



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**FARKLI SULAMA DÜZEYLERİNİN MISIRIN KÖK GELİŞİMİNE VE SU
KULLANIM ETKİNLİĞİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERYEM GÜL

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. MUHARREM YETİŞ YAVUZ

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**FARKLI SULAMA DÜZEYLERİNİN MISIRIN KÖK GELİŞİMİNE VE SU
KULLANIM ETKİNLİĞİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERYEM GÜL

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. MUHARREM YETİŞ YAVUZ

BU ÇALIŞMA, ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL
ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ TARAFINDAN
DESTEKLENMİŞTİR.

PROJE NO: FYL-2019-2944

ÇANAKKALE – 2022



ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Meryem GÜL

10/01/2022

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Muharrem Yetiş YAVUZ'a, çalıŐmamın her aŐamasında manevi destek gÖsteren ve bana yardımcı olan sevgili eŐim Mehmet GÜL'e, ocuklarım Sıla GÜL ve Mete GÜL'e ve bu konuda hayatıma dokunan herkese, beni bu günlere getiren annem ve babama sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Meryem GÜL
anakkale, Ocak 2022

ÖZET

FARKLI SULAMA DÜZEYLERİNİN MISIRIN KÖK GELİŞİMİNE VE SU KULLANIM ETKİNLİĞİNE ETKİSİ

Meryem GÜL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Muharrem Yetiş YAVUZ

10/01/2022, 42

Sulama suyu miktarı hesabında etkili kök derinliği önemli hesaplama girdilerinden biridir ve toprakta ıslatılan derinliği ifade etmektedir. Sulama suyunun ekonomik kullanımının yanı sıra taban suyu ve tuzluluk sorunu oluşturmamak için etkili kök derinliğinin doğru olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile farklı sulama düzeylerinin mısırın (*Zea mays*) kök gelişimine ve verimine olan etkisi araştırılmıştır. Deneme 2019 yılında ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dardanos Araştırma ve Uygulama Merkezinde yürütülmüştür. Deneme, bölünmüş parseller deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede 90 cm'lik toprak profilinde ölçülen eksik nem miktarının %100 (S1); %80 (S2); %60 (S3); %40 (S4); %0'ının (S5) sulama suyu olarak uygulandığı beş sulama düzeyi vardır. Denemede konulara sırası ile 546 mm (S1); 455,6 mm (S2); 365,2 mm (S3); 274,8 mm (S4) ve 94 mm (S5) sulama suyu uygulanmıştır. Konularda gerçekleşen mevsimlik bitki su tüketimi 754,9 mm (S1); 671,71 mm (S2); 585,39 mm (S3); 519,44 mm (S4) ve 341,66 mm (S5) olmuştur. Sulama düzeylerinin toplam kök uzunluklarına etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur ($P=0,0762$). Konularda en yüksek toplam kök uzunluğu 3879,77 cm ile S4 ve en düşük 2525,11 cm ile S5 konularında tespit edilmiştir. Konularda toplam kök yüzey alanlarının derinliğe göre farkları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P=0,0079$). Ayrıca konularda derinliğe göre kök yüzey alanlarının dağılımı istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($P<0,0001$). En yüksek toplam kök yüzey alanı 187,71 cm² ile S2 ve en düşük 110,18 cm² ile S5 konularında tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Damla Sulama, Mısır Etkili Kök Derinliği, Bitki Su Tüketimi

ABSTRACT
**THE EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION LEVELS ON CORN ROOT
DEVELOPMENT AND WATER USE EFFICIENCY**

Meryem GÜL

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Department of Agricultural Structures and Irrigation

Advisor: Associate Professor Muharrem Yetiş YAVUZ

10/01/2022, 42

The effective rooting depth is one of the most important inputs in calculating the amount of irrigation water and it refers to the wetted depth in the soil. In addition to the economical use of irrigation water, the effective root depth must be determined accurately in order to avoid groundwater and salinity problems. In this study, the effect of different irrigation levels on root growth and yield of corn plants (*Zea mays*) was investigated. The trial was carried out at ÇOMÜ Faculty of Agriculture Dardanos Research and Application Center in 2019. The experiment was conducted according to the split-plot design with three replications. Irrigation water was applied according to the amount of moisture lost within the 90 cm of soil profile. There are five irrigation levels, which are; 100% (S1); 80% (S2); 60% (S3); 40% (S4); 0% (S5); Irrigation amounts applied to treatments as follows; 546 mm (S1), 455,6 mm (S2); 365.2 mm (S3); 274.8 mm (S4) and 94 mm (S5). Seasonal plant water consumption was 754.9 mm (S1); 671.71 mm (S2); 585.39 mm (S3); 519.44 mm (S4) and 341.66 mm (S5). The effect of irrigation levels on total root length was not statistically significant ($P=0.0762$). The highest total root length was determined in S4 treatment which is 3.879,77 cm and the lowest one was in S5 (2.525,11 cm). The differences in the total root surface areas with soil depth were found to be statistically significant ($P=0.0079$). In addition, the distribution of root surface areas with depth was also statistically different ($P<0.0001$). The highest total root surface area was determined in S2 with 187.71 cm² and the lowest one was in S5 with 110.18 cm².

Keywords: Drip Irrigation, Corn Effective Root Depth, Plant Water Consumption

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ETİK BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

6

3.1. Materyal.....	6
--------------------	---

3.1.1. Deneme Alanı.....	6
--------------------------	---

3.1.2. Deneme Alanı Jeolojisi ve Toprak Özellikleri.....	6
3.1.3. Deneme Alanı ve Çevresi İklim Özellikleri.....	7
3.1.4. Bozulmamış Toprak Örneklerinin Alınması.....	9
3.1.5. Kök Taramaları.....	9
3.1.6. Kök Ölçümlerinin Yapılması.....	10
3.1.7. Sulama Suyu.....	10
3.2. Yöntem.....	11
3.2.1. Deneme Alanının Düzenlenmesi ve Konular.....	11
3.2.2. Sulama Uygulamaları.....	11
3.2.3. Bozulmamış Toprak Örneklerinin Alınması.....	13
3.2.4. Bitki Materyali ve Kültürel İşlemler.....	18
3.2.5. Bitki Gözlem ve Ölçümleri.....	19
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	
ARAŞTIRMA BULGULARI	
4.1. Sulama Uygulamaları ve Su Tüketimi.....	20
4.2. Kök Ölçümleri.....	24
4.3. Su-Verim İlişkileri	35
BEŞİNCİ BÖLÜM	
SONUÇ	
KAYNAKÇA.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

WUE	Su kullanım randımanı
ETc	Bitki su tüketimi
Kg	Kilogram
g	Gram
%	Yüzde oranı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
TDR	(Time Domain Reflectometry) Zaman etkili yansıma
N	Azot
ÇOMÜ	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
SD	Sulama düzeyi
pH	(Power of Hydrogen) Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesi
EC	(Electrical Conductivity) Elektriksel iletkenlik
da	Dekar
ha	Hektar
°C	(Derece Celsius) Sıcaklık ölçme birimi
dk	Dakika
h	Saat
sn	Saniye
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
cm ³	Santimetreküp
L	Litre
S	Güney (south)
NNE	Kuzey (north) kuzey doğu (northeast)
NNW	Kuzey (north) kuzey batı (northwest)
ENE	Doğu (east) kuzey doğu (northeast)
WNW	Batı (west) kuzey batı (northwest)

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	7
Tablo 2	Çanakkale ili ve çevresi bazı ortalama iklim verileri	8
Tablo 3	Uygulama dönemine ait bazı iklimsel veriler	8
Tablo 4	Sulama sayısı ve tarihleri	21
Tablo 5	Sulamalar öncesi 90 cm'lik toprak derinliğinde tespit edilen eksik nem miktarları	22
Tablo 6	Konulara göre uygulanan sulama suyu miktarları	23
Tablo 7	Kök uzunluklarının derinliğe göre değişimi	29
Tablo 8	Kök uzunluklarının oransal olarak derinliğe göre değişimi ve konulara göre etkili kök derinlikleri	31
Tablo 9	Sulama düzeylerine göre ortalama kök yüzey alanı ve derinliğe göre oransal dağılımı	33
Tablo 10	Sulama suyu ile verim miktarları arasındaki varyans analizi sonuçları	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	İki parçalı kök burgu seti	9
Şekil 2	Epson Perfection V700 PHOTO model scanner	10
Şekil 3	WhinRhizo Basic programı ile ölçümü yapılan görüntü	10
Şekil 4	Deneme alanı genel vaziyet planı	11
Şekil 5	Bozulmamış örnek silindiri ile kök örneklerinin alınması	15
Şekil 6	Toprak ve kök örneklerinin buzdolabında saklanması	15
Şekil 7	Köklerin topraktan yıkanması	16
Şekil 8	Yıkanmış kök örnekleri	17
Şekil 9	WhinRhizo Basic programı ile kök okumaları	18
Şekil 10	Seyreltme sırasında deneme parselleri	20
Şekil 11	İki parçalı kök burgusu ile bozulmamış toprak örneklerinin alınması	24
Şekil 12	Bozulmamış toprak örneklerinin yıkanması	25
Şekil 13	Yıkanmış köklerin Epson Perfection V700 PHOTO model tarayıcı ile görüntülerinin alınması	25
Şekil 14	Core yöntemi ile elde edilen köklerin sulama düzeylerine göre görünümü	27
Şekil 15	Kök görüntülerinin WhinRhizo Basic programı ile taranarak kök ölçümlerinin yapılması	28

Şekil 16	Kök uzunluklarının derinliğe göre dağılımı (cm)	30
Şekil 17	Kök uzunluklarının derinliğe göre dağılımı (%)	32
Şekil 18	Kök yüzey alanlarının derinliğe göre dağılımı (%)	34



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Sulu tarım uygulamalarında uygulanacak sulama suyu miktarının hesaplanmasında etkili kök derinliği önemli parametrelerden birisidir. Bitkilerin tükettikleri suyun % 80'ini aldıkları toprak derinliği olarak tanımlanan etkili kök derinliği, toprakta ıslatılacak profil derinliğini ifade etmektedir. Bu nedenle etkili kök derinliği, uygulanacak sulama suyu miktarı üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Etkili kök derinliği arttıkça uygulanan sulama suyu miktarı da artar. Tarımsal üretimde sulama suyunun daha ekonomik kullanımına ilişkin olarak yapılan pek çok araştırmada farklı sulama yöntemleri ve farklı sulama düzeylerinde yetiştirilen bitkinin verim ve su tüketimine olan etkileri pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve önemli sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu araştırmalarda sulama suyu miktarı bitkinin mevcut koşullarda oluşturabildiği kök derinliği değerleri dikkate alınarak yapılmamıştır. Sulama suyu miktarları literatürdeki mevcut etkili kök uzunlukları kullanılarak hesaplanmıştır. Böylece uygulanan sulama düzeyinin bitki kök gelişimi üzerine olan etkisi dikkate alınmamıştır. Bu araştırmada damla sulama yöntemi ile sulanan mısır bitkisinin köklerinin farklı sulama düzeylerinin etkisi altında gelişimleri incelenerek, sulama düzeylerine göre etkili kök derinliğinin olduğu katman belirlenmiştir. Araştırmada, 10 günlük sulama aralığında oluşan su eksikliği miktarının % 100, % 80, % 60, % 40 ve % 0 katı olmak üzere toplam 5 farklı sulama düzeyi uygulanmıştır. Uygulanan sulama düzeylerinin bitkinin kök gelişimine olan etkisi incelenmiştir. Mısır bitkisinin olgunlaştığı hasat döneminde elde edilen kökler, kök tarayıcısından geçirilerek her katmanda kök uzunluğu ölçümleri yapılmıştır. Böylece uygulanan sulama düzeylerine göre köklerin, hangi derinliğe ulaşabildiği ve etkili kök derinliğinin hangi noktada olduğu tespit edilmiştir. Ulaşılan sonuç özellikle su kısıtı uygulanan sulama programları için kullanılabilir nitelikte olacağı düşünülmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bitki kök sisteminin su alma mekanizması toprak-bitki-atmosfer ilişkisinde önemli rol oynar. Kök sisteminin su alması yalnızca bitkinin su alma yeteneğini değil aynı zamanda, kaynak koşullarında oluşan değişime tepkiyi de belirler. Böylece bitkiler için tarımsal su yönetimi ve uygun sulama programlarının hazırlanması için temel bilgi sağlar (Wang ve ark. 2010). Bitkiye özel kök dinamikleri ve kök biyokütlesi bitkinin su ve besin maddesi alımı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bitki köklerinin ana görevi, uyum sağladıkları toprak içerisinde bulunan su ve besin maddesini almaktır. Kök sistemi bitki ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri arasında köprü görevi gördüğünden bitki gelişimi ve verim üzerinde önemli etkiye sahiptir (Klepper, 1990). Kök sisteminin gelişiminde toprağın bir takım fiziksel özelliklerinin yanı sıra toprak nem içeriği de önemli bir etkidir. Uygulanan sulama yöntemleri veya düzeyleri kök sisteminin yatay ve düşey gelişimini etkilemenin yanı sıra bitki besin maddelerinin toprak içerisinde taşınmasını da sağlamaktadır. Bu nedenle toprakta bitki tarafından kullanılacak su miktarının hesaplanmasında, bitki kök sisteminin dikey olarak ulaştığı derinlik ve yatay olarak kapladığı alan dikkate alınan önemli parametrelerdir.

Kök gelişme paterni, toprak özellikleri ile çok yakından ilişkilidir. Zira literatürde sıkça belirtildiği gibi aynı yetişme ortamında, bitki türünün ve cinsinin genetik özelliklerine göre kök oluşturma paterni de değişmektedir. Arjantin’de tınlı-silt tekstüre sahip Haploustalf koşullarında yapılan ve mısır, ayçiçeği, yer fıstığı ve soya bitkilerinin azami kök derinliklerini konu alan bir çalışmadan elde edilen sonuçlar, tür ve çeşitlerin kök geliştirme paterni arasında farklılıklar olduğu ve en yüzlek kök gelişiminin (1.30 m) Asgrow soya çeşitlerinde, en derin köklerin (2.90 m) ise Contifor ayçiçeği çeşidi bitkilerinde olduğu belirlenmiştir (Dardanell ve ark., 1997).

Entz ve ark. (1992) tarafından Kanada’nın üç farklı bölgesinde yapılan bir araştırmada ise kışlık ve yazlık buğday bitkileri kök gelişimi bakımından karşılaştırılmış ve vejetatif gelişme safhalarının ilerlemesiyle ve toprakta yarayışlı rutubet miktarının artmasıyla bitkilerin oluşturdukları köklerin toplam uzunluğunun ve kök derinliğinin arttığı

belirlenmiştir. Ayrıca, maksimum kök derinliği olan 130 cm'ye olgunlaşma devresinde ulaşıldığı, toplam köklerin % 60-80'lik kısmının ise 50 cm ye kadar olan toprak derinliğinde bulunduğu tespit edilmiştir. Bitki köklerinin gelişme dinamiği ABD'nin Kansas eyaletinde yapılan çalışmalarda da incelenmiş (Jaafar ve ark. 1993) ve siltli-tın tekstür koşullarında yetişen ayçiçeği bitkisi köklerinin, çiçeklenme başında ve sonunda sırasıyla 1.88 ve 2.02 m olan maksimum kök derinliğinin, olgunlaşma devresinde 2.18 m'ye ulaştığı belirlenmiştir. Almanya'da yapılan bir başka incelemede 10 mısır çeşidinin Gleyic Luvisol koşullarında kök geliştirme paterni core ve yöntemleri ile incelenmiş ve kök yoğunluğu bakımından çeşitler arasında önemli derecede farklılıkların olduğu, 60-90 cm'lik katmana ait kök yoğunluğu değerleri ile yeşil aksam verim arasında pozitif bir ilişkinin bulunduğu tespit edilmiştir (Wiesler ve ark., 1994).

Mmolawa ve ark (2000)'de yapmış oldukları çalışmada, bitki gelişimi bitkinin yetiştiği alanda su ve gübrenin sızma ve dağılmasına, sulama yöntemine, toprak tipine, bitki kök dağılımına ve bitki besin maddesi alımına, suyun ve gübrenin oranına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu incelemede sulama ve gübreleme yöntemleri ile etkilenen su ve kimyasalların dinamikleri, bitkinin yetiştiği ortamda su ve gübre alımını nasıl etkilediği tartışılmıştır. Düşük kalitedeki su ve gübrenin birlikte verilmesi tuzların kök bölgesine birikerek toksik seviyelere ulaşmakta, potansiyel olarak toprağın hidrolik ve fiziksel özelliklerinin daha kötüye gitmesine sebep olmaktadır. Bitki kökleri toprak suyunda ve gübre dinamiklerinde ve bunların alımında çok önemli rol oynamaktadır. Su ve kimyasal alımı kök dağılımı, uzunluğu ve yoğunluğu ile ilgili olmaktadır. Jiu-Sheng ve ark. (2007)'de laboratuvarında yapılan bir çalışmada farklı toprak kalınlıklarında ve farklı hacimlerde yapılan sulamada meydana gelen ıslatma deseni, suyun dağılımı, nitrat'ın dağılımını incelemişlerdir. Üç farklı katman oluşturarak denemeyi yürütmüşlerdir. Uygulanan su düzeyleri 5,7 ile 12,1 litre arasında değişmiştir. Araştırma sonucunda nitrat dağılımına ait ölçümler sonucunda nitratin ıslak bölgenin dışında da olduğu ortaya çıkmıştır. Bu damla sulamada yapılacak gübrelemede en uygun yöntemin önemini ortaya koymuştur. Çünkü yanlış gübreleme sonucu nitrat hassas olduğu için kök bölgesinin dışına çıkabilmektedir. Huang (1999) bölgesel kuraklık yaratarak iki farklı çim bitkisinde kök gelişimini ve bitki besin maddesi alımını incelemiştir. Araştırmacı tarafından üç farklı sulama konusu uygulanmıştır. Birincisinde ilk 80 cm'yi tümüyle ıslatmıştır, ikincisinde ilk 40 cm'yi kuru ikinci 40 cm'yi ıslatmıştır, üçüncüsünde tümüyle kuru bırakmıştır. Prairie buffalo çiminde

kök uzaması meyer zoysia çimine göre tam sulama veya tümüyle kuru koşulda daha iyi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca toprağın ilk 20 cm derinliğinde gün içerisindeki dalgalanmadan etkilendiği ve iyi sulama koşulunda alt katmandan yukarı doğru su hareketi olduğu gözlenmiştir. Bu durumun çim bitkisinde kök gelişimi sağladığı ve besin maddelerinin yukarı çıkmasının kök gelişimini olumlu etkilediği görülmüştür.

Kang ve Zhang (2004) Kısmi kök bölgesi kuruluğu yaratarak su kullanım randımanı ve fizyolojik etkileri üzerine bir çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmada, kısmi sulamada kök bölgesinin bir kısmı kuru bırakılmakta geriye kalan kısım sulanmaktadır. Bu dönüşümlü olarak yapılmaktadır, yani kuru kalan kısım bir sonraki sulamada ıslatılmakta, ıslak kalan kısım kuru bırakılmaktadır. Kuruyan toprakta kök sisteminin bir kısmı kök sisteminden dallara bir sinyal göndermekte ve stomaların açılımı engellenebilmektedir. Bu da su kaybını önlemektedir. Kısıtlı sulamada bitkide fizyolojik ve morfolojik değişimlerin bitkiye fayda getirebileceğini belirtmiştir.

Dehqani ve ark. (2017) İsfahan'daki Kabootarabad Araştırma İstasyonu'nda üç sulama rejimi (I1 %100, I2 %80, I3 %60) ve üç sulama yöntemiyle (konvansiyonel, alternatif ve sabit karık sulama) yaptığı çalışmada, bitki büyümesinin çeşitli aşamalarında gerçekleştirilen kök için ölçülen çeşitli parametreler (uzunluk, yüzey, hacim, yaş ve kuru ağırlık) sonucu, sulama rejimlerinin ve sulama yönteminin kök özellikleri üzerindeki etkisinin % 5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir. En yüksek kök özelliği 0-20 cm toprak tabakasında elde edilmiş, genel olarak geleneksel karık sulamada veya alternatif karık sulamada %20'ye varan kısıtlı sulama oranı uygulanarak bitkinin ihtiyaç duyduğu su ve besin maddelerinin emilimi için uygun bir kök sistemi sağlayacağını ve bunun da su tüketiminde tasarruf sağlayacağını bulmuştur.

Mehrabi ve ark. (2021) İran'da, iki sulama stratejisini (kısmi kök bölgesi sulama ve alternatif karık sulama), iki ekim yöntemini (karık içi ekim ve sırt üstü ekim) ve üç azot (N) uygulama oranını içeren, iki yıllık çalışmada, karık içi ekimin sırt üstü ekime kıyasla ortalama kök uzunluğu yoğunluğunu ve kök kütle yoğunluğunu (gübreli uygulamalarda sırasıyla %8 ve %10) azalttığını belirlemiştir. Kısmi kök bölgesi sulama, birinci ve ikinci yılda tam sulamada elde edilene kıyasla, gübreli uygulamalarda kök uzunluğu yoğunluğunu sırasıyla yaklaşık %5 ve %7 oranında azaltmış; ancak bu azalmalar istatistiksel olarak

anlamli bulunmamıştır. Ayrıca, sonuçlar azotlu gübre uygulamasının kök uzunluğu yoğunluğunu birinci ve ikinci yılda sırasıyla %48 ve %24 artırdığını göstermiştir. Kök kütle yoğunluğunun birinci ve ikinci yılda sırasıyla %32 ve %5 arttığını bulmuştur.

Adriano ve ark. (2017) Brezilya'da yalnızca yağmurla beslenen ve sulanan portakal ağaçlarının derin köklenmesi üzerine yaptığı çalışmada, bazı ince köklerin, yağmurla sulanan uygulamada (7,0-7,5 m derinliğe kadar) sulu uygulamaya göre (6.0-6.5 m'ye kadar) daha derin olduğunu, toplam ince kök kütlelerinin yaklaşık %50'si, uygulama ve mevsim ne olursa olsun 0–1 m'lik toprak tabakasında olduğunu gözlemlemiştir. Uygulamalar arasındaki en yüksek fark 2012 kışında, toplam ince kök kütlelerinin %52'si 0-1 m'lik toprak tabakasında olmak üzere, yağmurla besleme ve sulama uygulamasında sırasıyla %52 ve %68 olarak gerçekleştiğini bildirmiştir.

Görüldüğü gibi bitki kök gelişimi ile bunun su, N gibi bazı kimyasalların alımı üzerine etkilerini konu alan birçok çalışma bulunmaktadır. Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar oldukça az olmakla birlikte sulama veya kısıtlı sulama koşullarında kök gelişiminin nasıl değiştiği konusunda yapılacak çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu araştırma ile farklı sulama düzeyleri etkisi altında mısırın kök gelişimi incelenmiş. Uygulanan sulama suyu kısıtının etkisi ile mısır kök profilinin toprak içerisinde hangi katmanlarda yoğunlaşacağı tespit edilmeye çalışılmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Deneme, 2019 yılında ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Merkezinde yürütülmüştür. Proje hazırlanması esnasında arazi uygulanması 2019 ve 2020 yıllarında iki yıl süre ile yürütülmesi planlanmıştır. Ancak tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yayılmaya başlayan Covid-19 hastalığının çalışma koşullarını kısıtlaması nedeni ile ikinci yıl uygulaması yapılamamıştır. Bu nedenle değerlendirmeler tek yıllık sonuçlar üzerinden yapılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme Alanı

ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Merkezi'nin kuzeyinde Dardanos Höyüğü, güneyinde ÇOMÜ Sosyal Tesisleri, doğusunda Çanakkale- Güzelyalı ulaşım yolu ve batısında Çanakkale Boğazı yer almaktadır. Denizden yüksekliği 17 m olan uygulama merkezi 40° 04' 30" K, 60 21' 59" D enlem ve boylamlarında yer almaktadır.

3.1.2. Deneme Alanı Jeolojisi ve Toprak Özellikleri

Çanakkale Dardaneli, Üst Miyosen yaşlı Çanakkale havzasının hafif kıvrımlı tortulları üzerinde, fayların denetimi altında Pliyosen-Alt Pleyistosen'de gelişmiş epijenik (sürempoze) bir akarsu vadisidir ve bu vadi Üst Pleyistosen ve Holosen'de deniz suları tarafından istila edilmiştir. Çanakkale havzası, Mesozoik yaşlı temel üzerinde, Üst Kretase-Alt Tersiyer'de oluşmuş ve havzada denizel tortullar çökelmiştir (Erol, 1992).

Deneme alanında Özcan ve ark. (2004)'nın yaptıkları toprak etüdünde, tesis alanı içerisinde etek arazi (Bajada) düzlüğü ve yan dere alüvyonlarından oluşan iki fizyografik ünite tespit etmişlerdir. Bajadalar üzerinde Orman ve Havuz serisi topraklar oluşurken, yan dere alüvyalleri üzerinde Dardanos ve Dardanel serisi topraklar oluşmuştur.

Deneme alanı Havuz serisi toprakların yer aldığı kısımda kurulmuştur. Alan, altta marn ana materyali üzerinde gelişmiş, üstte çamur akıntıları ile gelen sediment üzerinde oluşmuş topraklardan oluşmaktadır. Dardanos toprakları Soil Taxonomy 1998'e göre tipik Haploxererts, FAO 1974'e göre ise Eutric Vertisollerdir (Özcan ve ark., 2004). Deneme alanı topraklarına ilişkin bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1

Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Derinlik (cm)	Bünye sınıfı	Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	TK* (mm)	SN** (mm)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	Organik madde (%)
0-30	CL	1.36	122	69	7.7	0.177	2.29
30-60	CL	1.55	149	93	8.0	0.255	1.71
60-90	CL	1.55	144	102	8.0	0.122	0.81
90-120	CL	1.43	137	90	8.1	0.137	1.41

*: TK: Tarla kapasitesi

** : Solma noktası

3.1.3. Deneme Alanı ve Çevresi İklim Özellikleri

Çanakkale, Türkiye'nin kuzeybatı yönüne düşen Balkan yarımadasının Trakya topraklarını içeren Gelibolu Yarımadası ile Anadolu'nun batı uzantısı olan Biga yarımadası üzerinde toprakları bulunan bir ilimizdir. Bölgede Marmara iklimi hakimdir. Marmara iklimi kışları Akdeniz iklimi kadar ılık, yazları Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir. İklim özellikleri olarak Karadeniz, Akdeniz ve karasal iklim kuşakları arasında bir geçiş iklimi özelliği taşımaktadır. Buna bağlı olarak doğal bitki örtüsünü alçak kesimlerde Akdeniz kökenli bitkiler, yüksek kesimlerin kuzeye bakan yamaçlarında Karadeniz bitki topluluğu özelliğindeki nemli ormanlar görülmektedir.

Çanakkale ili ve çevresine ait uzun yıllık ortalama iklim verileri Tablo 2'de ve 2019 yılı uygulama dönemine ait bazı iklim verileri ise Tablo 3'te verilmiştir (MGM, 2021).

Tablo 2

Çanakkale ili ve çevresi bazı ortalama iklim verileri

1975-2010 Yılları arası Çanakkale ili ve çevresi bazı ortalama iklim verileri												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Sıcaklık (°C)	6.2	6.3	8.2	12.5	17.4	22.3	24.9	24.7	20.8	16.0	11.3	8.1
Nem (%)	83.2	81.0	80.7	79.3	76.9	72.1	68.5	69.7	72.7	77.7	81.5	83.4
Toplam Yağış (mm)	85.3	66.2	65.8	47.3	32.1	21.8	12.2	4.6	19.4	54.8	89.1	102.4
Max. rüzgar Hızı (m/sn)	4.4	4.6	4.3	3.8	3.5	3.3	3.8	3.8	3.6	3.8	4.0	4.5
Açık Yüzey Buharlaşması (mm)	0.0	1.4		109.3	166.0	215.6	264.5	246.5	167.6	102.8	41.2	10.0

Tablo 3

Uygulama dönemine ait bazı iklimsel veriler

2019 Yılı uygulama dönemine ait bazı iklim verileri.						
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Sıcaklık (°C)	19.7	25.8	26.8	27.5	23.3	19.3
Nem (%)	64.7	58.7	51.9	52.9	54.2	67.2
Toplam Yağış (mm)	4.50	56.8	19.6	10.5	1	34.8
Mak. rüzgar Hızı (m/sn)	S 15.9	NNE 17	NNW 16.5	NNE 14.9	ENE 14.9	WNW 23.7
Açık Yüzey Buharlaşması (mm)	149.8	228.6	313.1	329.6	244.2	128.2

Denemede mısır bitkisi kullanılmıştır. Tohum ekimi 23 Mayıs 2019 tarihinde ve sıra arası 70 cm, sıra üzeri yaklaşık 20 cm olacak şekilde yapılmıştır. Parsellerde çimlenme çıkışların düzgün olması amacı ile intaş sulaması yapılmıştır. Çıkışların tamamlanmasından sonra çapalama ile 08 Haziran 2019 tarihinde seyreltme yapılmıştır.

3.1.4. Bozulmamış Toprak Örneklerinin Alınması

Bozulmamış toprak örneklerinin alınmasında iki parçalı kök burgu seti kullanılmıştır (Şekil 1). Toprağın 100 cm derinliğine kadar 10 cm'lik bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır.



Şekil 1. İki parçalı kök burgu seti

3.1.5. Kök Taramaları

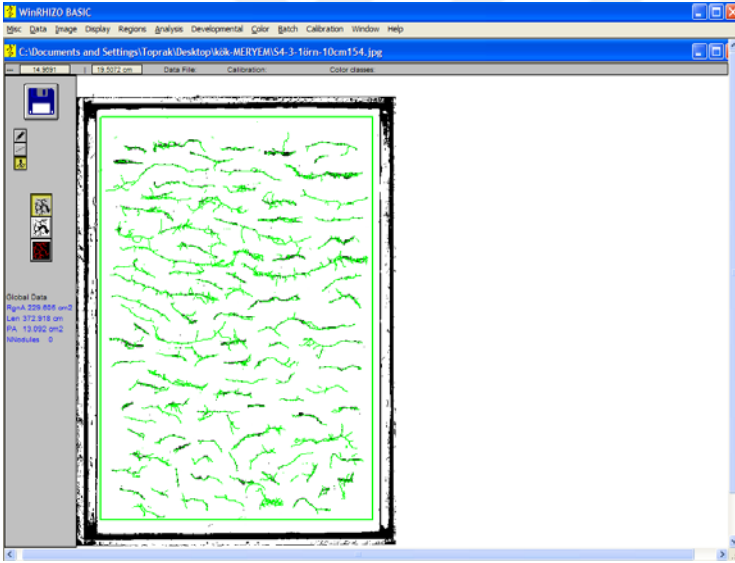
Bozulmamış toprak örneklerinden elde edilen köklerin taranarak görüntülerinin alınmasında Epson marka Epson Perfection V700 PHOTO model scanner kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Epson Perfection V700 PHOTO model scanner

3.1.6. Kök Ölçümlerinin Yapılması

İki parçalı kök burlu seti ile alınan bozulmamış toprak örneklerinden elde edilen köklerin ölçümleri WinRhizo Basic programı (Şekil 3) kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. WinRhizo Basic Programı ile ölçümü yapılan görüntü

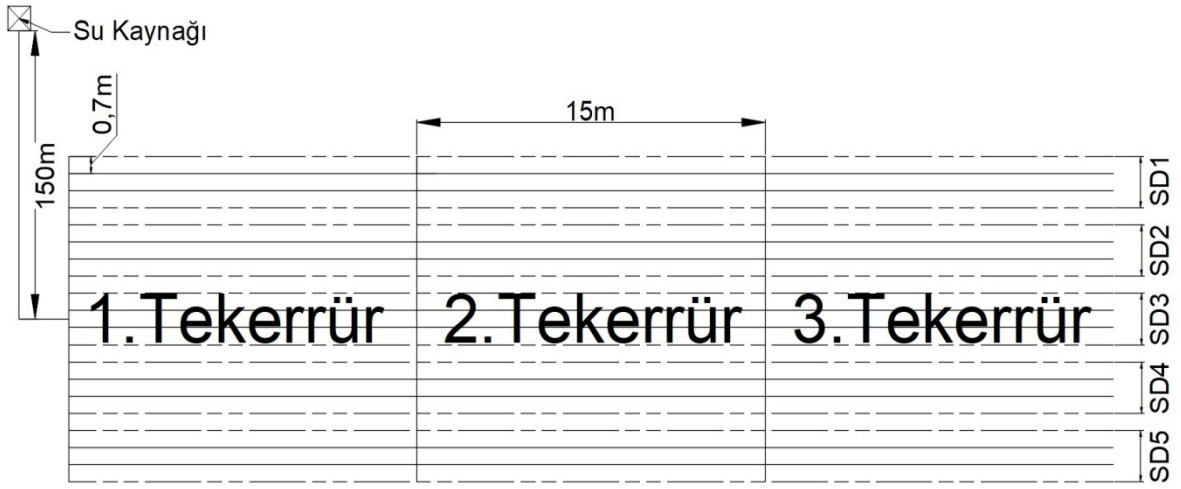
3.1.7. Sulama Suyu

Sulama suyu, Araştırma ve Uygulama Merkezi içerisinde yer alan ve deneme alanından yaklaşık 150 m mesafede olan kuyudan temin edilmiştir. Kuyudan alınan sulama suyu motopompla deneme alanına iletilerek parsellere uygulanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme Alanının Düzenlenmesi ve Konular

Deneme konuları bölünmüş parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak düzenlenmiştir. Parseller 4 sıradan oluşmaktadır. Sıralar 15 m uzunluğunda ve 70 cm sıra aralığına sahiptir. Buna göre deneme alanı 3 blok ve toplam 15 parselden oluşmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Deneme alanı genel vaziyet planı

Araştırmada 5 farklı sulama düzeyi bulunmaktadır. Bunlar sulama suyunun 90 cm'lik etkili kök derinliğinde ölçülen eksik nem miktarının %100'ünün uygulandığı S1 ve sırası ile %80'inin uygulandığı S2, %60'ının uygulandığı S3, %40'ının uygulandığı S4, %0'ının uygulandığı S5 konularıdır. S1 konuları kontrol parsellerini oluşturmaktadır. Toprak nem açığı bu parsellerden alınan toprak örneklerinden gravimetrik yöntemle hesaplanarak tespit edilmiştir.

3.2.2. Sulama Uygulamaları

Sulama uygulamalarına mısırın toprak üstü gövde yüksekliği 30–35 cm'ye ulaştığında ve 90 cm'lik etkili kök derinliğinde toprağın kullanılabilir nem kapasitesinin %50'si tüketildiğinde başlanılmıştır. İlk sulamada, tanık konu olan S1 konusunda ölçülen

nem eksikliği tarla kapasitesine getirilmiştir. Takip eden sulamalar da 10 günlük sulama aralığında yine tanık konuda ölçülen kök derinliğinde oluşan nem eksikliği dikkate alınarak yapılmıştır.

Sulama sisteminde uygulanan sulama suyu miktarı,

$$d_n = \frac{P_w}{100} \gamma D \frac{P}{100} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte,

P_w = S1 konusunda sulamadan bir önceki gün gravimetrik yöntemle hesaplanan toprağın kuru ağırlığın %'si cinsinden eksik nem miktarı (mm),

γ = toprak hacim ağırlığı (g/cm^3),

D = S1 konusunda alınan toprak örneklerinden tespit edilen etkili kök derinliği (mm),

d_n = Toprakta derinlik cinsinden eksik nem miktarı (mm) ,

P = Islatılan alan yüzdesi (%)'dir.

Sulama süresi,

$$T_a = \frac{1000 d_n}{q N E_a} \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte,

T_a = Sulama süresi (h),

d_n = Net sulama suyu miktarı (mm/h),

E_a = Su uygulama randımanı (%),

q = Damlatıcı debisi (L/h),

N = Damlatıcı sayısı (Adet),

Damlatıcı sayısı,

$$N = \frac{1000}{S_a S_l} \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte,

N = Damlatıcı sayısı (Adet),

S_d = Damlatıcı aralığı (m),

S_L = Lateral aralığı (m),

Damlatıcı aralığı ise,

$$S_d = 0,9 \sqrt{\frac{q}{I}} \quad (4)$$

Eşitlikte,

S_d = Damlatıcı aralığı (m),

q = damlatıcı debisi (L/h),

I = İnfiltrasyon hızı (mm/h)'dir.

Deneme alanının infiltrasyon özellikleri sulamalardan önce yapılan çift silindir infiltrometre testleri ile tespit edilmiştir (James, 1988).

Toprağın infiltrasyon hızı,

$$I = aT^n \quad (5)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Eşitlikte,

I = İnfiltrasyon hızı, (mm/saat),

T = İnfiltrasyon süresi, (dk),

a ve b = İnfiltrasyon katsayılarını ifade etmektedir.

3.2.3. Bozulmamış Toprak Örneklerinin Alınması

Bozulmamış Toprak Örneklerinin Alınması

Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti için parselden 10'ar cm aralıklarla 120 cm'ye kadar bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerden tekstür, tarla kapasitesi, solma noktası, hacim ağırlığı, doyma yüzdesi gibi pH özellikleri analizler ile tespit edilmiştir.

Toprak tekstürü: Toprak tane irilik dağılımı (toprak tekstürü) 2 mm'lik elekten elenmiş, bozulmamış toprak örneklerinde 2 paralelli olarak Bouyoucos tarafından belirtilen esaslara göre hidrometre yöntemiyle yapılmıştır (Gee ve Bauder, 1986).

Toprak volumetrik nemi: Gravimetrik yöntem ile belirlenmiştir.

Toprak kuru hacim ağırlığı: Hacim ağırlığı, 100 cm³ hacimli silindirlerle alınan bozulmamış toprak örneklerinin fırın kuru ağırlıklarının toplam hacme bölünmesi ile hesaplanmıştır.

PH ve EC: pH 1:2.5 toprak-su karışımında hidrojen iyonu konsantrasyonun pH-metre ile potansiyometrik olarak ölçülmesi ve EC ise elektriksel iletkenliğe bağlı kondaktivite metodu ile belirlenmiştir (Petersen, 1965).

Köklerin Alınması

Bitki kök sistemine ilişkin pek çok araştırma yapılmıştır. Araştırmalarda kullanılabilir minirhizotron tekniği gibi bitkiyi tahrip etmeyen yöntemler de olmakla beraber genellikle kök sisteminin tamamının kazılarak çıkartılmasıyla yapılmıştır (Yavuz ve ark., 2012, Dahlman ve Kucera, 1965; Feng ve ark., 2008; Jackson ve ark., 1996).

Bitki köklerinin alınmasında CORE yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin esası bitki kök bölgesinden alınan bozulmamış toprak örneğinin hacminde bulunan kök uzunluğunun tespit edilmesine dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde bitki kök sistemi tahrip edildiğinden, bu yöntem her deneme yılında hasat işleminin tamamlanmasından sonra olmak üzere sadece bir kez uygulanmıştır.

Kök ölçümleri için bozulmamış toprak örnekleri her 10 cm'lik katmanlar halinde 120 cm'lik derinliğe kadar kesintisiz olarak alınmıştır (Şekil 5). Toprak örnekleri kökler topraktan yıkanarak ayrılincaya kadar, buzdolabında muhafaza edilmiştir (Şekil 6). Yıkama esnasında örnekler kaplara boşaltılarak, üzerlerine su ilave edilmiştir (Şekil 7). Daha sonra,

üst üste konulmuş ve üstte en geniş açıklık olmak üzere farklı açıklıklara sahip eleklerden sulu çamur çözeltisi geçirilerek, kökler musluk altında topraklardan yıkanmıştır. Eleklerde yıkama sırasında kök kaybını engellemek için en altta bulunan eleğin altına toplama kabı yerleştirilmiştir. Eleklerin üzerindeki kökler pens yardımı ile toplanmış ve yıkanmış kök örnekleri, plastik poşetlerde üzerlerine su ve methanol eklenerek analiz süresince +4 °C de saklanmıştır (Şekil 8) (Melhuish ve Lang 1969; Oliveira ve ark. 2000; Kavdir ve Smucker, 2005).



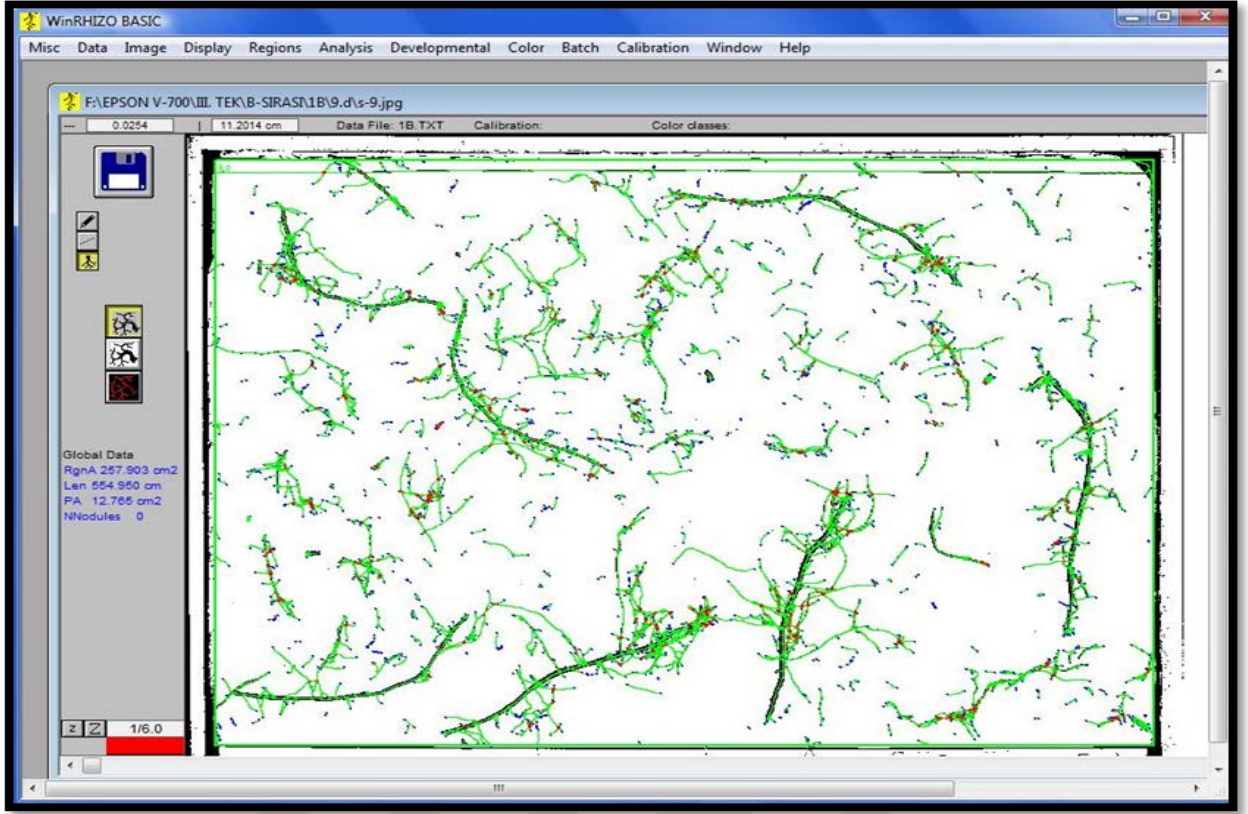
Şekil 7. Köklerin topraktan yıkanması



Şekil 8. Yıkanmış kök örnekleri

Elde edilen kökler Epson marka tarayıcıda taranarak (Şekil 9) görüntüleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Görüntülerden kök uzunluğu, kök yüzey alanı gibi bazı parametreler WinRhizo Basic Programı kullanılarak ölçülmüştür. Görüntüler kullanılarak kök ölçümlerinin yapılmasında WinRhizo Basic programı kullanılmıştır (Himmelbauer ve ark. 2004). WinRhizo Basic programı ile alınan bozulmamış toprak örneği içerisinde toplam kök uzunlukları (cm), toplam kök yüzey alanı (cm²) belirlenmiştir.

Elde edilen tüm veriler SAS 1999 programı ile istatistik analizlerine tabi tutulmuştur.



Şekil 9. WinRhizo Basic programı ile kök okumaları

3.2.4. Bitki Materyali ve Kültürel İşlemler

Denemede mısır bitkisi kullanılmıştır. Deneme parselleri Mayıs ayında işlenerek, bölgede 1. ürün mısır ekiminin yapılabilirdiği dönem içerisinde ekime hazır hale getirilmiştir. Toprak neminin uygun olması ile 23 Mayıs tarihinde ekimler yapılmıştır. Sulama sistemi 24 Mayıs tarihinde kurulmuş, ekimden hemen sonra 30 mm intaş sulaması yapılmıştır. Tohum ekimi 70 cm sıra aralığı ve 20 cm sıra üzeri düzeninde ekim makinesi kullanılarak yapılmıştır. Ekimde dekada yaklaşık 7200 bitkinin olması sağlanmaya çalışılmıştır. Tohum çıkışlarının tamamlanmasından sonra yabancı ot savaşımı, çapalama ve bitki koruma gibi kültürel işlemler deneme parsellerinin durumuna göre karar verilerek yapılmıştır.

Uygulanan gübre miktarına ve çeşidine, parsellerden alınan toprak örneklerinin verimlilik analizlerinden sonra karar verilmiştir. Gübreleme, verimlilik analizlerine göre ve toprakta saf madde olarak bitki tarafından kullanılabilir 10 kg fosfor (P), 10 kg potasyum (K), 20 kg azot (N) olacak şekilde yapılmıştır (Kırtok, 1998). Uygulanacak olan gübrenin

%50'si taban gübresi olarak ekim öncesi ve geriye kalan %50'si ilk sulamadan önce uygulanmıştır. Gübre, tüm deneme konularında paralelliğin sağlanabilmesi için gübreleme makinesi ile bitki kök bölgesine uygulanmıştır.

Hasat, bitkilerin kuruduğu, koçan yapraklarının sarardığı, danelerin sertleştiği ve koçanların sarktığı dönemde elle yapılmıştır. Deneme konularının her birisi ayrı ayrı değerlendirilerek ve olgunluk durumuna gelen konular bekletilmeksizin hasat edilmiştir. Hasat esnasında her deneme parselinin iki tarafından birer sıra ile her sıranın başında ve sonunda 1 m uzunlukta yer alan bitkiler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Deneme parsellerinden elde edilen koçan sayısı belirlenerek, kurutulup danelendikten sonra her bir deneme parseline ait dane verimleri tespit edilmiştir. Tartım esnasında deneme konularının tüm tekerrürlerinden örnekler alınmış, nem içerikleri belirlenerek ve Bayrak, (1979)' ta belirtilen yöntem ile % 15'e göre verim düzeltilmesi yapılmıştır.

3.2.5. Bitki Gözlem ve Ölçümleri

Deneme konularının tamamında gözlem ve ölçümlerin yapılması için mısırın çıkışını takiben tüm deneme parsellerinin orta kısımlarında, homojen şekilde gelişmiş beşer adet bitki belirlenerek ve her gözlem tarihinde kullanılmak üzere etiketlenmiştir. İşaretlenmiş bitkilerin sulama öncesi boy ölçümleri ve taç genişlikleri ölçümleri yapılmıştır. Boy ölçümleri, bitkilerin tepe püskülü çıkarma devresinin tamamlanmasından sonra sonlandırılmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneme iki yıl olarak tasarlanmıştır. Ancak 2020 yılında yaşanan pandemi nedeni ile çalışma koşullarında ortaya çıkan zorunlu kısıtlamalar nedeni ile ikinci yıl uygulaması yapılamamıştır. Bu nedenle tez 2019 yılında elde edilen tek yıllık veriler değerlendirilerek sunulmuştur.

4.1. Sulama Uygulamaları ve Su Tüketimi

Deneme parsellerinde tohum ekimi 23.05.2019 tarihinde yapılmıştır. Ekimden hemen sonra tohum yatağı ıslatılarak çimlenme ve çıkışın kolaylaşması için 30 mm intaş sulaması yapılmıştır. Tohum çıkışları tamamlandıktan sonra bitkiler sıra üzeri 20 cm olacak şekilde seyreltilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Seyreltme sırasında deneme parselleri

Parsellerde ilk sulama konu özellikleri dikkate alınmaksızın 06.07.2019 tarihinde yapılmıştır. İlk sulamayı takip eden konulu sulamalar 10 gün aralıklarla devam ettirilerek toplam 7 sulama gerçekleştirilmiştir (Tablo 4). Koçanlarda, mısır tanelerinin sertleşmeye başlaması ile sulamalara son verilmiştir.

Tablo 4

Sulama sayısı ve tarihleri

Sulama Sayısı	Tarih
İntaş Sulaması	24.05.2019
1.Sulama	06.07.2019
2.Sulama	16.07.2019
3.Sulama	26.07.2019
4.Sulama	05.08.2019
5.Sulama	15.08.2019
6.Sulama	25.08.2019
7.Sulama	04.09.2019

Her sulama öncesinde konuların tamamında 90 cm'lik toprak profilinde eksik nem miktarı tespit edilmiştir (Tablo 5). S1 konusunda tespit edilen eksik nem miktarı dikkate alınarak sulama suyu miktarı hesaplanmıştır. İlk sulamada konu özellikleri dikkate alınmaksızın tamamına, S1 konusuna hesaplanan sulama suyu miktarının tamamı olan 64 mm sulama suyu uygulanmıştır. Böylece konulu sulamalar öncesi etkili kök derinliğinde tespit edilen eksik nem tamamlanarak, 90 cm'lik toprak profili tarla kapasitesine getirilmiştir. Sonraki sulamalarda; S1 konusuna S1 konusunda tespit edilen eksik nem miktarının %100'ü ve diğer konulara sırası ile S2 konusuna %80, S3 konusuna %60, S4 konusuna %40 sulama suyu uygulanmıştır.

Tablo 5

Sulamalar öncesi 90 cm'lik toprak derinliğinde tespit edilen eksik nem miktarları

Sulama Sayısı	TK-MN mm				
	S1	S2	S3	S4	S5
1.Sulama	304,69	280,69	256,69	232,69	184,69
2.Sulama	282,09	292,69	262,03	228,45	163,88
3.Sulama	313,58	280,78	390,97	248,83	142,66
4.Sulama	300,77	298,46	250,43	217,82	126,67
5.Sulama	303,64	301,17	265,89	230,54	124,63
6.Sulama	313,11	293,47	252,94	217,98	116,38
7.Sulama	308,66	321,47	251,80	241,45	109,54

Buna göre S5 konusuna ekimden hemen sonra çimlenmenin sağlanması için uygulanan 30 mm intaş sulaması ve konu özellikleri dikkate alınmaksızın yapılan ilk sulamada uygulanan 64 mm sulama suyu dışında uygulama yapılmamıştır. Diğer konulara ise konu özelliklerine göre sulama suyu uygulanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6

Konulara göre uygulanan sulama suyu miktarları

Sulama No (Tarih)	S1 (%100) mm	S2 (%80) mm	S3 (%60) mm	S4 (%40) mm	S5 (%0) mm
İntaş Sulaması	30	30	30	30	30
1.Sulama	64	64	64	64	64
2.Sulama	76	60,8	45,6	30,4	-
3.Sulama	61	48,8	36,6	24,4	-
4.Sulama	65	52	39	26	-
5.Sulama	83	66,4	49,8	33,2	-
6.Sulama	84	67,2	50,4	33,6	-
7.Sulama	83	66,4	49,8	33,2	-
Toplam Sulama Suyu Miktarı	546	455,6	365,2	274,8	94
Mevsimlik Bitki Su Tüketimi (mm)	754,9	671,71	585,39	519,44	341,66

Deneme süresince 10 günlük sulama aralığı ile toplam 7 sulama yapılmıştır. En fazla sulama suyu 546 mm ile eksik toprak nemimin % 100 'ünü alan S1 konusunda uygulanmıştır. Diğer konulara S2'den başlamak üzere sırası ile 455,6 mm, 365,2 mm, 274,8 mm ve S5 konusuna 94 mm sulama suyu uygulanmıştır (Tablo 6). Uygulanan sulama aralığı sabit olmakla beraber, her sulamada uygulanan sulama suyu miktarları farklı olmuştur. Sulama suyu miktarının hesaplandığı S1 konusunda ilk sulamada 64 mm uygulanırken 7. sulamada 83 mm uygulanmıştır. Bunun sıcaklık ve rüzgâr gibi su tüketimini artıran iklim olaylarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

En yüksek mevsimlik bitki su tüketimi 754,9 mm ile S1 konusunda gerçekleşmiştir (Tablo 6). Bunu 671,71 mm ile S2, 585,39 mm ile S3, 519,44 mm S4 ve 341,66 mm ile S5 konuları izlemiştir.

4.2. Kök lmleri

Sulama düzeyinin kök gelişimine ve toplam kök uzunluğuna etkisinin tespit edilmesi amacı ile kök ölümleri hasattan hemen sonra, tek ölüm olarak yapılmıştır. Bu amaçla toprağın 100 cm derinliğe kadar kesintisiz olarak 10 cm uzunluğunda ve 8 cm çapında toplam 502,4 cm³'lük bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır (şekil 11).

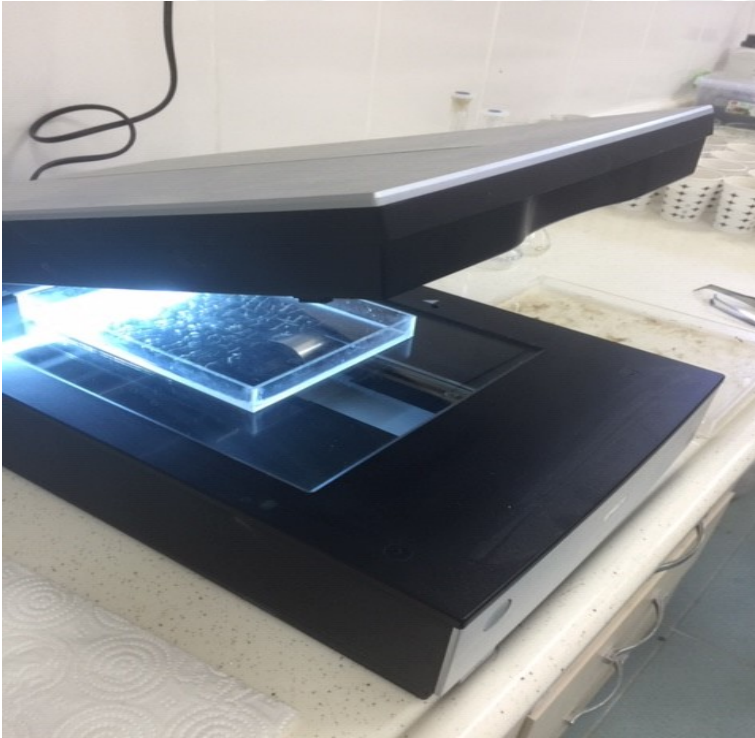


şekil 11. İki parçalı kök burgusu ile bozulmamış toprak rneklерinin alınması

Toprak rnekleri yıkanıldıktan (şekil 12) sonra Epson Perfection V700 PHOTO model tarayıcıdan geirilerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır (şekil 13).



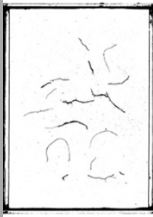











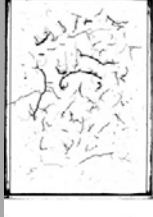


















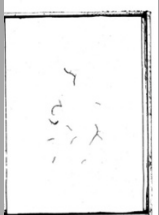



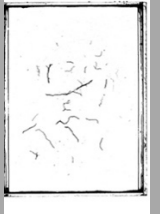





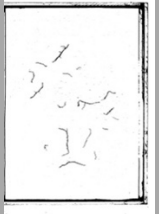




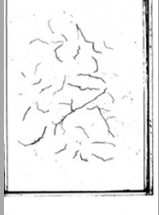



Şekil 12. Bozulmamış toprak örneklerinin yıkanması



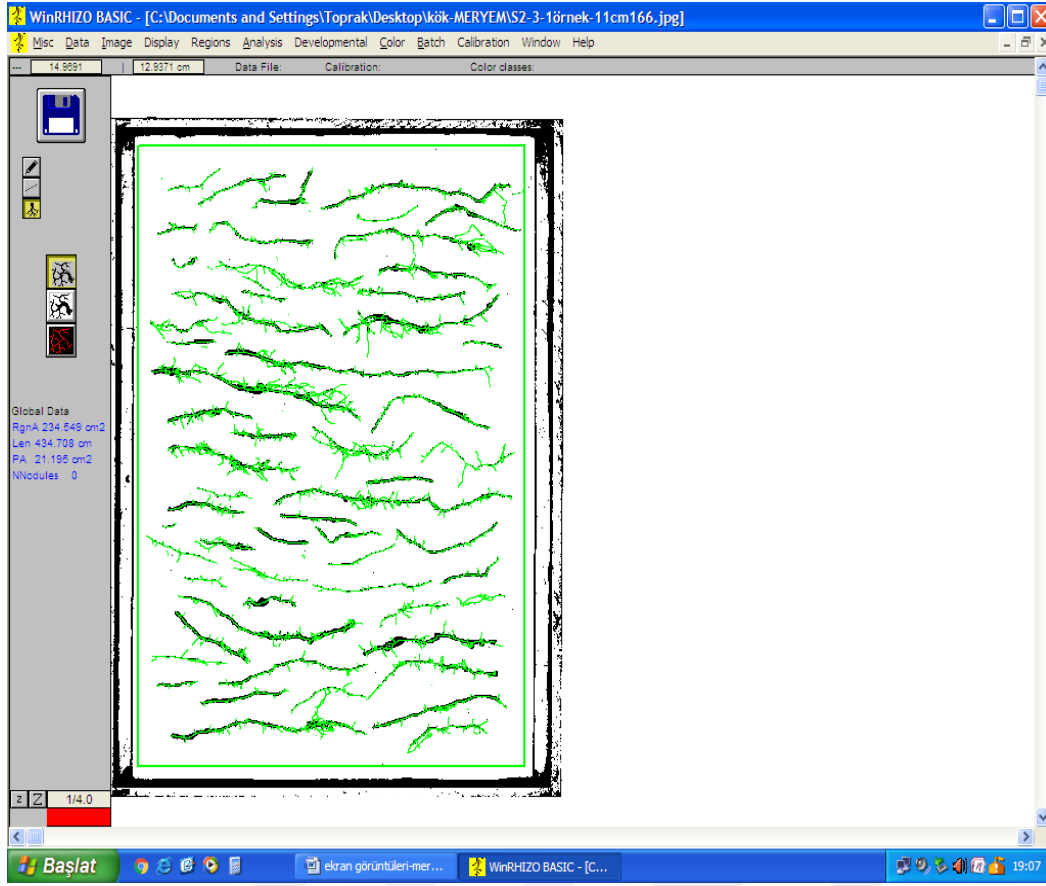
Şekil 13. Yıkanmış köklerin Epson Perfection V700 PHOTO model tarayıcı ile görüntülerinin alınması

Bilgisayar ortamına aktarılan görüntüler (Şekil 14) WinRhizo Basic Programı ile taranarak kök ölçümleri yapılmıştır (Şekil 15).

Toprak Derinliği (cm)	S1	S2	S3	S4	S5
0-10					
11-20					
21-30					
31-40					
41-50					

51-60					
61-70					
71-80					
81-90					
91-100					

Şekil 14. Core yöntemi ile elde edilen köklerin sulama düzeylerine göre görünümü



Şekil 15. Kök görüntülerinin WinRhizo Basic Programı ile taranarak kök ölçümlerinin yapılması

Ölçülen kök uzunluklarının cm cinsinden ve oransal olarak derinliğe göre değişimi Tablo 7 ve Şekil 17 ve 18’de verilmiştir. Sulama düzeyleri ile kök uzunlukları arasındaki fark istatistiki olarak önemsiz bulunmuş olmakla beraber ($P=0,0762$), ölçüm yapılan 100 cm’lik kök derinliğinde en yüksek toplam kök uzunluğu 3879,77 cm ile S4 konusunda tespit edilmiştir. Bunu 3796,65 cm ile S2, 3609,73 ile S1, 3037,68 cm ile S3 ve 2525,11 cm ile S5 konuları izlemiştir (Tablo 7). Wang ve ark. (2010) pamuk ile yaptıkları çalışmalarında, toprak nemini tarla kapasitesinin %90, %75 ve %60’ı düzeyinde tuttıkları koşulda en fazla kök gelişimini %75 nem düzeyinde tespit etmişlerdir. Yang ve ark. (2010) alternatif sulama yöntemi ile su kısıtının uygulandığı koşullarda mısır kök gelişiminin arttığını belirtmektedir.

Sulama suyu eksikliğinin kök oluşumunu arttırmasına ilişkin yapılan başka bir çalışmada, çeşitli sulama oranlarının narenciye ağaçlarının büyüme ve kök gelişimine etkisi araştırmasında, bitki su tüketiminin %62’sinin karşılandığı koşullarda narenciye ağaçlarının

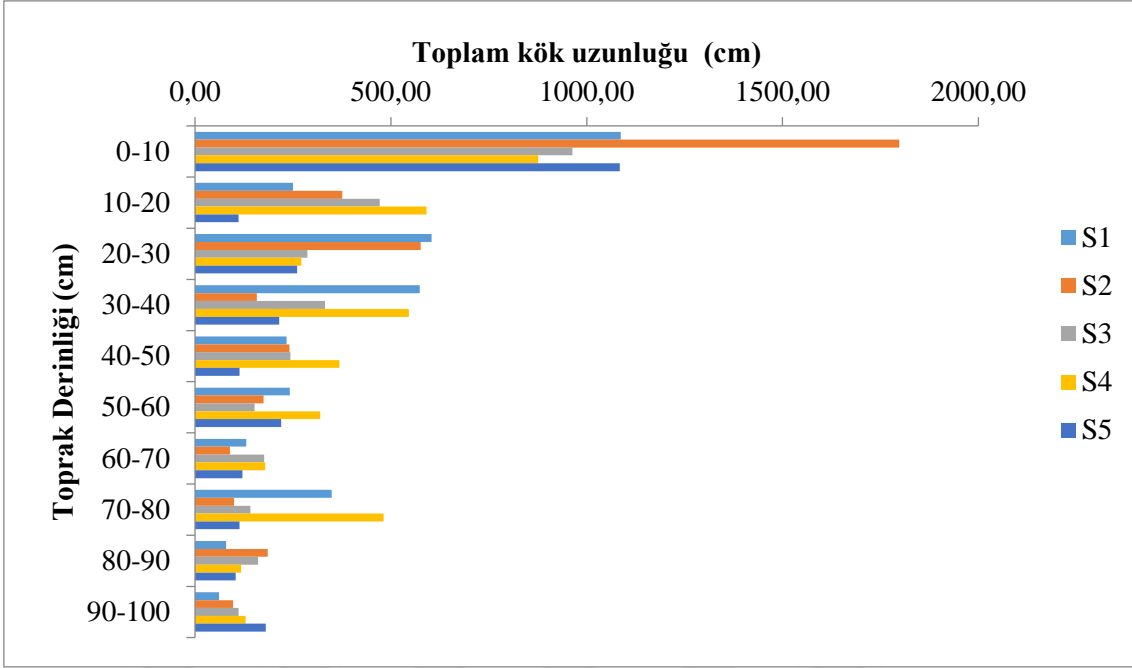
toplam kök uzunluğu, su kısıtı uygulanmayanlara göre ortalama %32 oranında arttırdığı bulunmuştur (Hamido and Morgan, 2020).

Sulama suyu eksikliği kök oluşumunu iki farklı şekilde etkilemiştir. Bunlardan ilki kök oluşumunu artırmasıdır. Sulama suyu eksikliğinin ikinci etkisi kök uzunluğunun derinliğe göre dağılımıdır (Tablo 7, Şekil 16, Şekil 17). Yapılan istatistiksel analizde konularda derinliğe göre kök uzunluğu dağılımı önemli bulunmuştur ($P < 0,0001$). S1 ve S4 konularında, diğer konularda olduğu gibi 0-10 cm'ler arası kök uzunluğu fazla olmakla beraber, özellikle 10-90 cm'ler arasında dengeli bir dağılımın olduğu görülmektedir. Ancak diğer konularda 0-10 cm'lik diğer bir ifade ile örnek alınan ilk katmanda kök yoğunluğunun diğer katmanlara göre çok fazla olduğu görülmüştür. Özellikle S2 konusunda köklerin %47,36'sı ilk katmanda yer almaktadır. Bunu %42,96 ile S5, %31,71 S3 ve %30,12 ile de S1 takip etmektedir (Şekil 17).

Tablo 7

Kök uzunluklarının derinliğe göre değişimi

Sulama Düzeylerine Göre Kök Uzunlukları (cm)					
Derinlik (cm)	S1	S2	S3	S4	S5
0-10	1087,14	1798,05	963,24	875,84	1084,86
10-20	250,45	376,18	471,45	591,15	111,54
20-30	603,62	576,06	286,64	271,12	260,90
30-40	573,72	158,07	331,48	545,90	214,96
40-50	233,43	241,09	243,29	368,70	113,75
50-60	241,62	175,12	152,33	319,96	219,78
60-70	130,50	89,32	176,22	179,43	121,13
70-80	348,84	99,84	141,14	481,23	113,73
80-90	79,24	185,34	160,65	117,36	103,98
90-100	61,15	97,57	111,24	129,09	180,49
<i>Toplam</i>	3609,73	3796,65	3037,68	3879,77	2525,11



Şekil 16. Kök uzunluklarının derinliğe göre dağılımı (cm)

Machado ve ark. (2003), sulama seviyesinin bir sonucu olarak toprak profili içindeki suyun dağılımının, toprakta bitki kökleri tarafından besin maddelerinin taşınması ve alımının yanı sıra yatay ve dikey kök gelişimini de etkilediğini bildirmiştir. Benzer bir bulgular Sperry ve ark. (2002), Song ve Li. (2006), Hu ve ark. (2009) tarafından bildirilmiştir. Mahgoub ve ark. (2017) kumlu topraklarda farklı sulama yöntemlerinin mısır ve börülcenin kök gelişimine etkisini araştırdıkları çalışmada kök yoğunluğunun toprak derinliği ile ters orantılı olarak değiştiğini bildirmişlerdir. Chen ve ark. (2010), toprak derinliği arttıkça kök kütlelerinin azaldığını ve kök kütlelerinin çoğunun 0-20 cm toprak derinliğinde bulunduğunu bildirmiştir. Covre ve ark. (2015) Brezilya'da sulanan ve sulanmayan conilon kahvesinin kök sistemi dağılımını incelediği çalışmasına göre, sulanmayan conilon kahve bitkileri, sulanan bitkilere göre daha yüksek yüzey alanına, uzunluğa ve kök hacmine sahip olduğunu görmüştür. Sulanmayan bitkilerin 0-10 cm aralığında daha fazla yüzey alanına ve kök uzunluğuna ve kök hacmine sahip olduğunu tespit etmiştir. Li ve ark. (2017) damlama sulama sistemiyle bitki köklerinin mekânsal dağılımını incelemiş, her toprak tabakası için kök uzunluk yoğunluğu (RLD), kök ağırlık yoğunluğu (RWD), kök hacim yoğunluğu (RVD) ve kök yüzey alanı yoğunluğu (RSD) ortalamalarını almış ve analiz etmiştir. Dikey yönde dört kök parametresinin (RLD, RWD, RVD, RSD) hepsinde ($p < 0.01$) oldukça önemli farklılıklar olduğunu ve kök yoğunluklarının toprak derinliği ile önemli ölçüde azaldığını

bildirmiş, sonuçlar mahsul köklerinin esas olarak en üst 0-10 cm toprak tabakasında yoğunlaştığını ve içeriklerinin derinlikle hızla azaldığını göstermiş, köklerin %50 den fazlasının ilk 20 cm toprak tabakasında ve en üst 0-30 cm toprak tabakasında %60-70'e ulaştığını bulmuştur.

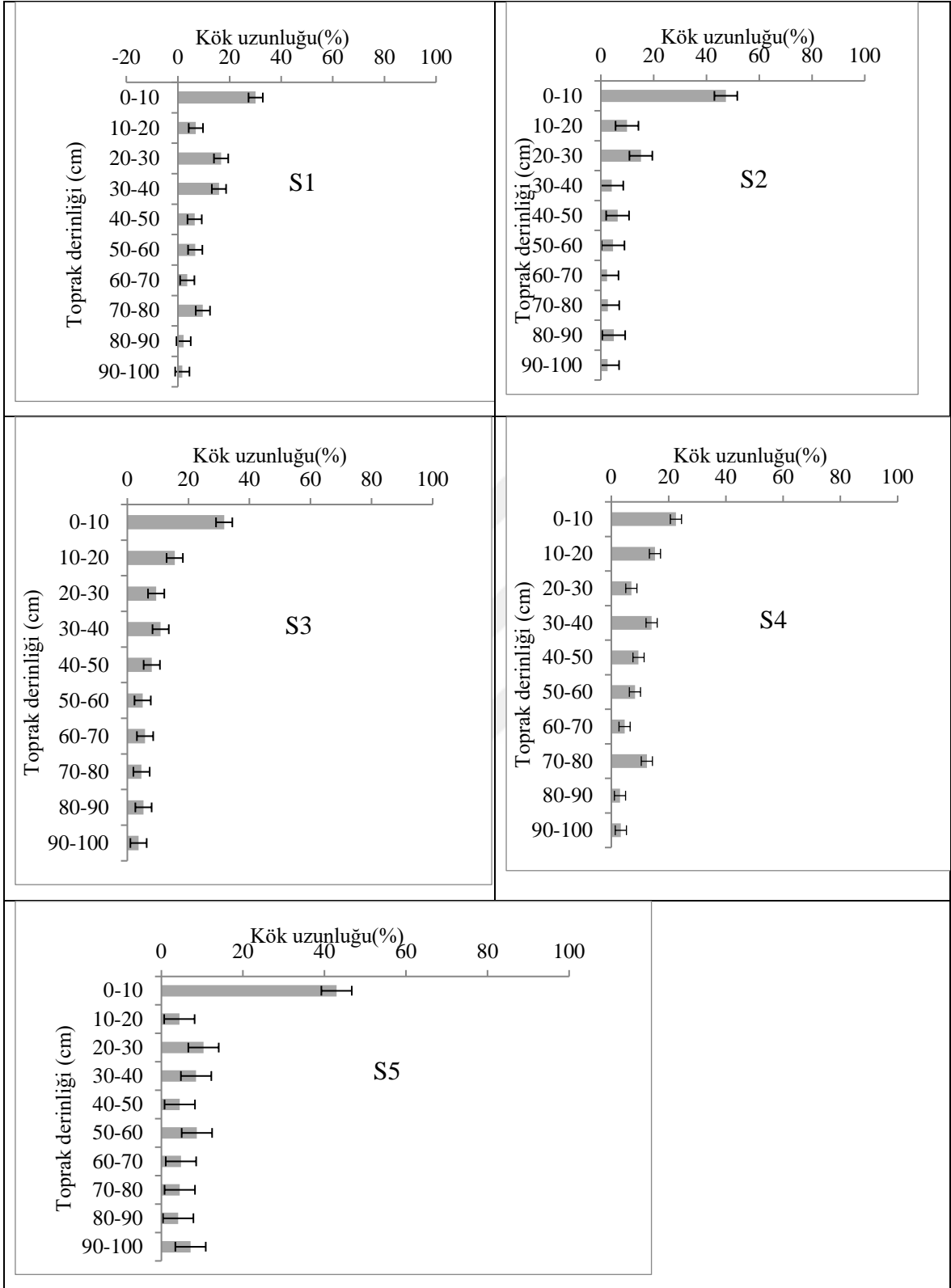
Toplam kök uzunluğunun toprak profili içerisinde derinliğe göre oransal dağılımı, aynı zamanda oransal olarak bitkinin su tüketimi amacı ile kullandığı derinliği de ifade etmektedir. Sulama suyunun eksik uygulandığı konularda, toplam kök uzunluğunun üst katmanlarda yoğunlaşması, bitkinin su tüketimi amacı ile kullandığı toprak derinliğini kısıtlamaktadır. Bu durumda sulama suyu gereksinimi hesaplamalarında kullandığımız ve “Bitkinin gereksinim duyduğu suyun %80’ini tükettiği derinlik” olarak ifade ettiğimiz etkili kök derinliği kavramı kısıtlı sulama yapılan alanlarda kontrollü olarak kullanılmalıdır. Yukarıda ifade edildiği gibi kök uzunluklarının ölçülmesi amacı ile hasat sonrası alınan toprak örneklerinden ölçülen kök uzunluklarına göre etkili kök derinliği konulara göre değişim göstermektedir (Tablo 8) (Şekil 17). Etkili kök derinliği S1, S3 konularında 60 cm’de gerçekleşirken, S2 konusunda 50 cm’de, S4 ve S5 konularında ise 70 cm’de gerçekleşmiştir.

Tablo 8

Kök uzunluklarının oransal olarak derinliğe göre değişimi ve konulara göre etkili kök derinlikleri

Derinlik (cm)	Sulama Düzeyleri*				
	S1	S2	S3	S4	S5
	%	%	%		%
0-10	30,12	47,36	31,71	22,57	42,96
10-20	6,94	9,91	15,52	15,24	4,42
20-30	16,72	15,17	9,44	6,99	10,33
30-40	15,89	4,16	10,91	14,07	8,51
40-50	6,47	6,35	8,01	9,50	4,50
50-60	6,69	4,61	5,01	8,25	8,70
60-70	3,62	2,35	5,80	4,62	4,80
70-80	9,66	2,63	4,65	12,40	4,50
80-90	2,20	4,88	5,29	3,02	4,12
90-100	1,69	2,57	3,66	3,33	7,15

*: Renkli kısımlar konulara göre etkili kök derinliğini göstermektedir.



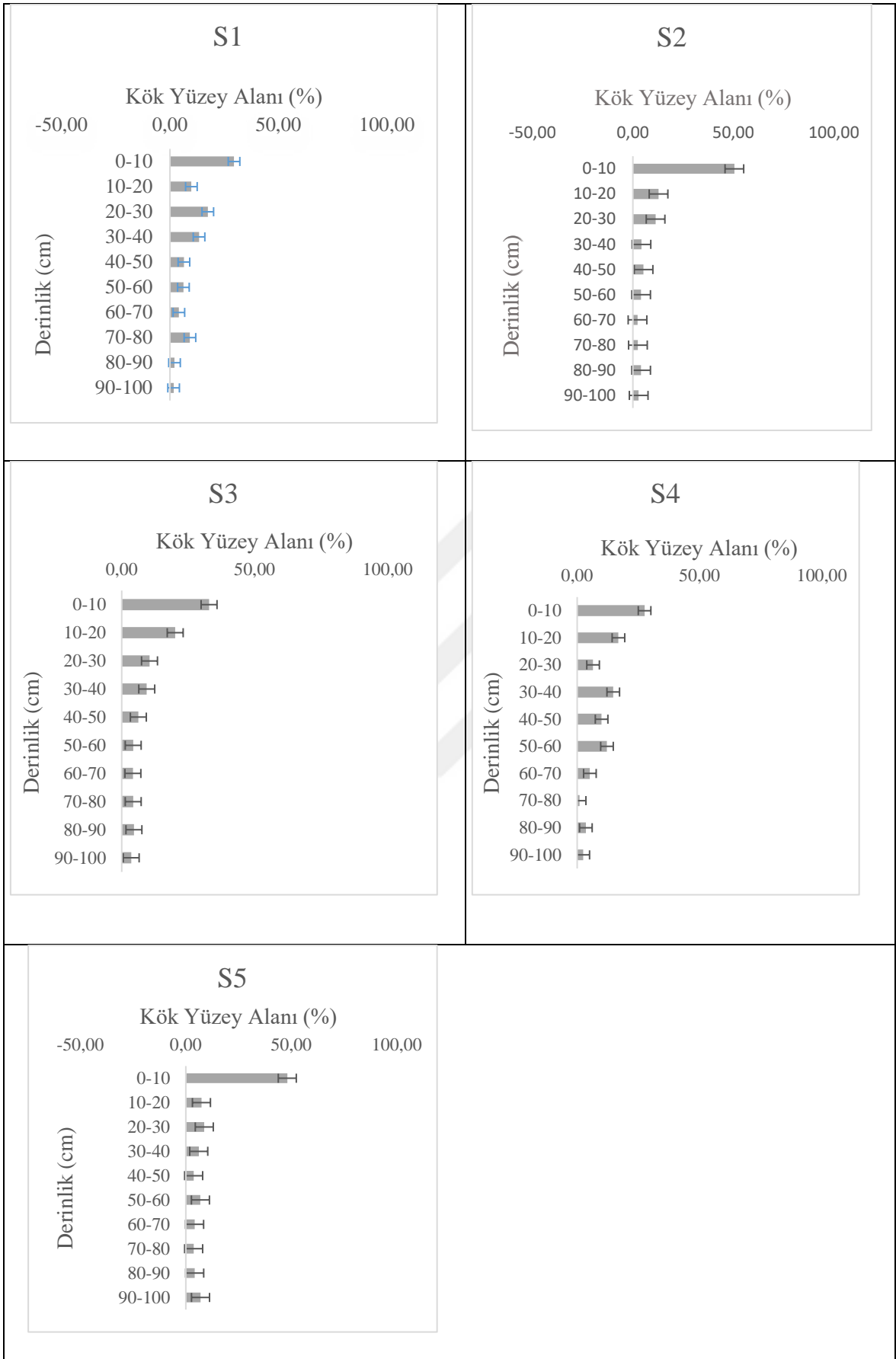
Şekil 17. Kök uzunluklarının derinliğe göre dağılımı (%)

Konularda toplam kök yüzey alanlarının derinliğe göre farkları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P=0,0079$). Ayrıca konularda derinliğe göre kök yüzey alanlarının dağılımı istatistiksel olarak farklıdır ($P<0,0001$). Konularda en yüksek toplam kök yüzey alanı $187,71 \text{ cm}^2$ ile S2 konusunda ve en düşük $110,18 \text{ cm}^2$ ile S5 konularında tespit edilmiştir. S3 konusunda $167,66 \text{ cm}^2$, S4 konusunda $154,32 \text{ cm}^2$ ve S1 konusunda $149,26 \text{ cm}^2$ olarak bulunmuştur (Tablo 9). Konu derinliğe göre incelendiğinde kök yüzey alanının ağırlıklı olarak 0-60 cm'ler arasında olduğu görülmektedir. Özellikle S2 ve S5 konularında toplam kök yüzey alanının yaklaşık %50'sinin 0-10 cm aralığında olduğu görülmüştür. Diğer konularda ise S1' de %29,54, S3'te %32,84, S4 de %27,55'i bu derinlikte tespit edilmiştir (Tablo 9) (Şekil 18).

Tablo 9

Sulama düzeylerine göre ortalama kök yüzey alanı ve derinliğe göre oransal dağılımı

Derinlik (cm)	Konulara Göre Kök Yüzey Alanları									
	S1		S2		S3		S4		S5	
	cm ²	%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²	%
0-10	44,09	29,54	94,79	50,50	55,06	32,84	42,51	27,55	52,99	48,10
10-20	14,75	9,88	23,96	12,76	33,71	20,11	26,02	16,86	8,15	7,40
20-30	26,04	17,45	21,18	11,29	17,51	10,45	10,02	6,49	9,64	8,75
30-40	20,01	13,41	8,00	4,26	15,77	9,41	22,74	14,74	6,74	6,12
40-50	9,59	6,43	9,96	5,31	10,48	6,25	15,40	9,98	4,08	3,70
50-60	9,26	6,21	7,69	4,10	7,22	4,31	18,79	12,18	7,62	6,92
60-70	6,13	4,11	4,31	2,30	7,04	4,20	8,01	5,19	4,58	4,16
70-80	13,75	9,21	4,71	2,51	7,23	4,31	1,53	0,99	4,08	3,70
80-90	3,13	2,10	7,69	4,10	7,69	4,59	5,46	3,54	4,63	4,20
90-100	2,51	1,68	5,42	2,89	5,95	3,55	3,83	2,48	7,67	6,96
<i>Toplam</i>	149,26	100	187,71	100	167,66	100	154,32	100	110,18	100



Şekil 18. Kök yüzey alanlarının derinliğe göre dağılımı (%)

Sartori ve ark. (2016) soyada en yüksek kök yüzey alanını toprak nem içeriğinin %60 olduğu koşullarda ölçmüştür. Halli ve ark. (2021), 2015- 2016 yıllarında mısır (Zeamays L.) bitkisi üzerinde üç farklı dikim yöntemini [geniş yatak ve karık (BBF), sığ ve dar karık (SNF) ve derin ve geniş karık (DWF)] ve dört sulama seviyesini karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, derin ve geniş karık yönteminin SNF ve BBF ile karşılaştırıldığında kök uzunluğunu, kök hacmini, kök yüzey alanını ve kök kuru ağırlığını arttırdığını ortaya koymaktadır. Mevcut toprak neminin %50'si azaldığında yapılan sulama, dikim yöntemlerinden bağımsız olarak kök uzunluğu, kök yüzey alanı ve tane verimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur. Min ve ark. (2014), Pamuk bitkisinde toprağa verilen azot oranı arttıkça, kök yüzey alanının azaldığını belirtmişlerdir. Azotlu gübreleme yapılmayan parsellerde kök yüzey alanı, azot verilen parsellere göre %17 ila 21 daha fazla olmuştur. Chen ve ark. (2010), toprak derinliği arttıkça kök kütlelerinin azaldığını ve kök kütlelerinin çoğunun 0-20 cm toprak derinliğinde bulunduğunu bildirmiştir. Yıllar ve N-gübre uygulama oranlarının ortalaması alındığında, artan sulama seviyeleri ile domates bitkisinin toplam kök yüzey alanı, ortalama çap ve toplam kök hacmi arttığı bildirilmiştir. En fazla kök yüzey alanı ve toplam kök hacmi, daha yüksek sulama seviyelerinde ve N-gübre oranlarında elde edilmiştir (Wang ve ark. 2019). Kışlık buğdayda 75 mm kısıtlı sulama ile sulanan bitkilerde hasat sırasında 150 mm kısıtlı sulama işlemine göre 0-30 cm toprak profilinde önemli ölçüde daha yüksek kök yüzey alanı yoğunluğuna sahip olduğu bulunmuştur (Ali ve ark. 2019)

4.3. Su-Verim İlişkileri

Denemede en yüksek verim 5002,2 kg/ha ile S1 konusunda elde edilmiştir (Tablo 10). Diğer konularda verim sulama düzeyi ile azalmakla beraber %80 düzeyinde su alan S2 konusunda 4577,8 kg/ha, %60 düzeyinde su alan S3 konusunda 4233,6 kg/ha verim alınırken %40 düzeyinde su alan S4 4329,8 kg/ha, sulama suyu uygulanmayan S5 konusunda ise 562,0 kg/ha verim elde edilmiştir. Elde edilen verimlere ilişkin olarak yapılan istatistik analizinde, sulama düzeylerinin dane verimi üzerine etkisinin $P < 0.01$ hata düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Verim değerleri üzerinden yapılan Duncan gruplandırmasında, araştırma konuları 4 farklı grup oluşturmuştur. S1 konusu sağlamış olduğu en yüksek verim ile tek başına 1. Duncan grubunu oluştururken, sulama suyunun %80'nini alan S2 konusu ikinci grubu, %60 ve %40 oranlarında su alan S3 ve S4 konuları 3'üncü ve S5 konusu 4'üncü grubu oluşturmuştur (Tablo 10). İkinci ürün mısırın mevsimlik bitki su tüketimini Kanber

ve ark. (1990) Çukurova koşullarında 474-606 mm arasında belirlerken; yine Çukurova koşullarında ana ürün olarak yetiştirilen mısırın ortalama mevsimlik su tüketimi değerleri 631 mm olarak saptanmıştır (Köksal, 1995). Benzer sonuçlar (659 mm) Öğretir (1993) tarafından Eskişehir koşulları için rapor edilmiştir. Çakır (2004) Kırklareli koşullarında yapmış olduğu araştırmalarda sulama suyunun tam olarak uygulandığı durumlarda mısırın maksimum verim değerinin yıllara göre 13100 ile 13840 kg/ha arasında değişim gösterdiğini bildirmiştir.

Tablo 10

Sulama suyu ile verim miktarları arasındaki varyans analizi sonuçları

Konu	Sulama Suyu (mm)	Mevsimlik Bitki Su Tüketimi mm	Verim (kg/ha)
S1	546	754,9	5002,2 ^A
S2	455,6	671,71	4577,8 ^{AB}
S3	365,2	585,39	4233,6 ^B
S4	274,8	519,44	4329,8 ^B
S5	94	341,66	562,0 ^C

Satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (P<0,05)

Çukurova bölgesinde benzer çalışma yürüten Gençoğlan ve Yazar (1999) da 10015 ile 10035 kg/ha arasında mısır verimleri elde etmiştir. Denemeden elde edilen verimlerin literatürde verilenlerden düşük olması araştırma yıllarında bölgede hakim olan iklim koşulları ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Uygulanan sulama suyu miktarları ile gerçekleşen bitki su tüketimleri doğru orantılı olarak değişmiştir. Deneme konularında gerçekleşen mevsimlik bitki su tüketimi sulama suyu, yağış ve topraktan kaldırılan nem miktarına göre farklılık göstermiştir (Tablo 10).

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ

Deneme konuları 7 kez sulanmış ve S1'den başlamak üzere sırası ile 546 mm, 455,6 mm, 365,2 mm, 274,8 mm ve 94 mm sulama suyu uygulanmıştır. Konularda gerçekleşen mevsimlik bitki su tüketimi aynı sıra ile 754,9 mm, 671,71 m, 585,39 mm, 519,44 mm ve 341,66 mm olmuştur. Sulama düzeylerinin toplam kök uzunlukları arasındaki fark istatistiki olarak önemsiz bulunmuş olmakla beraber ($P=0,0762$), eksik su alan konularda ölçülen toplam kök uzunluğu daha fazladır. En yüksek toplam kök uzunluğu 3879,77 cm ile S4 ve en düşük 2525,11 cm ile S5 konularında tespit edilmiştir. Konularda toplam kök yüzey alanlarının derinliğe göre farkları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P=0,0079$). Ayrıca konularda derinliğe göre kök yüzey alanlarının dağılımı istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($P<0,0001$). Konularda en yüksek toplam kök yüzey alanı 187,71 cm² ile S2 ve en düşük 110,18 cm² ile S5 konularında tespit edilmiştir. Su kısıtı, konularda üst katmanlarda oluşan kök miktarının artmasına neden olmuştur. Bu da yine 0-30 cm gibi toprağın üst katmanlarında ölçülen kök yüzey alanını artırmıştır.

Deneme konularının tamamında kök yoğunluğunun 0-50 cm arasında yoğunlaştığı görülmüştür. Bu konu sulama programlarının oluşturulmasında dikkate alınmalıdır. Mısır için hazırlanacak sulama programları 90 cm ve üzerinde toprak derinliğini tarla kapasitesine getirecek şekilde olmamalıdır. Sulamalar daha sık aralıklarla yapılmalı buna karşılık daha sığ derinlikleri ıslatacak şekilde olması su kullanımının daha etkin olmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Adriano, E., Laclau, J. P., Rodrigues, J. D. (2017). "Deep rooting of rainfed and irrigated orange trees in Brazil". *Trees*, 31:285–297. DOI 10.1007/s00468-016-1483-5.
- Ali, S., Xu, Y., Ma, X., Ahmad, I., Jia, Q., Akmal, M., ... & Jia, Z. (2019). "Deficit irrigation strategies to improve winter wheat productivity and regulating root growth under different planting patterns". *Agricultural Water Management*, 219, 1-11.
- Bayrak, F. (1979). *Bafra Ovası Koşullarında Mısır Su Tüketimi, Bafra Koşullarında Yetiştirilen Mısırın Su-Verim İlişkileri*. K.H.A.E Yayınları, Genel Yayın No: 15, Seri No:13.
- Bouyoucos, G. S. (1951). A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. *Aron*, 43, 434-448,
- Chen, W., Hou, Z., Wu, L., Liang, Y., & Wei, C. (2010). "Effects of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment". *Plant and soil*, 326(1), 61-73.
- Covre, A. M., Partelli, F. L., Gontijo, I., Zucoloto, M, e. (2015). "Root system distribution of irrigated and nonirrigated conilon coffee". *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 50(11), 1006-1016. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001100003.
- Çakır, R. (2004). "Effect of Water Stress at Different Development Stages on Vegetative and Reproductive Growth of Corn". *Field Crops Research*, 89 (1), 1-16.
- Dahlman, R.C., Kucera, C.L. (1965). "Root productivity and turnover in native prairie". *Ecology*, 46, 84–89.
- Dardanell, J., Bachmeier, D., Sereno, R., Gil, R. (1997). "Rooting Depth and Soil Water Extraction Pattern of Different Crops in Silty Loam Haplustalf". *Field Crop Research*, 54, 29-38.
- Dehqani, M., Enamzadei, M. N, Shahnazari, A., Gheisari, M. (2017). "The Effect of Furrow Irrigation Management on Terend of Corn Root Growth". *İran Toprak ve Su Araştırmaları*, 50(5), 1264-1255. DOI: 10.22059/ijswr.2018.263763.667990.
- Entz, M.H., Gross, K.G., Fowler, D.B. (1992). "Root Growth and Soil Water Extraction by Winter and Spring Wheat". *Canadian Journal of Plant Science*, 72(4), 1109-1120.

- Erol O. (1992). “Çanakkale yöresinin jeomorfolojik ve neotektonik evrimi”. TPJD Bülteni, 4(1), 7-165.
- Feng, Q., Si, J., Li, J., Xi, H. (2008). “Feature of root distribution of *Populuseuphratica* and its water uptake model in extremearid region”. *Adv. Earth Sci.* 23, 765–772.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle Size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis, Part A.* Klute (ed.). 2 Ed., Vol. 9 nd. Am. Soc. Agron., Madison, WI, 383-411.
- Gençoğlan, C., Yazar, A. (1999). “Kısıntılı su uygulamalarının mısır verimine ve su kullanım randımanına etkileri”. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23, 233-241.
- Halli, H. M., Angadi, S., Kumar, A., Govindasamy, P., Madar, R., El-Ansary, D. O., ... & Elansary, H. O. (2021). “Influence of Planting and Irrigation Levels as Physical Methods on Maize Root Morphological Traits, Grain Yield and Water Productivity in Semi-AridRegion”. *Agronomy*, 11(2), 294.
- Hamido, S. A. and Morgan, K. T. (2020). “Effect of Various Irrigation Rates on Growth and Root Development of Young Citrus Trees in High-Density Planting”. *Plants*, 9, 1462. Doi:10.3390/plants9111462.
- Himmelbauer, M. L., Loiskandl, W., Kastanek, F. (2004). “Estimating length, average diameter and surface area of root susing two different Image analyses systems”. *Plant and Soil*, 260, 111–120.
- Hu, T., Kang, S., Li, F., Zhang, J. (2009). “Effects of partia lroot-zone irrigation on the nitrogen absorption and utilization of maize”. *Agricultural Water Management*, 96(2), 208-214.
- Huang, B., (1999). “Water relations and root activities of *Buchloe dactylodies* and *Zoyria japonica* in response to localized soil drying”. *Plant and Soil*, 208, 179-186.
- Jaafar, M., Stone, L., Goodrum, D. (1993). “Rooting depth and dry matter development of sunflower”. *Agronomy Journal*, 85(2), 281-286.
- Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E., Schulze, E.D. (1996). “A global analysis of root distributions forterrestrialbiomes”. *Oecologia* 108, 389–411.

- James, L.G. (1988). Principles of Farm Irrigation System Design. John Wiley and Sons, Inc, New York, 543.
- Jiu-Sheng, L., Hong-yan, J.I., Bei, L.I., Yu-chun, L.I.U. (2007). "Wetting patterns and nitrate distributions in layered-textural soils under drip irrigation". Agricultural Sciences in China, 6 (8), 970–980.
- Kanber R., Yazar A., Eylen M. (1990). Çukurova Kosullarında Bugdaydan Sonra Yetistirilen İkinci Ürün Mısırın Su–Verim İlişkisi, Tarsus Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yay. No: 173, Rapor Seri No: 108, Tarsus, Pp: 77.
- Kang, S., Zhang, J. (2004). "Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency". Journal of Experimental Botany, 55(407), 2437–2446.
- Kavdır, Y., & Smucker, A. J. (2005). "Soil aggregate sequestration of cover crop root and shoot-derived nitrogen". Plant and soil, 272(1), 263-276.
- Kırtok, Y. (1998). Mısır Üretimi ve Kullanımı. Kocaelik Basım ve Yayınevi, İstanbul, 445 s.
- Klepper, B. (1990). Root growth and water uptake. Irrigation of agricultural crops, Ed: Stewart, B.A., Neilsen, D.R. Madison, Wisconsin USA, 281–321.
- Köksal H. (1995). Çukurova Koşullarında II. Ürün Mısır Bitkisi Su–Üretim Fonksiyonları ve Farklı Büyüme Modellerinin Yöreğe Uygunluğunun Saptanması Üzerine Bir Araştırma, (Doktora Tezi) Ç.Ü. Fen. Bil. Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana, 199 s.
- Li, X., Simunek, J., Shi, H. et al. (2017). "Spatial distribution of soil water, soil temperature, and plant roots in a drip-irrigated intercropping field with plastic mulch". Europ. J. Agronomy 83, 47–56. DOI 10.1016/j.eja.2016.10.015.
- Machado, R.M.A., Oliveira, M.R.G. (2003). "Comparison of tomato root distributions by and destructive sampling". Plant and Soil, 255, 375-385.
- Mahgoub, N.A., Ibrahim, A.M., Ali, M.O. (2017). "Effect of different irrigation systems on root growth of maize and cowpea plants in sandy soil". Eurasian J SoilSci (4), 374 – 37.

- Mehrabi, F., Sepaskhah, A. R., Ahmadi, S. H. (2021). "Winter wheat root distribution with irrigation, planting methods, and nitrogen application". Springer Nature, Nutr Cycl Agroecosyst, 119, 231–245. <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10120-1>.
- Melhuish, F.M., Lang, A.R.G. (1969). A new technique for estimating diameter, total length and surface area of roots grown in soil. In: Whittington, J. (Ed.), Root Growth. Butterworths, London, 397-398.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), (2021). Çanakkale İli ve çevresi uzun yıllık iklim ortalamaları. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=CANAKKALE>
- Min, W., Guo, H., Zhou, G., Zhang, W., Ma, L., Ye, J., Hou, Z. (2014). "Root distribution and growth of cotton as affected by drip irrigation with saline water". Field Crops Research, 169, 1-10.
- Mmolawa, K., Or, D. (2000). Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands.
- Oliveira MRG, vanNoordwijk M, Gaze SR, Brouwer G, Bona S, Mosca G, Hairiah K. (2000). Augersampling, in growth core sandpinboard methods. In: Smit AL, Bengough AG, Engels C, vanNoordwijk M, Pellerin S, van de Geijn SC (eds) Root Methods: A Handbook. Springer, Berlin, 587.
- Öğretir, K. (1993). Eskişehir Koşullarında Mısırın Su-Verim İlişkileri, (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 83 s.
- Özcan H., Ekinci H., Yüksel O., Kavdır Y., Kaptan H. (2004). Dardanos Yerleşkesi toprakları, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi yayınları, No: 39. Çanakkale, 63 s.
- Petersen, R. G., Calvin, L. D., Ed. By. C.A. Black ve ark. (1965). Sampling Methods of soil analysis, Part.1, Agronomy series No: 9, ASAE Publ., Madison, Wisconsin, 54-72.
- Sartori, G.M.S., De David, E.M.R., Nicoloso, F.T., Schorr, M.R.W., Filho, A.C., Donato, G. (2016). "Growth and development of soybean roots according to planting management systems and irrigation in low land areas". CiênciaRural, Santa Maria, 46(9), 1572-1578.

- Song, H.X., Li, S.X. (2006). "Root function in nutrient uptake and soil water effect on NO₃⁻-N and NH₄⁺-N migration". *Agricultural Sciences in China*, 5(5), 377-383.
- Sperry, J.S., Stiller, V., Hacke, U.G. (2002). Soil water uptake and water transport through root systems. In: *Plant Roots: The Hidden Half*. Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (Eds.). 3rd Edition, MarcelDekkerInc. New York, USA, 1008-1040.
- Statistical Analysis System (SAS), (1987). SAS V 8.2. SAS Institute Inc., Cary, NC 27513-2414, USA.
- Wang, P., Song, X., Han, D., Zhang, Y., Liu, X. (2010). A study of root water uptake of crops indicated by hydrogen and oxygen stable isotopes: A case in ShanxiProvince, China*AgriculturalWater Management*, 97, 475–482.
- Wang, X., Yun, J., Shi, P., Li, Z., Li, P., Xing, Y. (2019). "Root growth, fruit yield and water use efficiency of greenhouse grown tomato under different irrigation regimes and nitrogen levels". *Journal of PlantGrowthRegulation*, 38(2), 400-415.
- Wiesler, F., Horst, W.J. (1994). "Root growth of maize cultivars under field conditions as studied by the core and method and relationships to shoot growth". *Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde*, 157(5), 351-358.
- Yang, C.H., Chai, Q., Huang, G.B. (2010). "Root distribution and yield responses of wheat/maize intercropping to alternate irrigation in the aridareas of northwest China". *Plant, Soil and Environment*, 56(6), 253–262.
- Yavuz, M.Y., Çakir, R., Kavdir, Y., Deveciler, M., Bahar, E. (2012). "Irrigation water management for sprinkler irrigated cornusing rooting data obtained by the minirhizotron technique". *Int. J. Agric. Biol.*, 14, 11–19.