. Kıyas bitki su tüketiminin hesaplanmasında kullanılan eşitliklerin değerlendirilmesi. *Academia Journal of Engineering and Applied Sciences*, 144-161.
- 8- Karaca C., Tekelioğlu B., Büyüктаş D. 2017. Assessment of the equations computing reference crop evapotranspiration. *Int. Congr. Agric. Environment*, 2: 101.
- 9- Tekelioğlu B., Büyüктаş D., Karaca C., Baştuğ R., Dinç N., Aydınşakir K. 2017. Infrared termometre tekniğinin nar (*Punica granatum* L.) ağaçlarında sulama programlaması amacıyla kullanım olanakları. *Derim*, 34(1):61-71.

Ulusal/Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Polat B., Büyüктаş D., Baştuğ R., Aydınşakir K., Karaca C., Dinç N. 2018. Bitki Su Stresi İndeksini (CWSI) Belirlemede Kullanılan Yöntemlerin Nar Ağacı ve Soya Bitkisinde Karşılaştırılması. 1st International, 14th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation. ss. 395, 26-28 Eylül, Antalya.

- 2- Polat B., Büyüktaş D., Baştuğ R., Aydınşakir K., Karaca C., Dinç N. 2018. Comparing Canopy Temperature of Soybean Irrigated by Surface and Subsurface Drip Irrigation Method under Mediterranean Conditions. 4. international Congress On Water, Waste And Energy Management, ss.1, Madrid, İspanya.
- 3- Karaca C., Köksal A., Dinç N., Büyüktaş D., Baştuğ R., Polat B. 2018. Comparison of Measured Soil Water Content with Three Different Soil Moisture Sensor. 4. international, 14th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation, ss.642, Madrid, İspanya.
- 4- Karaca C., Tekelioğlu B., Büyüktaş D. 2017. Relations Between Crop Water Stress Index (CWSI) and Stomatal Conductance of Soybean Depending on Cultivars. 2nd International Balkan Agriculture Congress, ss.640, 16-18 Mayıs 2017, Tekirdağ.
- 5- Tekelioğlu B., Büyüktaş D., Baştuğ R., Aydınşakir K., Dinç N., Karaca C. 2017. Use of Crop Water Stress Index for Irrigation Scheduling of Soybean. International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, ss. 619, 15-17 Mayıs, Nevşehir.
- 6- Tekelioğlu B., Büyüktaş D., Aydınşakir K., Dinç N., Baştuğ R., Karaca C. 2016. Soya fasülyesinde taç örtüsü sıcaklığı ve bitki su stresi indeksi (CWSI) değerlerinin çeşitlere bağlı olarak değişiminin irdelenmesi. 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, Antalya, Türkiye, ss.302-309, 12-15 Nisan 2016, Antalya.