

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**TOPRAK ALTI DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNDE
BARIYER KULLANIMININ
SULAMA VERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Özkan ÇEÇEN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YÜRDEM

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Doktora Programı

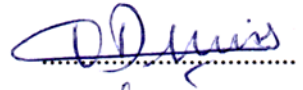
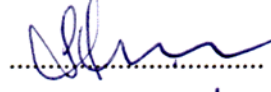
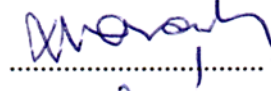
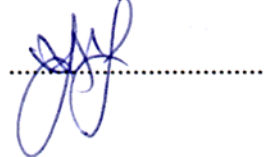
İzmir
2019

KABUL ONAY SAYFASI

Özkan ÇEÇEN tarafından doktora tezi olarak sunulan “**Toprak Altı Damla Sulama Sistemlerinde Bariyer Kullanımının Sulama Verimine Etkisinin Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 13.12.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YÜRDEM	
Raportör Üye	: Prof. Dr. Vedat DEMİR	
Üye	: Prof. Dr. Sezai DELİBACAK	
Üye	: Prof. Dr. Murad ÇANAKCI	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Ersel YILMAZ	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “**Toprak Altı Damla Sulama Sistemlerinde Bariyer Kullanımının Sulama Verimine Etkisinin Belirlenmesi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

13 / 12 / 2019

İmzası

Özkan ÇEÇEN

ÖZET

TOPRAK ALTI DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNDE

BARİYER KULLANIMININ

SULAMA VERİMİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

ÇEÇEN, Özkan

Doktora Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YÜRDEM

Aralık 2019, 107 sayfa

Bu çalışma, toprak altı damla sulama sistemlerinde fiziksel bariyer kullanımının sulama verimine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, 0,5 x 1,5 x 2,0 m ölçülerinde altı adet yükseltilmiş yetiştirme alanı hazırlanmış ve bu alanlarda çim yetiştirilmiştir. Yetiştirme alanlarına sulama amacıyla farklı derinlikte (10 ve 15 cm) toprak altı damla sulama boruları yerleştirilmiş ve boruların altına farklı iz düşüm genişliğinde (20 ve 30 cm) toprak altı fiziksel su bariyerleri yerleştirilmiştir. Bariyer kullanımının, kumlu bünyeye sahip toprak şartlarında yetiştirilen çim bitkisinin su tüketimleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve su tasarrufu konusundaki performansları ortaya koyulmuştur. Çalışma sonunda; bariyer kullanılan yetiştirme alanlarında bariyer kullanılmayanlara kıyasla %78'e varan oranda su tasarrufunun sağlandığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Toprak altı damla sulama, bariyer, su tasarrufu, çim

ABSTRACT

DETERMINATION OF IRRIGATION EFFICIENCY OF BARRIER USE IN SUBSURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEMS

ÇEÇEN, Özkan

PhD Thesis, Department of Agricultural Machinery and Technologies
Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hüseyin YÜRDEM

December 2019, 107 pages

This study was carried out to determine the effects of physical barriers on irrigation efficiency in subsurface drip irrigation systems. In the study, six growing plots (0,5 x 1,5 x 2,0 m) were prepared and grass was planted in these plots. Subsurface drip irrigation pipes were placed at different depths (10 and 15 cm) and different widths (20 and 30 cm) and physical water barriers were placed under pipes. The effects of using physical water barrier on water consumption of grass grown in sandy soil conditions were investigated and their performance on water saving was determined. At the end of study; it has been determined that water conservation was nearly 78% in the barrier used in cultivation areas as compared to those where the barrier was not applied.

Key word: Subsurface drip irrigation, barrier, water conservation, grass

ÖNSÖZ

Bilim dünyası, içinde bulunduğumuz yüzyılın sonlarında aşırı nüfus, temiz su kaynaklarının tükenmesi, açlık ve kirlilik nedeniyle büyük felaketlerin yaşanacağını öngörmektedir. Yeterli tedbirlerin alınmaması halinde bu felaketlerin yalnızca bir başlangıç olacağı tahmin edilmektedir.

İnsan yaşamı için önemli bir doğal bileşen olan tatlı ve temiz su kaynaklarının korunması geleceğimizin garanti altına alınması için öncelikli hedeflerden biri olmaktadır. Yaşam kalitemizi düşürmeden gelecekteki su talebimizi azaltacak her çalışma geçen zamanla daha da önemli hale gelmektedir.

Bu tez çalışması buradan doğan motivasyon ile su tüketim kalemleri içerisindeki en büyük dilimi oluşturan sulama suyu ihtiyacını azaltmayı hedefleyen mevcut uygulamalara alternatif bir sulama sisteminin geliştirilmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışma boyunca toprak ortamı, bitki, su kaynağı, enerji ve otomasyon konuları birlikte çalışılıp çok sayıda disiplinden yararlanarak bu disiplinlerin sunduğu imkânlar bir araya getirilmeye çalışılmıştır. Sulama sistemlerinin en zayıf noktası genellikle bitkinin hiç yararlanamayacağı su miktarının toprağın derinliklerine sızarak kaybedilmesidir. Böylece çok değerli bir yaşam kaynağını kullanmadan toprağa bırakan sistemlerin önüne geçmeye çalışan su tutma bariyerleri çalışmanın öne çıkan noktası olmaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilerin sulama sistemi tasarımcılarına, peyzaj konusunda çalışanlara, su teknolojisi ve su kaynakları yöneticilerine, bitkisel yetiştiricilikle uğraşan işletmelere ışık tutması hedeflenmektedir.

İZMİR

13/12/2019

Özkan ÇEÇEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	8
2.1 TADS Sistemleri	8
2.2 Çim Yetiştirilmesi	12
2.3 Toprakta Su Tutulması	13
3. MATERYAL ve YÖNTEM	23
3.1 Materyal	23
3.1.1 Deneme Düzeninin Kurulduğu Alan	23
3.1.2 Yetiştirme Alanları	24
3.1.3 Toprak Özellikleri	27
3.1.4 Sulama Suyu ve Özellikleri	28
3.1.5 Sulama Sisteminde Yer Alan Elemanlar	29
3.1.6 Çalışmada Kullanılan Ölçüm Aletleri	32
3.1.7 Çalışmada Kullanılan Ölçüm-Kayıt ve Kontrol Sistemleri	34
3.1.8 Kullanılan Programlar	39
3.1.9 Ölçme ve Kontrol Sisteminin Montajının Yapılması	42
3.1.10 Boru ve Kablo Hatlarının Döşenmesi	42

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.11 Çalışmada Kullanılan Çim Tohumları	43
3.1.12 Çalışmada Kullanılan Çim Biçme Makinası	43
3.2 Yöntem	44
3.2.1 Damlatıcıların Farklı Basınçlardaki Debilerinin Belirlenmesi.....	44
3.2.2 Bariyer Kullanımının Toprak Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Analizler	44
3.2.3 Kalibrasyon ve Ön Denemeler	45
3.2.4 Deneme Düzeninde Kullanılan Debimetreler ile Yapılan Ön Çalışmalar ..	45
3.2.5 Toprak Nem Algılayıcısı ile Yapılan Ön Denemeler.....	46
3.2.6 Bariyer Kullanımının Toprak İçindeki Su Hareketine Etkisinin İncelenmesi Amacıyla Yapılan Ön Denemeler	48
3.3 Farklı Bariyer Tasarımları ve Su Depolama Kapasiteleri	49
3.3.1 Deneme Konuları	51
3.3.2 Su Tutma Bariyerleri, Toprak Altı Damla Sulama Boruları ve Nem Algılayıcılarının Yerleşimi	52
3.3.3 Sistemin Devreye Alınması ve Güvenilirlik Testlerinin Yapılması.....	61
3.3.4 Sulama Deneylerine Başlanması.....	61
3.3.5 Çim Tohumu Ekimi ve Çimlendirme İşlemi.....	62
3.3.6 Sulama ve Bakım Çalışmalarına Devam Edilerek Veri Kaydı Yapılması.....	63
3.3.7 Çim Biçme ve Değerlendirme Çalışmalarının Yürütülmesi	63
3.3.8 Toprak Örneklerinin Alınması	64
3.3.9 Farklı Konularda Kök Gelişiminin İncelenmesi	64
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	66
4.1 Damlatıcıların Basınç-Debi İlişkilerinin Belirlenmesine Ait Bulgular ve Tartışma	66

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2 Toprak Altı Damla Sulama Sistemi ile Bariyer Kullanımının Toprak İçindeki Su Hareketine Etkisinin İncelenmesi.....	67
4.2.1 Toprak Üstü Damlatıcı ve Su Tutma Bariyeri Kullanılan Deneme Kaplarındaki Bulgular	68
4.2.2 Toprak Altı Damlatıcı ve Su Tutma Bariyeri Kullanılan Deneme Kaplarındaki Bulgular	70
4.3 Toprak Nem Algılayıcıları ile Toprak Rutubetinin Belirlenmesine İlişkin Bulgular	72
4.4 Farklı Dönemlerde Kullanılan Sulama Suyu Miktarları	75
4.5 Yaş Ot Verimi	80
4.6 Bariyer Kullanımının Toprak Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Toprak Analizlerinde Elde Edilen Bulgular	83
4.7 Su Tutma Bariyerlerinin Yağmur Suyu Kazancına Etkisi.....	86
4.8 Yetiştirme Alanlarında Görsel Değişim.....	88
4.8.1 Farklı Konularda Kök Gelişiminin Değerlendirilmesi	89
4.9 TARTIŞMA	90
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	94
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	99
TEŞEKKÜR	106
ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. TADS sisteminin genel görünümü	2
2.1. TADS sistemi ile poliakrilamid uygulaması.....	15
2.2. Plastik örtünün malçlama işleminde kullanılması	18
2.3. Saman tabakasının malçlama işleminde kullanılması).....	18
2.4. Toprak altı su tutma bariyeri denemesi	19
2.5. Geotekstil malzemenin fiziksel bariyerlerle birlikte kullanımı	20
2.6. Hidrolik bariyer ve fiziksel bariyer kullanımını gösteren kesit şemalar.....	21
2.7. Farklı toprak profillerinde ıslatma deseni.....	22
2.8. Bariyer ve geotekstil malzemenin TADS borusuna tümleşik olarak yerleştirilmesi. 22	
2.9. Bariyerli bir toprak altı damla sulama borusuna ait ıslatma deseninin bariyersiz sistemle karşılaştırılması.....	22
3.1. Deneme alanının görüntüsü.....	23
3.2. Yükseltilmiş yetiştirme alanları.....	25
3.3. Lazer vericisi ve seviye ayar cihazı.....	26
3.4. PVC su yalıtım örtüsü	26
3.5. PVC su yalıtım örtüsü ile kaplanmış yetiştirme ortamları	27
3.6. Yetiştirme alanlarının toprakla doldurulması	28
3.7. Sulama sisteminde yer alan basınç düzenleyici.....	30

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.8. Su tesisatında kullanılan elek filtre	30
3.9. Basınç dengeleyicili TADS borusu ve kullanılan damlatıcının genel görünüşü	31
3.10. Deneme düzeninde kullanılan 24V AC solenoid vanalar	32
3.11. Deneme düzeninde kullanılan debimetreler	32
3.12. Toprak nem ölçümü için kullanılan algılayıcının genel görünüşü.....	33
3.13. Çalışmada kullanılan ölçüm-kayıt ve kontrol sistemi.....	35
3.14. Giriş çoklayıcısı (AM16/32, CAMPBELL Scientific Inc.)	36
3.15. Ölçüm ve kontrol cihazı (CR5000, CAMPBELL Scientific Inc.)	36
3.16. Güç katı görevi yapan röle kartı	36
3.17. Debimetrelerden gelen verinin toplanmasında kullanılan veri toplama modülleri..	38
3.18. ADAM 4561 Çevirici	39
3.19. LoggerNet programında toprak nem değerleri okuma ekranı.....	40
3.20. Advantech GeniDAQ programında debimetre okuma ekranı	41
3.21. Kayıt kontrol ve besleme üniteleri.....	41
3.22. Su ve kablo iletim boruları	42
3.23. Çalışmada kullanılan çim biçme makinası	43
3.24. Debimetre kalibrasyon düzeneği	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.25. Algılayıcı deney kabı.....	47
3.26. Toprak nem algılayıcı okumaları.....	47
3.27. Ön denemelerde kullanılan saydam deneme kapları	49
3.28. Farklı bariyer tasarımları ve kesit alanları	50
3.29. Deneme konularının yerleşim planı ve dikkate alınan ölçüler	51
3.30. Deneme konularında boru ve bariyer yerleşimi.....	52
3.31. Bariyer profil tasarımında dikkate alınan ölçüler	53
3.32. TADS borularının hazırlanması ve ölçüler.....	54
3.33. TADS borularının yetiştirme alanlarına yerleşimi ve su iletim borularına bağlantısı.....	55
3.34. Galvanizli demir borudan hazırlanan kılavuz yerleşimi.....	56
3.35. Bariyersiz konularda toprak altı damla sulama borularını yerleşimi.....	56
3.36. Bariyer yerleştirilecek toprak profilinin düzenlenmesinde kullanılan sürgü.....	57
3.37. Sürgü kullanılarak hazırlanan bariyer yerleştirilecek toprak profili.....	57
3.38. Deney alanı montaj referansları.....	58
3.39. Hazırlanan toprak profiline bariyer yerleşimi.....	59
3.40. Boru ve bariyerler kapatılmadan önce son ölçülendirme	59
3.41. Bariyerin yerleşiminde uç noktalarının aynı eksende olması	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.42. Toprak nem algılayıcılarının yerleştirilmesi.....	60
3.43. Tohum karışımı kapatılmadan önce.....	62
3.44. Tohum gübre katmanı.....	62
3.45. Çimlerin çıkış başlangıcı	63
3.46. Yetiştirme bölgelerinden elde edilen çimlerin tartılması.....	64
3.47. Toprak kesitinin basınçlı su spreyi ile yıkanarak kök gelişim ve yönelimlerinin incelenmesi	65
4.1. Denemede kullanılan TADS borularının damlatıcılarına ait basınç-debi ilişkisi	66
4.2. İki yıl kullanılan TADS boruların etrafındaki kök sarmalı.....	67
4.3. Toprak üstü damla sulamanın düzlemsel bariyerle etkileşimini görmek amacıyla yapılan ön denemenin görsel sonuçları.....	69
4.4. Toprak altı damla sulamanın kavisli bariyerle etkileşimini görmek amacıyla yapılan ön denemenin görsel sonuçları.....	71
4.5. Sulama kesildikten 24 saat sonra suyun bariyerli ve bariyersiz düzenekteki durumu	71
4.6. Farklı konularda zamana bağlı olarak hacimsel su içeriğinin değişimi	73
4.7. Hava sıcaklığının zamana bağlı olarak değişiminin toprak hacimsel su içeriği değişimine etkisi	74
4.8. Farklı derinliklerdeki toprak rutubet algılayıcılarının karşılaştırılması	75

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

4.9. Yetiştirme alanlarındaki iki haftalık ekim öncesi dönemde toplam su tüketim miktarları.....	76
4.10. 2015 ve 2016 yıllarında yapılan denemelerde her bir yetiştirme alanında tüketilen toplam su miktarları.....	77
4.11. Yetiştirme alanlarında ekim öncesinde ve bitki olan dönemlerde günlük ortalama su tüketim değerleri.....	78
4.12. 2015 yılında biçilmiş toplam yaş ot kütle değerleri (g).....	81
4.13. 2016 yılında biçilmiş toplam yaş ot kütle değerleri (g).....	81
4.14. D10-B30 alanında kök kesiti	82
4.15. Derinliği farklı olan konulardan biçilmiş çimin yıllara göre toplam değerleri (g) ..	83
4.16. Deneme öncesi ve sonrasında yetiştirme alanlarından alınan toprak örneklerindeki tuz değişimi.....	86
4.17. Yetiştirme alanlarında yağmurlu dönem sonrası sulama ihtiyacı olmayan gün sayısı	88
4.18. Farklı deneme konularındaki çimlerin görsel durum.....	88
4.19. Bariyer olmayan yerdeki kök gelişimi.....	89
4.20. Bariyer üstündeki kök gelişimi.....	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Toprak analiz sonuçları.....	28
3.2. Sulama suyu ve özellikleri.....	29
3.3. Kullanılan debimetrelerin teknik özellikleri	33
3.4. Toprak nem ölçümü için kullanılan algılayıcının teknik özellikleri.....	33
3.5. Giriş çoklayıcısının teknik özellikleri.....	37
3.6. Ölçüm-Kayıt ve kontrol cihazının (Data logger) teknik özellikleri.....	37
3.7. Güç katı görevi yapan röle kartının teknik özellikleri	37
3.8. ADAM 4080 veri toplama modüllü (Counter/Frequency Input Module).....	38
3.9. ADAM 4561 Çevirici (Converter).....	39
3.10. Denemede kullanılan çim biçme makinasının teknik özellikleri.....	43
3.11. Farklı geometrik şekildeki ve 20 cm genişliğindeki bariyerlerin kullanım miktarları.....	50
3.12. Hesaplama sonuçları.....	53
4.1. Denemede kullanılan TADS borularında yer alan damlatıcının farklı basınçlardaki ortalama damlatıcı debileri (q), damlatıcı parametreleri (k, x) ve yapım farklılığı katsayısı (Vm).....	66
4.2. Yetiştirme alanlarının 2016 yılında kurak dönemdeki haftalık su tüketim değerleri (L)	79

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.3. Çim biçme faaliyetleri sonrasında yetiştirme alanlarından toplanan yaş ot kütleleri (g)	80
4.4. Yıllara göre sulama verimleri	82
4.5. Deneme sonrası toprak analiz sonuçları	84
4.6. Yağışlı günlerde düşen yağmur miktarı ve sonrasında yapılan sulamalarda kullanılan su miktarları (L)	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A :	Açı (°)
D :	Daire çapı (m)
h :	Çalışma basıncı (bar)
R :	Daire yarı çapı (m)
q :	Ortalama damlatıcı debisi (L/h)
k, x :	Damlatıcı parametreleri ($q = k h^x$)
V _m :	Yapım farklılığı katsayısı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
TADS :	Toprak Altı Damla Sulama
D10 :	Bariyer derinliği 10 cm olan konu
D15 :	Bariyer derinliği 15 cm olan konu
B00 :	Bariyer olmayan konu
B20 :	Bariyer iz düşümü genişliği 20 cm olan konu
B30 :	Bariyer iz düşümü genişliği 30 cm olan konu

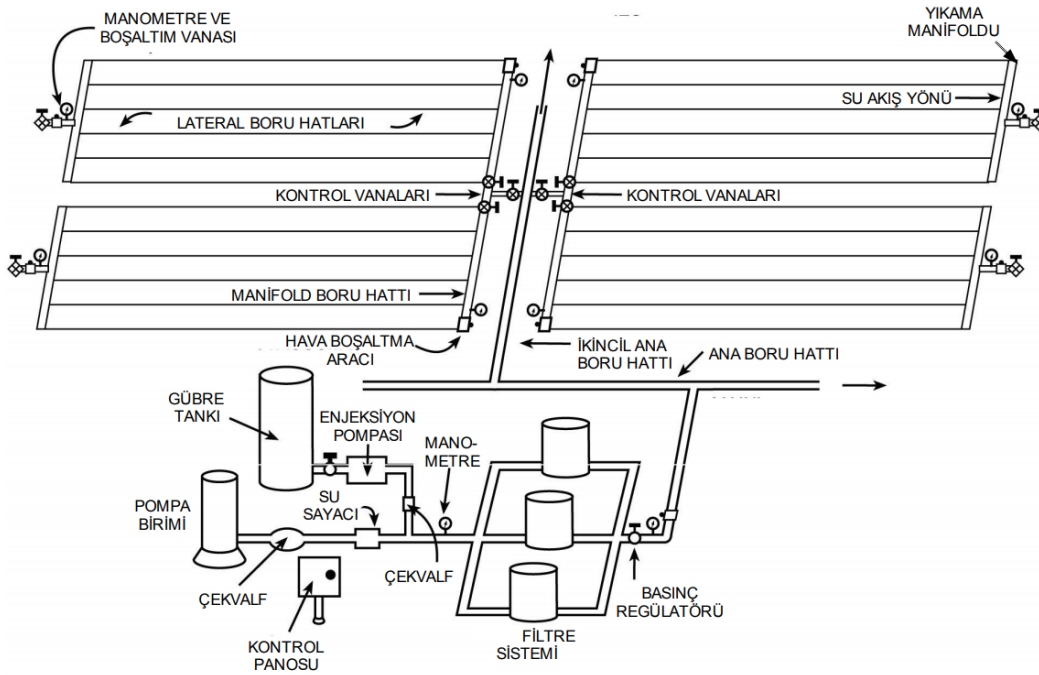
1. GİRİŞ

Tüm dünyada, nüfus artışı gibi sebeplerle ortaya çıkan gıda talebi tırmanışının karşılanabilmesi için dünya gıda üretiminin 2030 yılına kadar %50 ve 2050 yılına kadar da %100 artırılması için bir mücadele verilmektedir (Parris, 2010). Dünya nüfusuna yılda yaklaşık 80 milyon kişinin eklendiği kabul edilmektedir (United Nations, 2019). Gıda üretiminin bu ölçüde artırılması da hem tarımda hem de hayvancılıkta aynı oranda su talep artışı anlamına gelmektedir. Oysa tüm dünyadaki temiz su kaynakları bugün dahi bu ihtiyacı karşılayamamaktadır. Tarımsal faaliyetler tüm dünyadaki temiz su kaynaklarının %70'ini kullanmaktadır (Pimentel et al., 2004). Türkiye’de bu oran %75 olarak gerçekleşmektedir (Ertek ve Yılmaz, 2014). Türkiye nüfusunun 2030 yılına kadar 100 milyonu bulması ve bu tarihe gelindiğinde günümüzden daha sıcak ve kurak bir ülke haline gelmesi beklenmektedir (Croitoru et al., 2016). Nüfus artışı ve iklim değişikliğinin yanında su kaynaklarının yanlış kullanımı ve kirlenmeye neden olan üretim faaliyetlerinin de artması ihtiyaç duyulan temiz suyun bulunmasını daha da zorlaştıracaktır.

Tarımda sulama yöntemlerinin daha etkili kullanıldığı AB ülkelerinin tarımda temiz su kaynaklarını kullanma ortalaması %33 düzeyindedir (Aksungur ve Firidin, 2008). Bu nedenle sulama suyu kullanımındaki etkinlik artışını hedefleyen çalışmalar en büyük su tüketim alanına odaklandığı için ön plana çıkmaktadır. Bu konudaki her ilerleme, sürdürülebilir tarım, doğal kaynakların ve yaşamın korunması, gelecekteki ihtiyaçların giderilmesi ve yeterli gıdaya erişim için önem taşımaktadır.

Bugün tarımda daha az su tüketimi için suyu doğrudan istenilen bölgeye veren, bitki su tüketim hızı ile topraktaki drenaj kaybı arasındaki zaman ilişkisini kuran damla sulama sistemleri daha sık tercih edilmektedir. Bu sistemlerden toprak altı damla sulama (TADS) sistemlerinde ise damlaticıların toprak içinde kalması nedeni ile buharlaşma kayıpları daha da azalmaktadır. Ayrıca suyun doğrudan bitki kök bölgesine verilmesi nedeniyle sulama etkinliğinin artması ve sıvı gübre kullanımındaki kayıpların azaltılması bu yöntemin diğer bir avantajıdır (Lamm, 2002; Lamm and Camp, 2007).

TADS sistemleri, yüzey damla sulama sistemleri ile birçok açıdan benzerlik gösterir. Damlatıcılarda tıkanma sorununa neden olmayacak kalitede bir su kaynağı veya bu suyu hazırlayacak yeterli filtrasyon üniteleri sistemin ilk unsurudur (Şekil 1.1). Sulama sisteminin ölçü ve çalışma özelliklerine göre ihtiyaca cevap verecek bir pompa ünitesi ve buradan elde edilmiş basıncı damlatıcılara dağıtacak ana boru ve lateral hatları ise sistemin diğer bölümlerini oluşturur. TADS sistemlerinde yüzey damla sulama sistemlerinden farklı olarak su kesintisinde damlatıcılara topraktan parçacık çekilmemesi için vakum kırıcılar da kullanılabilir. Bazı üreticiler tıkanma sebeplerini de düşünerek yüzey damlatıcılarından daha farklı tasarımları olan toprak altı damlatıcıları da piyasaya sunmaktadırlar. Ayrıca bitki köklerinin damlatıcılara doğru harekete geçmesine engel olmak amacıyla sulama suyu ile birlikte özel kimyasallar kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. TADS sisteminin genel görünümü

TADS teknolojisi, tarım ve peyzaj amaçlı bitkisel yetiştiricilikte kullanılırken, belirli çevre şartlarında etkin bir sulama tekniği olarak kabul görmektedir (Kalfountzos ve ark. 2007). TADS teknolojileri karşılaştırılabileceği diğer tüm sulama teknolojileri ile kıyaslandığında birçok üstünlüğü ile öne

çıkmaktadır. Lamm ve Camp (2007) bu tekniğin üstünlüklerini, kültürel işlemler, su ve toprak, sistem altyapısı olmak üzere üç başlık altında ele almıştır (Aras, 2014).

- TADS borularını kullanan sulama sistemlerinde yüzeyden buharlaşma ile yaşanan su kaybı, derine infiltrasyon ve yüzey akışı daha az olduğu için sulama suyu kullanımındaki etkinlik oranı yüksek olmaktadır (Lubana and Narda, 2001; Singh et al., 2006; Kandelous and Šimůnek, 2010; Aras, 2014).
- TADS sistemlerinde, yüzey ve yeraltında bulunabilecek su kaynakları, derine infiltrasyondan ve toprak yüzeyinde oluşan su hareketinin neden olduğu kirlilikten daha az etkilenir.
- Yeniden kazanılmış atık suların TADS sistemleriyle birlikte verilmesi, mikropların hareketlerini engellemekte, insanların, hayvanların bu türdeki sularla ilişkisini olabildiğince az hale getirmektedir.
- Bu sistemlerle suyun ve gübrenin eş dağılımla verilmesi daha etkili bir sulamanın gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. (Fernández and Simmonds, 2006).
- Tarımsal arazilerde yüzey bölgesinin ıslak olmaması, o arazideki tüm tarımsal faaliyetlerin rahatlıkla yapılmasını aynı zamanda toprak sıkışmasının daha düşük seviyede kalmasını sağlamaktadır.
- TADS sistemlerini kullanarak yapılan bitkisel üretimde verim ve kalite parametrelerinin iyileştiği gözlenmektedir.
- Mantara dayalı hastalık türleri daha çok nemin sürekli bulunduğu bitkisel çevrelerde gelişir. TADS sistemleri hem toprak yüzeyini hem de bitki gövdesini olabildiğince kuru tuttuğu için mantar sorununu azaltmaktadır. Ayrıca sistemin kendisi toprak fumigasyonu işlemlerinde de görev alabilmektedir.
- TADS teknolojisi sayesinde, gübre ve pestisitlerin etkinliği, arzu edilen oranda ve zamanda kullanılarak arttırılmaktadır.
- Toprakta yabancı otların varlığını en çok destekleyen unsurların başında ihtiyaç fazlası nem gelir. TADS sistemlerinin kullanıldığı uygulamalarda borular yer altında bulunduğundan, yabancı otların gelişmesini başlatacak oranda yüzey suyu bulunmamaktadır.

- Geleneksel birçok sulama sisteminde sulama borularının kullanım zamanına göre araziye getirilmesi ve görevi bitince taşınması söz konusudur. TADS tekniğinde böyle bir taşıma süreci olmadığından zaman kaybı da yaşanmaz.
- Tarımda sulama sonrası toprak yüzeyinde bir kaymak tabakası oluşur. TADS sistemlerinde bu kaymaklaşma oluşmaz. Sulama sistemi tamamen gömülü olduğu için toprak üzerindeki mekanik işlemlerden daha az zarar görecektir. Sulama sistemi kullanılarak kimyasal maddelerin uygulanması söz konusu olduğunda, diğer sulama sistemleri bu kimyasallardan tarım çalışanlarının etkilenmesine neden olurlarken TADS sistemleri kimyasalları toprak altına bıraktığından çalışanların korunmasını sağlar.
- TADS sistemlerinde sulama tesisatına uygulanan su basıncı göreceli olarak daha az olduğundan basıncı yaratmak için kullanılan enerji ihtiyacı da daha düşük olmaktadır. Daha yüksek verimlilikle ve kısa sürede sulamayı gerçekleştirebilen bu sistemler enerji tasarrufunu artırmaktadır.
- Sistemin bileşenlerinin çoğu plastik malzemelerden yapılır ve bu sayede toprak altındaki şartlarda korozyon sorunları yaşanmaz. Yetiştirme dönemine göre sökme takma gereksinimi olmadığı bu süreçte istemsiz mekanik zararlar ortaya çıkmaz. Sistemde kullanılabilecek hareketli parça sayısı az olduğu için özellikle yağmurlama sistemlerine kıyasla yıpranma ve mekanizma sorunları daha düşük yaşanmaktadır.
- TADS sistemlerinde, sulama yapılan alanlardaki yer şekilleri veya boyutları diğer sulama sistemleri gibi sorun yaratmaz. Köklere yakın konumlanan damlaticılar her türlü zor arazide suyu gereken yere kolaylıkla verebilmektedir. Bu konuda özellikle yüzey akışı ile sulama yapan sistemlerin sorun yaşadığı bilinmektedir.
- Yağmurlama sulama ile refüjlerin sulanması sırasında otoyolların ıslatılması kayma riskini ve buna bağlı olarak kazaları ortaya çıkarırken damla sulama ve TADS sistemlerinde bu sorun oluşmamaktadır.
- Sistem ömrü, doğru projelendirme ve sistemi doğru bir şekilde işletme sayesinde uzatılabildiği için yatırım değerini kolaca karşılayabilir. Bu nedenle ticari değeri daha az olan ürünlerin yetiştiriciliğinde de kullanılması söz konusu olabilir.

- TADS sistemleri, toprağın işlenmeden kullanıldığı tarım tekniklerinde sabit bir sistem olmasıyla ilgili dezavantajlarından kurtularak öne çıkar.

Buraya kadar sunulan hususlarda görüldüğü üzere TADS sistemleri günümüzde hem kaynakların verimli kullanımı hem de işlevsel yönlerden çok sayıda avantaj sunmaktadır. Yine de bu sistemin kullanımı söz konusu olduğunda çeşitli zorluklar ve sınırlamalar da söz konusudur. Sulama sistemlerini projelendiren veya işleten kişilerin sistem tercihi yapmadan önce mutlaka göz önünde bulundurması gereken bu hususlar aşağıda verilmiştir.

- TADS sistemleri, bünyesi kaba yapıda olan topraklarda suyun infiltrasyonu yavaş olacağı için geniş bir ıslatma alanı oluşturamaz. Suyun daha dar bir bölgede olması bitkinin kök gelişimini sınırlandırmaktadır.
- Yapım hatası, malzeme hatası, işleyiş kusuru veya dışardan bir etki ile TADS boruları su kaçağına neden olursa bu durumun fark edilmesi çok zordur. Sorun fark edilene kadar da belli bir bölgenin aşırı sulanması nedeniyle o bölgede bitkilerde sorunlar veya su kaybının yarattığı maliyet artışı ortaya çıkar. Arızanın giderilmesi için de toprağın kaldırılıp yine arıza bölgesindeki bitkilere zarar verilmesi kaçınılmaz olacağı için onarım işlemleri de zor olur.
- Seçilen damlatıcının debisi toprak infiltrasyon hızından büyük olursa toprakta çökmeler meydana gelir.
- Bitkilerin çimlenme döneminde tohumlar yüzeye çok yakındır. TADS sistemlerinde sulama daha çok damlatıcının yakın olacağı etkili kök bölgesi için planlanmıştır. Bu nedenle başlangıç dönemlerindeki çimlenme seviyesine suyun ulaşması zordur. Özellikle kaba bünyeli topraklarda veya derin yarıkların olduğu koşullarda bu durum daha büyük bir sorun haline gelmektedir.
- Toprağın işlenmesi boruların derinliğine bağlı olarak mümkün olmayabilir.
- Borular toprak altında sabit oldukları için yerleri değiştirilemeyeceğinden farklı bir bitki yetiştirme düzeni için ayarlama yapılamaz.
- TADS sistemleri daha pahalıya mal olan filtreleme ve armatürler gerektirir. Sistemin toprak altına gömülmesi de ek bir işçilik ve maliyettir.

- TADS sistemleri daha fazla su kalitesi gerektirir. Çünkü sistemdeki su içeriğinden kaynaklanacak sorunları izleme, bulma ve onarma işlemleri zordur.
- Bitkilerin kökleri kılcal uzantılarla su kaynağına yönelme eğilimindedir. Toprak altında damlatıcı çıkışlarına girip damlatıcıları tıkayan kılcal kökler bir süre sonra sulamanın durmasına neden olabilirler. Ayrıca boru hatlarında toprak ve diğer parçacıklar da birikebilir.
- Sistemdeki akış sorunlarını gözle görmek mümkün olmadığından ilave bir yatırım ile sulama sistemini bölgeler halinde debimetrelere ve manometrelere bağlayıp izlemeye almak gerekebilir.
- TADS sistemleri göreceli olarak daha yeni sistemlerdir. Bu nedenle piyasadaki diğer sulama sistemlerine göre daha az bilinmektedir. Deneyimli personel bulma ihtimali de aynı şekilde azalmaktadır.
- Toprak altında kalan plastik aksamlar, sistemin ekonomik ömrü dolduğunda atık olarak çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Bu noktaya kadar sulama verimliliğini en fazla artırabilecek sulama yöntemlerinden biri olarak ele alınan TADS yöntemi tez çalışması kapsamında en iyi seviyede geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla toprakta su tutma yöntemlerinden biri olan polimer esaslı su tutma bariyerleri ile TADS sistemi birlikte uygulanarak bu iki donanımsal yapının en iyi çalışabileceği ölçüler ve kurulum özellikleri araştırılmıştır.

Toprakta su tutma yardımcıları incelendiğinde genel olarak aşağıdaki alternatiflerin kullanıldığı görülmektedir;

- Toprak şartlandırıcı kimyasallar
- Su tutma özelliği olan doğal toprak bileşenlerinin eklenmesi
- Toprak mekaniği ile toprak geçirgenliğinin artırılması
- Polimer esaslı su tutma bariyerleri

Toprak özelliklerinin iyileştirilmesi ile sulama verimliliğine katkıda bulunmaya çalışan bu sistemlerin her birinin çeşitli avantajları olduğu gibi özellikle kullanımlarında yaşanan zorluklar da bilinmektedir. Toprak su tutma özelliklerini iyileştiren sistemlerin bir çoğu, sulama suyunu kök bölgesinde daha uzun süre tutar.

Böylelikle kökten daha derine kaçan su azaldığı için gereksiz sulama azalır. Ayrıca etkili kök bölgesinde sulama suyu daha uzun süre, daha kararlı bir düzeyde kaldığı için bitki gelişimi de olumlu yönde etkilenir. Bu durum tarımsal bitkilerde ürün artışı olarak gözlenirken peyzaj bitkilerinde daha iyi görsel kalite olarak ortaya çıkabilir.

Toprakta su tutma özelliklerini geliştirmek için kullanılan bariyerlerin satın alma ve kurulumu için ek bir maliyeti sulama harcamalarına eklemek gereklidir. Ayrıca bu maliyet uygulamada kaybedilen zaman ve ek işçilik ile daha da artabilir. Ancak artan gıda ve su fiyatları nedeniyle daha az su kullanarak daha fazla gıda üretebilen bu sistemlerin kendi maliyet artışını yenerek, toplamda üreticiye daha büyük kâr sunacağı düşünülmektedir. Araştırma konusunda sulama verimliliğinin değerlendirilmesindeki hedeflerden birisi de bu soruya yanıt aramaktır. Uzun vadede beklenen yararları ise doğal kaynakların daha akıllıca kullanımı ile çevreye verilen zararın daha da azaltıldığı sulama sistemlerini teşvik etmektedir.

Günümüzde mekanik sistemlerin önemli bölümü artık elektriksel bileşenler de içermektedir. Bu durumun nedeni tüm mekanik sistemlerin tahrik gereksinimlerinin çoğunluğunun elektriksel güçle sağlanmasıdır. Enerji temeli elektrik olan bir sistemin otomasyonu da doğal olarak elektronik bir sistem olacaktır. Otomasyon ve akıllı sistemler, mekanizmaların daha etkili ve verimli çalışmasını sağlamaktadır. Verimliliğinin artırılması amacıyla üzerinde çalışılan bir sulama sisteminin otomasyon olanaklarının da düşünülmesi gerekir. Tez çalışmasının en önemli aşamalarından birisi de TADS sisteminin su tutma bariyerleri ile çalıştığı bir konfigürasyon içerisinde otomasyonun yapısal özelliklerinin ve sulamanın başlayıp durdurulmasındaki karar verme sürecinin nasıl olacağıdır.

Tez projesinde öngörülen sulama sistemi yapılandırmasının yönetilmesi için aşağıdaki işlemleri yürütebilen bir otomasyon sistemi geliştirilmiştir.

- TADS sisteminin vana ve basınç kaynağını yönetebilen
- Etkili kök bölgesinde su miktarını doğru ölçen

- Su tutma bariyerlerinden etkilenmeden bariyer tasarımının farklı bölümlerinden toprak nemi verisi alan
- Birden çok bölgede ölçüm yaparak karşılaştırmalı karar verebilen
- Sulama sisteminin aşırı sulama ve göllenmeye neden olmasına engel olan

Sonuç olarak bu çalışmada TADS sistemi, su tutma bariyerleri, gelişmiş bir otomasyon ve izleme sistemi ile bu sisteme ait yazılım ve algoritmaları bir arada geliştirilerek aynı amaç için geleneksel sistemlere kıyasla çok daha az su kullanan bir sistemin geliştirilip incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, bu konuda çalışma yapan araştırmacılar uygulamacılar ve belirlenen formda bariyerleri toprak altına yerleştirilmede kullanılacak makinaların dizaynını yapacak mühendisler tarafından kullanılabileceği düşünülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 TADS Sistemleri

TADS sistemleri temel olarak mikro sulama sistemlerinde kullanılan damlatıcıların toprak altına yerleştirilmesi ile sulamanın yüzeyin altında yapılması uygulamasıdır. Bu sistemde suyun uygulanması için yüzeyin altında tutulan su miktarının da belirli aralıklarla ölçülmesi ve sistemin de buna göre kontrol edilmesi gerekir. Bu özel şartlar için doğru derinliğin belirlenmesi, toprak altındaki şartlar için daha uygun damlatıcının geliştirilmesi de sulamanın etkinliği için önemlidir.

Sulama sisteminde yapılabilecek tüm iyileştirmelerin yanında sulama bölgesinde suyun daha uzun süre tutulmasına yardım eden yöntemler de geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bir bölümü toprakla karışıp toprak şartlarını iyileştirmeye çalışırken diğer bir kısmı da topraktan ayrı olarak su tutmaya çalışan yöntemlerdir. Bunlar genellikle su tutma bariyeri olarak adlandırılan mekanik destekleyicilerdir.

Otuzdan fazla tarla bitkisi, peyzaj bitkisi ve karma peyzaj çalışmasında TADS sistemi denenerek önemli bir çoğunluğunda dikkate değer su tasarrufu sağlanabildiği, yine bu çalışmaların birçoğunda daha fazla ürün veya en azından geleneksel sulama yöntemlerine göre kabul edilebilir seviyede ürün alındığı gözlemlenmiştir (Camp, 1998).

TADS sistemleri kumlu veya daha hafif topraklarda kullanılmak istendiğinde montaj derinliği, bitki kökleri ve damlatıcılar arasındaki mesafeyi minimum tutacak şekilde seçilmesi gereklidir. Çimlendirme uygulamalarında ise suyun dibe kaçışını engellemek için yüzeye en yakın mesafeye montaj gereklidir (Ayars et al., 1999).

TADS sistemlerinin en önemli işlevsel kazanımlarından birisi de otlak alanların tesis edilmesinde görülmektedir. Yüzeyde bitkinin hem hayvanların hareketi hem de otlama sürecine maruz kalması ve aynı anda diğer sistemlerin sabit olarak kurulamaması yüzeyin altına kurulan bu sistemi zarar görmeden sürekli sulama yapabilen bir sistem olarak konumlandırmaktadır. Finger et al. (2015), Avustralya'nın güneyindeki Murray-Darling havzasında yaşanan su kıtlığına karşı TADS sistemlerinin kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Farklı iki mandıra çiftliğinde toprak altındaki yapısal özellikleri ve işletme esnasında çayırlardaki otlama sürecini de hesaba katarak, çiftliklerin mera alanlarında toprak altı sulama yapmış ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Bu denemeler sonucunda TADS sistemlerinin çayır alanlarını beslemek konusunda başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Fakat elde edilen sonuçların farklı sahalardaki toprak altı geçirgenlik özellikleri, lateral aralığı ve sulama frekansına bağlı olarak büyük farklılıklar ortaya koyabileceğini belirtmişlerdir. Özellikle toprak altında farklı ikinci bir özellikte katman bulunduğu ve bu katmanın su geçirgenliğinin artması halinde otlama sürecine bağlı olarak çayır yenileme oranının düştüğünü ve su kayıp değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Şehirlerde giderek daha fazla önem verilen peyzaj çalışmalarında, TADS sistemlerinin kullanımı, daha yaygın olan yağmurlama sulama sistemlerine karşı bir çok alanda önemli bir kullanım potansiyeli sunmaktadır. Yağmurlama sistemlerinin mekanizmalar içeriyor olması nedeniyle ihtiyaç duyduğu bakım gereksinimi, insanlarla iç içe olan peyzaj alanlarında planlama hatası ve rüzgar gibi sebeplerle

geçiş güzergâhlarını sulaması, açık hava şartlarında sulama yapıyor olmasıyla suyun buharlaşarak kayıp değerlerinin fazla hale gelmesiyle sıklıkla süregelen sorunlarla işletilmektedir. Zoldoske et al. (1995), Kaliforniya Eyalet Üniversitesi Fresno Yerleşkesinde çim alanlarda daha önce yapılmış yağmurlama sulama sisteminin bir bölümünün TADS sistemiyle değiştirilmesi sonucunda sistem başarımındaki değişiklikleri incelemiştir. Kurulan sistemin daha önce işletilen yağmurlama sistemine göre pompa basıncında 276 kPa düşüşle pompalama maliyetlerini azalttığı gözlenmiştir. Yerleşke alanının TADS sistemi kurulan kısmında 1994 yılında hiçbir bakım gereksinimi olmazken aynı dönemde yağmurlama sistemi ile sulanmaya devam eden kısımlarda zarar gören yağmurlama başlıkları için 8 saatlik bakım ve tamir çalışması gerekmiştir. Çalışma döneminde yerleşkede TADS uygulanmış alanlarda su sızıntılarından hiçbir şikayet alınmamışken yağmurlama sistemlerinde kaldırımlara ve hareket halindeki araçlara su sıçratıldığına dair çok sayıda şikayette bulunulmuştur. Çim alanların sulanmasında TADS sisteminin daha az su tükettiği bildirilmiştir.

Hanson et al. (1997), karık sulama, damla sulama ve TADS sistemlerini marul bitkisi yetiştirerek uygulanan su miktarı ve elde edilen ürün oranları açısından kıyaslamıştır. Yapılan çalışmada karık sulama ve toprak altı damla sulama yöntemleri benzer ürün alınmasını sağlarken aynı dönem içinde damla sulama yönteminde daha az ürün elde edilmiştir. Karık sulama yöntemine göre damla sulama yönteminde %57 ve TADS yönteminde ise %26 daha az su tüketilmiştir. Üçüncü üretimde karık sulama yöntemiyle 335 mm su uygulanan denemede 40920 kg/ha ürün alırken, 203 mm su uygulanan damla sulama uygulamasında 30672 kg ha⁻¹ ürün ve 229 mm su uygulanan TADS uygulamasında 39163 kg.ha⁻¹ ürün elde etmişlerdir.

Douh et al. (2013), TADS yöntemi ile yapılan farklı derinliklerdeki sulamalar sonrasında farklı zamanlarda ve derinlikte gözlenen toprak su dağılımını incelemiştir. Yüzeyden 0,35 m derinlikte yapılan sulamanın, 0,05 m ve 0,20 m derinlikte yapılan sulamaya göre daha dengeli dağılım gösteren bir su içeriği sağladığını gözlemlemişlerdir.

Enciso et al. (2015), karık sulama ve TADS sistemlerini soğan yetiştirilen ticari sahalarda deneyerek su kullanım etkinliği ve elde edilen ürün miktarlarını incelemiştir. Toprak altı damla sulama sistemi kullanılan üretimde sulama etkinliği %81 ile %88 aralığında gerçekleşirken karık sulamada %54 ile %67 arasında değerler elde etmişlerdir. TADS sistemi kullanılan araziden elde edilen ürün, karık sulama yapılan yerde elde edilenin iki katından daha fazla olurken %44 daha az su kullanılmıştır.

Dukes and Scholberg (2004), kumlu toprakta, 23 cm ve 33 cm derinliklere yerleştirdikleri TADS boruları ve 76 cm lateral aralığı ile tatlı mısır yetiştirmişlerdir. Her iki sistemi de toprak nem değerini ölçerek sulamışlardır. Boruların 23 cm derinliğe yerleştirildiği uygulamada %11 daha az su kullanılmış ve daha önce yağmurlama sistemi ile elde edilen verilere yakın değerde ürün elde edilmiştir. Boruların 33 cm derinlikte montaj yapıldığı uygulamada ise üründe kayıplar yaşandığı için kumlu toprak için tatlı mısır yetiştirilmesinde çok derin bulunmuştur. TADS sisteminin yağmurlama sulama sistemlerine kıyaslanmasında toprak altı damla sulama sisteminin %24 daha az drenaja neden olduğunu hesaplamışlardır.

Safi et al. (2007), TADS sistemlerinin farklı boru uzunlukları ve işletme basınçları altında damlaticıların eşit su verebilme performansını inceleyen bir deneme yapmışlardır. Bu çalışmada 50, 90, 150 ve 200 kPa olmak üzere 4 hidrolik basınç değeri, 10 cm derinliğe yerleştirilmiş 34 m uzunluğunda 4 adet kullanılmış (3 yıl süre ile soğan yetiştiriciliğinde) boru, 34, 50, 80, 100 ve 120 m uzunluklarında 5 adet yeni boru kullanmışlardır. Hem kullanılmış hem de yeni borularda, 150 kPa basınç değerinde 50, 90 ve 200 kPa basınç değerlerinde elde edilenden daha düzgün su dağılımı elde edildiği bildirilmiştir. Boru uzunluğu değerlendirmesinde ise hem kullanılmış hem de yeni olan borular için 34 m uzunluğundaki boru en yüksek dağılım düzgünlüğü katsayılarını sunmuştur. Bu katsayıların yeni olan borular için %96,9 ve kullanılmış boru için %91,8 olarak gerçekleştiği bildirilmiştir.

Suarez-Rey et al. (2000), TADS ve yağmurlama sulama sistemlerini Arizona şartlarında kıyaslayan bir çalışma yürütmüşlerdir. Denemenin sonucunda TADS sistemi ile bermuda türü çimin yetiştirilmesinde bitki gelişimi ve görsel

değerlendirme açısından yağmurlama sulama sistemi ile elde edilen sonuçlara yakın değerler elde edilmiştir. Toprakta tuzlanma sorunu gözlenmezken uygulanan su miktarı TADS yönteminde 465 mm ve yağmurlama sulama sisteminde ise 472 mm olarak kaydedilmiştir.

2.2 Çim Yetiştirilmesi

Zorer Çelebi vd. (2010), Van ili koşullarında oluşturulacak çim alanları için %40 *Lolium perenne*, %20 *Festuca rubra* var. *rubra*, %20 *Poa pratensis*, %20 *Festuca rubra* var. *Commutata* tohumlarından oluşam karışımı 10-100 g/m² aralığındaki belirlenen tohumluk miktarları ile karşılaştırmalı olarak denemişlerdir. Çim kalitesi açısından en iyi sonuçları 40, 50, 60 ve 70 g/m² tohumluk değerlerinden alabildiklerini bildirmişlerdir.

Schiavon et al. (2012), kapiler sulama sistemi adını verdikleri TADS borularının altına serilen geotekstil membran ile su tutma yeteneği artırılmış yöntemle, New Mexico Eyalet Üniversitesi'nde, 2009 ve 2011 yılları arasında *Festuca arundinacea* ve *Poa pratensis* çim bitkilerini yetiştirmişlerdir. Yetiştirme alanlarının bir bölümünde de yağmurlama sulama sistemlerini kıyas yapılabilmesi için kullanılmaya devam etmişlerdir. 2009 ve 2010 yıllarında yapılan tohum atma faaliyetlerini takip eden her 30 günlük sürede yağmurlama sulama sistemlerinin daha hızlı fide oluşumu sağladığı görülmüştür. Daha sonraki bitki gelişiminde 2010 yılı itibarıyla kapiler sulamanın zemin alanının %75'lik kısmına yağmurlama sulama sistemi kadar hızlı ulaştığı diğer yandan 2011 yılında ise yağmurlama sisteminden daha yavaş kaldığı görülmüştür. Çalışmada geotekstil membran kullanılan kapiler sulama sisteminin soğuk sezon çim bitkilerinin yetiştirilmesinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Blonquist Jr. et al. (2006), çim bitkisi yetiştiriciliğinde hassas sulama programı ile sulama yapılabilmesi için toprak altı manyetik nem algılayıcısı kullanımını içeren bir çalışma yapmışlar ve yağmurlama sulama yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada toprak su içeriğinin tahminlenmesi HYDRUS 2D programı ile desteklenmiştir. Evapotranspirasyon tabanlı tahminlere dayalı çalışan bir sistemle kıyaslandığında toprak altı manyetik nem algılayıcısı kullanan sistemin

%16 daha az su tükettiği, haftada 50 mm sabit miktar su verilerek yürütülen sisteme oranla %53 daha az su kullanılmasını sağladığı ortaya çıkmıştır. Yapılan su tasarrufu için ilgili yılda her 1000 m² alanda 5 ile 100 \$ arasında bir maddi kazanç hesaplanmıştır.

Arslan ve Çakmakçı (2004), Antalya ilinde 7 çim türüne ait 19 farklı çeşidi yetiştirerek adaptasyon ve performanslarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada bitki materyali olarak ingiliz çimi (*Lolium perenne* L.) türünün Barlona, Borage, Numan, Ovation, Belrawo ve Merci çeşitleri; çayır salkımotu (*Poa pratensis* L.) türünün Baron, Conni ve Geronimo çeşitleri; kamyışı yumak (*Festuca arundinacea* Schreb.) türünün Apache, Villageoare ve Eldorado çeşitleri; rizomlu kırmızı yumak (*Festuca rubra* L. subsp. *rubra*) türünün Franklin, Echo ve Bargena çeşitleri; koyun yumağı (*Festuca ovina* L.) türünün Crystal ve Barreppo çeşitleri; rizomsuz kırmızı yumak (*Festuca rubra* L. subsp. *commutata*) türünün Enjoy çeşidi ve köpekdişi (*Cynodon dactylon* Pers.) türünün Bermuda çeşidi kullanılmıştır. Deneme 1 yıl sürmüştür. Yetiştirilen çeşitlerden Antalya'nın yaz koşullarında en iyi performansı gösterenin Bermuda olduğu ancak kış aylarında da renk değişimi sorunu nedeniyle, kış aylarına uygun diğer türlerle üstten tohumlanabileceği belirtilmiştir. Ayrıca hem yaz şartlarındaki çıkış başarısı hem de zeminin bitki ile kaplanması konusunda daha iyi değerler elde eden *Poa pratensis* L. (Conni ve Baron) ile *Cynodon dactylon* Pers. (Bermuda) karışımlarının bölge için uygun olabileceği ortaya konmuştur.

Salman ve Avcıoğlu (2010), İzmir'de yürüttükleri çalışmalarında *Lolium perenne* ve *Festuca arundinacea* çim türlerini yetiştirmişlerdir. Akdeniz iklimi görülen bölgede özellikle süzme oranının da fazla olduğu topraklarda gübrelemenin önemli olduğunu 10 g/m²/ay NPK (50 g/m²/yıl NPK) ölçüsünde gübre ile *Festuca arundinacea*'nın *Lolium perenne*'ye göre çok daha iyi performans sunduğu sonucuna varılmıştır.

2.3 Toprakta Su Tutulması

Sulama işlemlerinden sonra hem peyzaj uygulamalarında hem de tarımsal faaliyetlerde çevresel ve maddi olarak değerli olan suyun öncelikle bitkilerin etkili kök bölgesinde kalması istenir. Etkili kök bölgesinde yeterli suyun varlığını sürekli

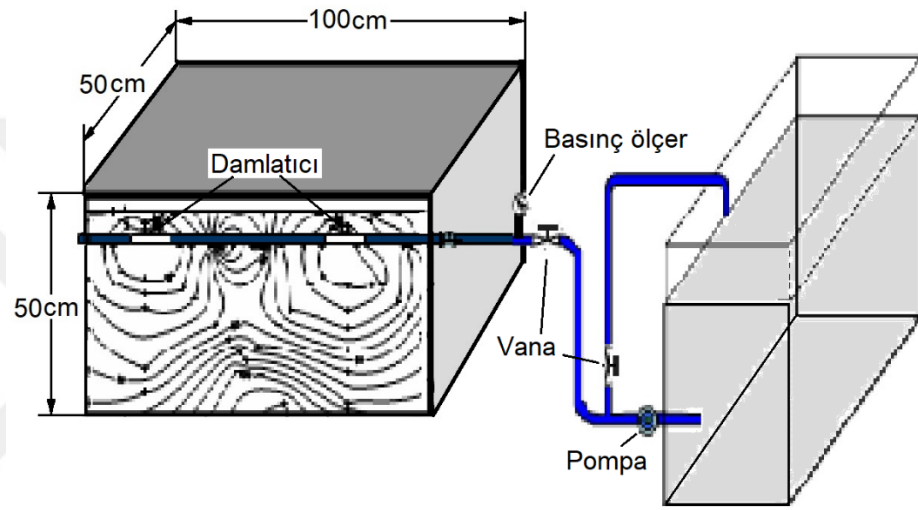
olarak gören bitki strese girmeden hem tarımsal ürün miktarı hem de peyzajda görsel yeterlilik bakımından daha iyi sonuçlar üretmektedir. Ancak suyun varlığında bu şekilde süreklilik yaratma dibe kaçarak kaybedilen su miktarını artıracaktır. Bu sorunu çözmek için toprakta yürütülen yetiştirme faaliyetinin kritik yüzey altı bölgesinde suyun daha uzun süre kalmasını sağlayan birden çok yöntem denenmiştir.

İsmail et al. (2006-a), TADS borusunun altında, daha derin bölgelerin su içeriğini artırmak için, hidrolik bariyer tekniği adını verdikleri ikinci bir boru daha kullanma yöntemini geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada hidrolik bariyer yöntemini Sina Yarımadası kumlu topraklarında domates ve enginar yetiştirerek denemişlerdir. Denemede her bitki için hidrolik bariyere ek olarak fiziksel bariyer ve hiç bariyer kullanılmayan geleneksel yöntem kullanarak sonuçları kıyaslamışlardır. Denemenin sonunda fiziksel bariyer kullanılan yöntemin bariyer kullanılmayan yöntemle göre çok büyük ürün artışı sağladığı görülmüştür. Bu artış enginarda 2,35 kat ve domatesta 2,19 kat olarak bildirilmiştir. Hidrolik bariyerin kullanılması ise enginarda ilave olarak %12 ürün artışı sağlarken pazarlanabilir ürün olarak hesaplandığında %47 artış değeri sunmuştur. Hidrolik bariyerin domates bitkisinde sağladığı ürün artışı ise %25 olarak bildirilmiştir.

Toprak altı bariyer kullanımı, kumlu toraklarda su kaybının fazlalığı nedeniyle daha büyük bir potansiyel sunmaktadır. Çölleşen bölgelerde su kıtlığı nedeniyle zorlaşan peyzaj çalışmalarında da kurtarıcı bir alternatif yöntem olarak görülmektedir. Demirel ve Kavdır (2013) fiziksel su tutma bariyerlerinin etkinliğini çim bitkisinde (*Lolium perenne* c.v *Caddieshack*) araştırmıştır. Çalışmada su tüketimi, biçilmiş taze çim verimi ve yaprak su içeriği araştırılmıştır. 2010 ve 2011 yıllarında yürütülen araştırmanın 2 yıllık ortalama değerlerine göre fiziksel su tutma bariyeri kullanılan denemelerde hiç bariyer kullanılmayan denemeye göre %35 ile %74 arasında değişen oranlarda su tasarrufu yapıldığı bildirilmiştir. Su tasarrufuna ek olarak bitki gelişim hızı ve kalitesinde de artış kaydedilmiştir.

Zin El-Abedin (2006), özellikle kumlu toprakta kullanılan TADS sisteminin yüzeyin hemen altındaki ilk 5 cm'lik katmanı yeterince sulayamaması ve diğer bölümlerde de eşit olmayan nem dağılımı ortaya çıkması nedeniyle yüzey altında

su tutma düzeyini iyileştirmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Toprak altında çeşitli derinlikler açılarak toprak yüzeyine doğrudan poliakrilamid püskürtülmüştür. Sonra yine farklı derinliklerdeki TADS boruları ile değişken basınç değerlerinde denenerek poliakrilamidin toprak altındaki su hareketine etkileri gözlemlenmiştir. Deneme sonucunda poliakrilamid kullanılan sulama bölgesinde suyun hareketinin dikeyden yataya doğru profil değiştirdiği ve en iyi sonuçların 15 cm derinliğinde damlatıcı yerleştirilen ve 30 cm derinliğe poliakrilamid uygulanan düzenek olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. TADS sistemi ile poliakrilamid uygulaması (Zin El-Abedin, 2006)

Toprak altında kullanılan su tutma yöntemleri bazen fazla miktarda su uygulandığında, üst katmanların suyu uzun süre tutmaya veya alt katmanlarda infiltrasyonun yavaşlatılmış olmasıyla göllenmeye neden olurlar. Bu göllenme peyzaj uygulamalarında veya spor sahalarında kullanım sorunlarına neden olurken tarımda da istenmeyen bir sulama hızına işaret etmektedir. Ancak pirinç yetiştirilmesi gibi bazı durumlarda bu göllenme de istenen bir durum haline gelmektedir. Sharma et al. (1995), pirinç yetiştirme sürecinde, önceden plastik bariyer döşenmiş, kuru sürülmüş, çamurlaştırılmış ve sıkıştırılmış farklı toprakları karşılaştırmalı olarak izlemişlerdir. Bu değerlendirmede plastik bariyer uygulaması yapılan bölgelerde erken ürün alınmış ve bitki boyunun daha uzun olduğu görülmüştür. Ancak bitkinin olgunluk döneminde ve hasat döneminde toprak bölgesinde diğer yöntemlere göre daha az su olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm

toprak hazırlığı alternatiflerine göre uygulamanın zorluğu nedeniyle pratik bulunmadığı belirtilmiştir.

Garrity et al. (1992), Tayland'ın kuzeydoğusunda yalnızca yağmur suyu ile yürütülen pirinç yetiştiriciliğinde polietilen su tutma bariyeri kullanarak pirinç gelişimini izlemişlerdir. Çalışmada 2 farklı alana 25 cm ve 40 cm derinliklerinde bariyer yerleştirip diğer alanlarda ise bariyersiz olarak denemeleri yürütmüşlerdir. Bariyerli uygulamalar bariyersiz uygulamalara kıyasla 4 kata kadar daha fazla ürün elde edilmesini sağlamış, yağmur dönemi sonrasında yüzeyde daha fazla istenen göllenmeyi koruyabildiği bildirilmiştir.

Hüyük maddeler özellikle iyon değiştirme, besinleri şelatlama, ağır metalleri tutma ve antioksidan özelliklerinden dolayı pek çok kullanım alanına sahiptirler. Bu kullanım alanlarının başında tarım, kozmetik, arıtım ve ilaç sektörleri gelmektedir (Sönmez ve Türkarıslan, 2015). Son yıllarda toprak özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemlerden birisi de humik maddelerden biri olan Leonardit'in toprağa uygulanmasıdır. Leonardit'in toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir çok başlık altında iyileştirmeler sunduğu öne sürölmektedir. Bu iyileştirmelerden birisi de toprakta su tutma kapasitesinin artırılmasıdır. Gökçek ve Kütük (2012) çim yetiştirilen alanlarda Leonardit kullanımını, bitki gelişimi ve su tüketimi açısından incelemişlerdir. Leonardit kullanılan bölgelerde, kullanılmayan bölgelere göre kıyasla su tüketiminin azaldığı ve bitki kalitesinin arttığı bildirilmiştir.

Toprakta su tutma yeterliliğinin artırılması için yapılabilecek uygulamalardan biri de su tutucu polimer jellerin toprak katmanlarına uygulanmasıdır. Yang et al. (2014) bu türde bir polimer malzemeyi kumlu-tın toprakta çayır ve odunsu bitkilerin sulanmasında kullanmışlardır. Çalışmada polimer kullanılmayan kontrol amaçlı ayrılmış bir diğer toprak alanı ile kıyaslama yapılmıştır. Polimer kullanılan toprak alanı ile polimer kullanılmayan toprak alanı arasında çimlenme, bitki gelişimi, su tutma oranları ve bitki ömrü değerlendirmeleri karşılaştırılmıştır. Polimer kullanılan deneme alanlarında %0,15, %0,3 ve %0,45 olmak üzere 3 farklı oranda polimer uygulanmıştır. Bu alanların tümünde kumlu-tın toprağa polimer eklenmesinin toprakta su tutma kapasitesini ve çimlenme hızını dikkate değer

ölçüde artırdığı görülmüştür. Su stresi altında bırakılan bitkilerin de hayatta kalma süresinin uzadığı görülmüştür. Yapılan farklı denemeler içinde en iyi sonuçları veren polimer uygulama oranının %0,3 olduğu da bildirilmiştir.

Abedi-Koupai ve Asadkazemi (2006), hidrofilik polimerlerin süs bitkisi yetiştirilmesindeki etkilerini gözlemek için Superab A200 polimeri ile *Cupressus arizonica* bitkisinin kullanıldığı bir çalışma yapmışlardır. Polimer madde 1 kg toprak içine 4 ve 6 g olmak üzere iki farklı oranda uygulanmıştır. 1 kg toprak için 6g polimer uygulanan yetiştirme alanı hiç polimer uygulanmayan kontrol alanına göre 2,3 kat daha fazla su tutmuştur. Su tüketimi de her iki polimer uygulanmış alanda yaklaşık polimer uygulanmayan alandakinin 1/3'ü kadar gerçekleşmiştir.

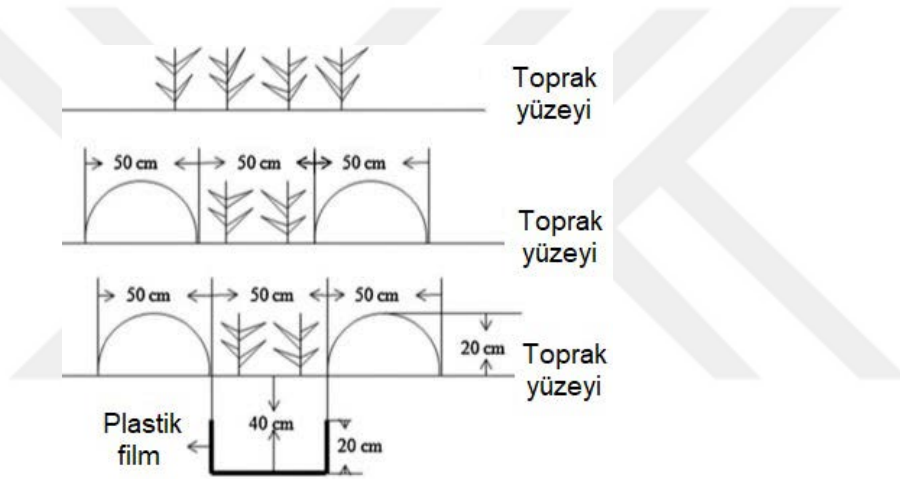
Palta ve Blake (1974), kumlu toprakta 55 cm derinliğe asfalt malzeme uygulayarak herhangi bir su tutma yöntemi uygulanmayan eşdeğer kumlu topraktaki sulama miktarı ile kıyaslama yapmışlardır. Tarımsal üretimin olduğu her iki alanda da 3 yıl sulama devam ettirilmiştir. Bu süre sonunda asfalt bariyer kullanılan alanda %58 daha az su tüketildiği bildirilmiştir.

Demirel ve Kavdır (2013), fiziksel su tutma bariyeri kullanılan bir yağmurlama sulama sistemiyle çim yetiştirmişlerdir. 2010 ve 2011 yıllarında yürütülen çalışmalarda yetiştirilen çimlerde taze ot verimi, su tüketimi, yaprak su içeriği, görsel kalite gibi unsurlar araştırılmıştır. Su tutma bariyerleri 30 ve 40 cm olmak üzere iki farklı derinliğe yerleştirilmiştir. Bariyer yerleştirilen yetiştirme alanlarında araştırmanın sürdüğü 2 yıl için ortalama %35-74 aralığında su tasarrufu sağlanmıştır. En fazla su tasarrufunun, sulamanın toprağın su tutma kapasitesinin %33'lük kısmına kadar yapıldığı şartlarda gerçekleştiği görülmüştür.

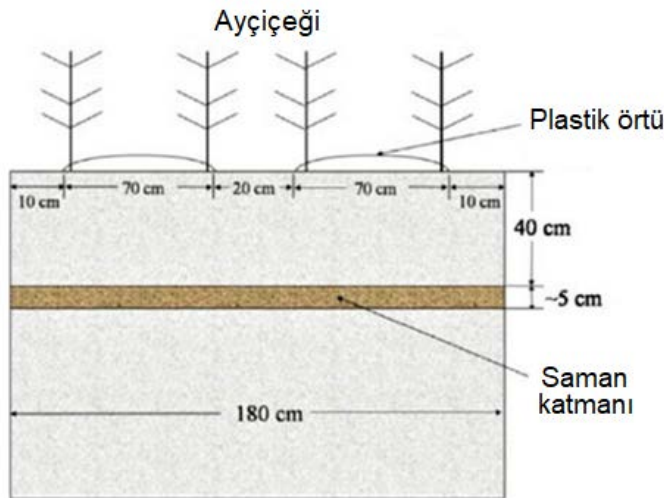
Zhao et al. (2016), ayçiçeği yetiştirilen tuzlu topraklarda toprak altına saman ve plastik film tabakaları sererek toprak nemi ve tuzlanma değerleri üzerine 3 yıl süren bir araştırma yapmışlardır. Çalışmanın sonunda plastik film ve saman katmanının birlikte kullanıldığı alanlarda, 0-40 cm toprak derinliği için, en düşük tuzlanma değerleri elde edilirken elde edilen ayçiçeği ürünü de en fazla olmuştur. Aynı zamanda toprağa saman katmanının gömülmesinin su tutma kapasitesini artırdığı da bildirilmiştir.

Sivapalan S. (2006), kumlu topraktaki su kaybını önlemek ve su tutma kapasitesini artırmak için toprağa çapraz bağlı poliakrilamid (ALCOSORB 400) uygulayarak laboratuvar ve sera şartlarında denemeler yapmıştır. Bu denemeler sonucunda kumlu toprakta su tutma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Toprak yüzeyinde ısıyı korumak için yaygın şekilde uygulanan malçlama tekniğinin toprak altında da plastik örtüyle uygulanmasının ısıyı korumanın yanı sıra toprakta su tutma oranlarını ve ürün miktarını artırdığı da görülmüştür (Zhou et al, 2015) (Şekil 2.2). Malçlama tekniği saman gibi doğal malzemeler ile toprak altında aynı işlevleri yerine getirebilir. Bu durumun topraktaki tuzlanmayı da azalttığı görülmüştür (Zhao et al, 2016) (Şekil 2.3).

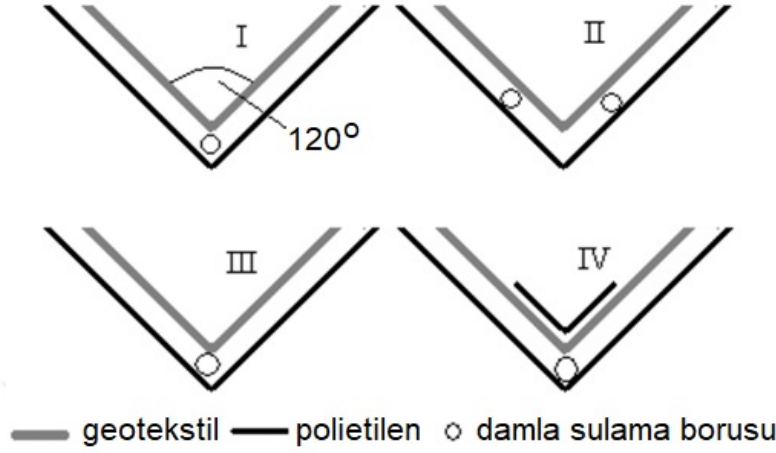


Şekil 2.2. Plastik örtünün malçlama işleminde kullanılması (Zhou et al, 2015)



Şekil 2.3. Saman tabakasının malçlama işleminde kullanılması (Zhao et al, 2016)

hareket ederek suyun uzun süre kökler tarafından kullanılabilir düzeyde kalmasını sağlar. Şekil 2.5'te bu yaklaşım ile hazırlanmış 4 farklı bariyer ve geotekstil tasarımı verilmiştir (Charlesworth, 2003).



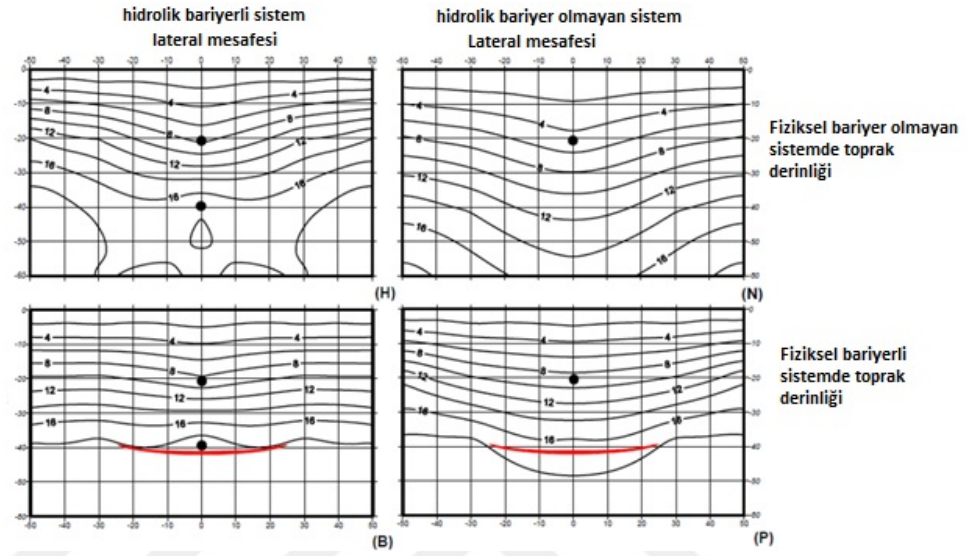
Şekil 2.5. Geotekstil malzemenin fiziksel bariyerlerle birlikte kullanımı (Charlesworth, 2003)

Su tutma amaçlı kullanılan farklı bariyer yöntemlerinde elde edilen başarılı sonuçlara rağmen bu uygulamaların gerçek hayatta tarımsal ve peyzaj amaçlı ticarileştirilebilmesi de bu bariyerlerin büyük maliyet artışlarına neden olmadan pratikçe uygulanabilmesine bağlıdır. Bunun için de toprağın kaldırılmadan bariyerin toprak altına döşenmesini sağlayan makinelerin geliştirilmesi ve yaygın şekilde bulunabilmesi gerekmektedir. Her ne kadar bu makineler henüz geliştirilme aşamasında olsa da ticari anlamda yaygınlaşabileceğini gösteren örnekleri de yapılmıştır (Kavdır et al., 2014).

Hansen ve Erickson (1969), sıvı asfaltı, toprağın 50 ile 60 cm derinliğinde püskürtme yöntemi ile uygulayan bir makine geliştirmiştir. Makine asfaltı püskürtürken üzerini hızla toprak ile kapatmaktadır. Asfalt film uygulama işlemleri, toprak altında 4 mm kalınlığında bir asfalt tabaka yaratmaktadır.

Sumner ve Gilfillan (1971), şeker kamışı, yonca ve pamuk yetiştirilen tarlalarda aynı anda asfalt bariyer kullanarak ürün verimliliğini gözlemişlerdir. Asfalt bariyer kullanımının her üç üründe de bariyer kullanılmayan sistemlere kıyasla %25-30 aralığında ürün artışı sağladığını bildirmişlerdir.

Sulama suyunu tutmayı hedefleyen fiziksel bariyerlerin yanında suya yön vermeyi hedefleyen bir hidrolik düzenleme de bariyer görevi görebilmektedir (Ismail et al., 2006-a, Ismail et al., 2006-b). Ana lateralin altında belli bir derinlikte kullanılan ikinci bir boru ile farklı derinlikten toprağa uygulanan suyun hidrolik denemesine ait toprak altı kesiti Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

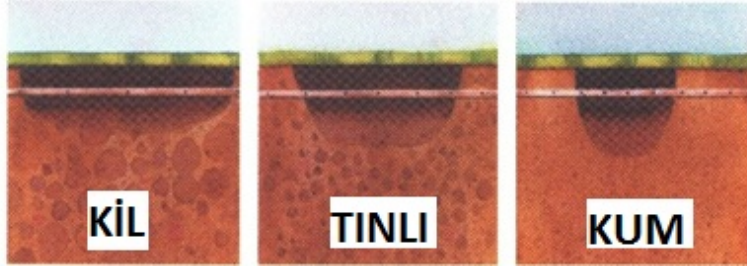


Şekil 2.6. Hidrolik bariyer ve fiziksel bariyer kullanımını gösteren kesit şemalar (Ismail et al., 2006-b)

Başka bir yaklaşımla farklı hidrolik iletkenliğe sahip toprakların kademeli olarak yerleştirilmesi ile de kapileriteden faydalanan bariyerler yapılabilir (Itiel et al., 2012).

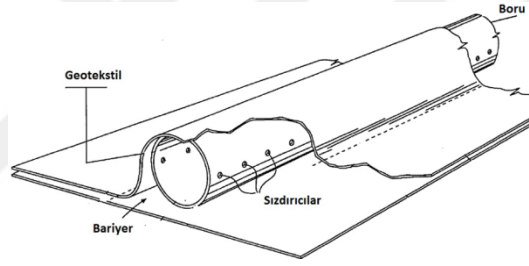
Toprak altı su tutma bariyerlerinin amacı gereği TADS sistemleri ile daha başarılı olduğu bilinmekle birlikte yağmurlama sulama sistemleri ile de başarılı olabileceği belirtilmektedir (Demirel, 2012).

Günümüze kadar yapılan, TADS bariyer çalışmalarının her biri mevcut TADS sistemlerinin toprakta sağladığı ıslatma desenini (Şekil 2.7) yüzeye yakın bölgede daha geniş ve uzun süre tutabilmeyi hedeflemektedir.



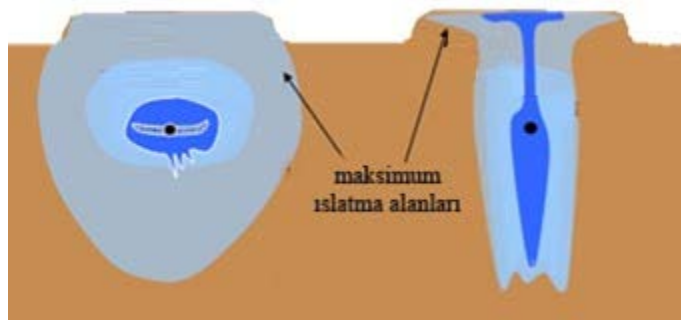
Şekil 2.7. Farklı toprak profillerinde ıslatma deseni

Toprak altı bariyerlerin kullanımıyla elde edilmesi beklenen faydaların yanı sıra, bu ürünlerin ticari olarak uzun vadede başarı elde edebilmesi için oldukça zahmetli olan toprak altına döşeme işlemlerinin de kabul edilebilir düzeyde kolay ve ekonomik olması gerekmektedir. Bu amaçla bazı üreticiler fiziksel bariyer ve geotekstili tümleşik olarak ve makine ile tek seferde döşenebilecek şekilde tasarlamaktadırlar (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Bariyer ve geotekstil malzemenin TADS borusuna tümleşik olarak yerleştirilmesi.

Yapılan çalışmalardan başarılı olanlar Şekil 2.9’da gösterildiği gibi aynı toprak şartlarında daha iyi bir toprak ıslatma deseni sağlamaktadırlar.



Şekil 2.9. Bariyerli bir toprak altı damla sulama borusuna ait ıslatma desenin bariyersiz sistemle karşılaştırılması (<http://soft-matter.seas.harvard.edu/index.php/Capillarity>)

TADS sistemlerinde bariyer kullanımının sulama verimine (randıman) etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, toprak altı fiziksel su bariyerlerinin su tutma ve su dağılımı üzerindeki etkileri araştırılmış ve su tasarrufu konusundaki performanslarının ortaya koyulması hedeflenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Deneme Düzeninin Kurulduğu Alan

Toprak altı damla sulama (TADS) uygulamalarında bariyer kullanımının sulama verimine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, tasarlanan yetiştirme alanları ve bu alanlarda kullanılacak sulama düzeneği Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'ne ait deneme alanlarında oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Sulama düzeneğinde ihtiyaç duyulan su şehir şebekesinden alınmıştır.



Şekil 3.1. Deneme alanının görüntüsü

Yetiştirme alanlarının oluşturulacağı yerlerin seçilmesinde diğer önemli bir konu da sistem elektronik aksamının güvenliğinin sağlanması ve sistemin dış etkilerden korunmasıdır. Bu nedenle sistemin kayıt ve kontrol kısmı deneme

laboratuvarı binası içinde kalacak şekilde planlanmıştır. Buradan yetiştirme alanına su ve elektrik bağlantıları daha kolay gerçekleştirilmiştir.

3.1.2 Yetiştirme Alanları

Deneme konuları gereği her birinin eni 1,5 m, boyu 2,0 m ve yüksekliği 0,5 m ölçülerinde olan altı adet yetiştirme alanı oluşturulmuştur.

Yetiştirme alanları yükseltilmiş bahçe olarak planlanmış olup yetiştirme alanlarının oluşturulmasında 0,5 x 0,25 x 0,10 m ölçülerindeki beton bloklar kullanılmıştır (Şekil 3.2). Çalışma kapsamında planlanan yükseltilmiş yetiştirme alanları ağır beton bloklar ile örülen duvarlar arasında elde edilmiştir.

Çalışma bitiminde yükseltilmiş yetiştirme alanlarının duvarlarının kolaylıkla açılarak toprak kesitinin örselenmeden ortaya çıkartılabilmesi ve köklerin incelenebilmesi için beton bloklar harç ile birleştirilmemiştir. Bu nedenle hareket ettirilmesi güç olan ağır beton bloklar kullanılmıştır.

Duvarların hazırlanması sırasında paralellik ayarlarının yapılması amacıyla TOPCON marka RL-H2Sa model lazer vericisi ve seviye ayar cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3). Duvarlardan su sızmasına engel olmak amacıyla PVC su yalıtım örtüsü kullanılmış (Şekil 3.4) ve yetiştirme alanlarının iç duvarları bu örtüyle kaplanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.2. Yükseltilmiş yetiştirme alanları



Şekil 3.3. Lazer vericisi ve seviye ayar cihazı



Şekil 3.4. PVC su yalıtım örtüsü



Şekil 3.5. PVC su yalıtım örtüsü ile kaplanmış yetiştirme ortamları

3.1.3 Toprak Özellikleri

Yetiştirme alanlarının inşası ve iç yüzeyinin PVC su yalıtım örtüsü kullanılarak kaplanmasından sonra içi toprak ile doldurulmuştur (Şekil 3.6). Kullanılan toprağın yapılan analizinde Çizelge 3.1’de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 3.6. Yetiştirme alanlarının toprakla doldurulması

Çizelge 3.1. Toprak analiz sonuçları

Yapılan Analizler	Değer
Bünye	Tınlı kum
pH	7,72
Tuz (%)	0,015
Kireç (%)	3,3
Organik Madde (%)	0,81
Kum (%)	77,12
Mil (%)	16
Kil (%)	6,88
N (%)	0,065
P (ppm)	8,8
K (ppm)	326,4
Ca (ppm)	4018
Na (ppm)	75,2
Mg (ppm)	192,3
Fe (ppm)	5,5
Zn (ppm)	2,6
Cu (ppm)	0,44
Mn (ppm)	5,94
Su Tutma Kapasitesi (%)	30,11

Analiz sonuçlarına göre toprağın, hafif alkalin, kireççe fakir, tuzluluk tehlikesi yok ve humusça fakir olduğu söylenebilir.

3.1.4 Sulama Suyu ve Özellikleri

Çalışmada sulama suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan suyun özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir

Çizelge 3.2. Sulama suyu ve özellikleri

Özellik	Değer
pH	7,12
EC	497 μ S/cm
Katyonlar	
Na	0,65 me/L
K	0,09 me/ L
Ca+Mg	4,2 me/ L
Toplam katyon	4,94 me/ L
Anyonlar	
Cl	1,24 me/ L
CO ₃	-
HCO ₃	3,5 me/ L
SO ₄	0,13 me/ L
Toplam anyon	4,87 me/ L
SAR	0,45
Sulama Suyu Sınıfı	C2S1
Kalıcı Sodyum Karbonat	Yok

Denemede kullanılan su örneği nötr tepkimeli ve C2S1 sınıfı sulama suyu olarak belirlenmiştir. Bu sınıf sular orta tuzlu ve düşük sodyumlu sular olup, her türlü bitkinin sulanmasında kullanılabilir (USSS, 1954). Suyun içerdiği klor ve sülfat miktarı bitkilere toksik etki yapmayacak düzeyde olduğu saptanmıştır.

3.1.5 Sulama Sisteminde Yer Alan Elemanlar

3.1.5.1 Basınç Düzenleyici ve Elek Filtre

Sistem için gerekli su, sistem montaj alanına en yakın noktadaki şebeke kaynağından PE boru ile sağlanmış olup, basınç yükselmelerinden sulama sistemini korumak için su basıncı, basınç düzenleyici ile ayarlanmıştır (Şekil 3.7). Suyun TADS sistemine iletilmesinden önce temizlenmesi amacıyla 150 mikron eleme etkinliği olan 1" giriş çıkış çapına sahip bir elek filtre kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.7. Sulama sisteminde yer alan basınç düzenleyici



Şekil 3.8. Su tesisatında kullanılan elek filtre

3.1.5.2 TADS Boruları

Denemede kullanılan GEOFLOW marka, ASSIF model damla sulama boruları 16 mm dış çaplı, 1,1 mm et kalınlığında, yumuşak polietilen damla sulama boruları olup, damlatıcıları yassı tipte, basınç dengeleyici özelliğe sahip ve içine geçik (in-line) tiptedir. Damlatıcıların boyu 20,4 mm, genişliği 10,3 mm, yüksekliği 5,3 mm ve su çıkış deliği sayısı 1 adet olup boru iç duvarına, imalat sırasında 40 cm aralıklarında yerleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Basınç dengeleyicili TADS borusu ve kullanılan damlaticının genel görünüşü

İmalat esnasında lateralın iç duvarına entegre şekilde sıkıca monte edilen damlaticılar, ana gövde, basınç dengeleyici elastik membran ve üst kapak olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır. Ana gövdeyi oluşturan birinci parça üç kısımdan oluşmuştur. Birinci kısım, damlaticıya su girişini sağlayan ve süzgeç görevini yapan küçük kanalların bulunduğu bölgedir. İkinci kısım gövde üzerinde boyuna olacak şekilde su geçişine izin veren labirent su geçiş kanalları ve üçüncü kısım da basınç dengeleme odasının bulunduğu bölgedir. İkinci parça basınç dengeleyici elastik membran ve üçüncü parça ise bu membranı gövdeye bastıran üst kapaktır. Damlaticıdan suyun çıkışı basınç dengeleme odasının üzerinde, laterale delinmiş bir adet su çıkış deliği yardımıyla sağlanmaktadır.

3.1.5.3 Solenoid Vanalar

Her bir yetiştirme alanında, sulamayı başlatma ve durdurma işlemi için kullanılan solenoid vanalar, 1" giriş çıkış çapına sahip olup 24V AC akım ile tetiklenebilen tiptedir (Şekil 3.10).

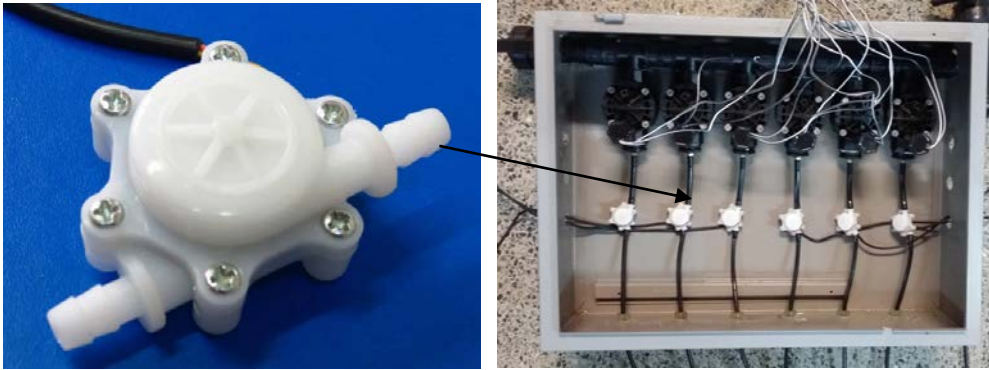


Şekil 3.10. Deneme düzeninde kullanılan 24V AC solenoid vanalar

3.1.6 Çalışmada Kullanılan Ölçüm Aletleri

3.1.6.1 Debi Ölçümünde Kullanılan Debimetreler

Verilen su miktarlarının ölçümünde Şekil 3.11’de verilen Bass Instruments marka FMTD-008-01-F model debimetreler kullanılmıştır. Her bir yetiştirme alanına bir adet olmak üzere toplam 6 adet kullanılan debimetrelerin teknik özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.11. Deneme düzeninde kullanılan debimetreler

Çizelge 3.3. Kullanılan debimetrelerin teknik özellikleri

Çalışma sıcaklığı	-25°C....+80°C
En yüksek çalışma basıncı	20 Bar
Çıkış	Atım veya frekans
Doğruluk	%3
Akım	En yüksek 8 mA
Nem	%90
Ölçüm aralığı	0,15 3 Lmin ⁻¹

3.1.6.2 Toprak Neminin Ölçümü İçin Kullanılan Algılayıcılar

Toprak neminin ölçümünde kullanmak amacıyla her bir yetiştirme alanına yüzeyden 5 cm ve 15 cm derinlikte olmak üzere iki adet (toplam 12 adet) Decagon Devices marka 10HS model hacimsel su içeriğini ölçen nem algılayıcısı (Şekil 3.12) yerleştirilmiştir. Yüksek frekans esasına dayalı olarak çalışan nem algılayıcılarının teknik özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.12. Toprak nem ölçümü için kullanılan algılayıcının genel görünüşü

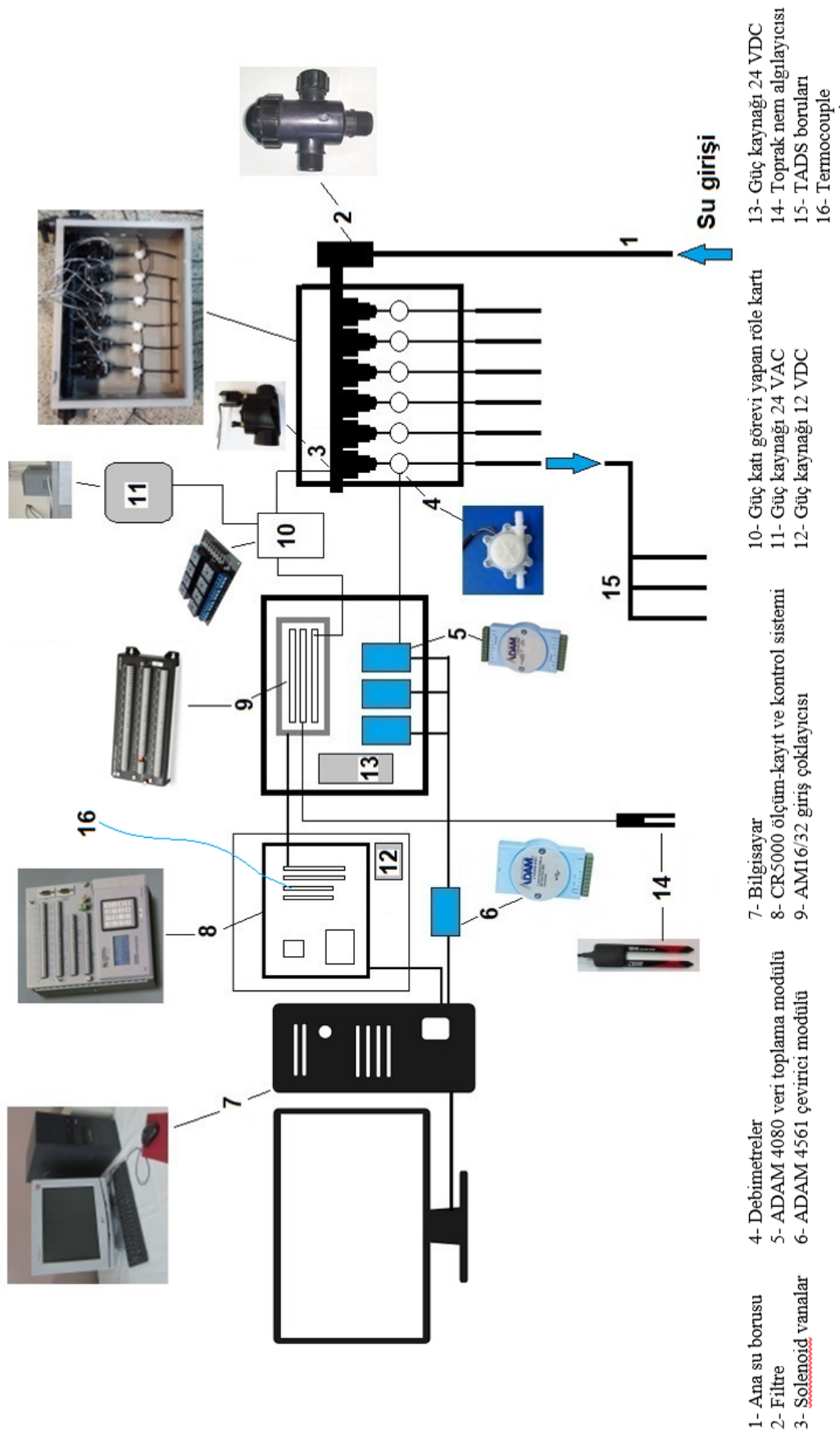
Çizelge 3.4. Toprak nem ölçümü için kullanılan algılayıcının teknik özellikleri

Hacimsel su içeriği ölçümünde	Doğruluk	$\pm 0.03 \text{ m}^3/\text{m}^3 (\pm 3\%)$
	Çözünürlük	$0.0008 \text{ m}^3/\text{m}^3 (0.08\%)$
	Ölçme aralığı	0 – 57%
Tip	Frekans tabanlı kapasitif	
Çıkış sinyali	300mV-1250mV	
Çalışma sıcaklık aralığı	0-50°C	

3.1.7 Çalışmada Kullanılan Ölçüm-Kayıt ve Kontrol Sistemleri

Çalışmada toprak nem algılayıcılarından ve debimetreden gelen sinyallerin algılanması ve verilerin kayıt edilmesinde Şekil 3.13'te şematik görünümü verilen ölçüm-kayıt ve kontrol sistemi kullanılmıştır. Sistemde, debi ölçüm-kayıt sistemi ile toprak nemi ölçüm-kayıt sistemi birbirinden bağımsız olarak çalışan iki ayrı sistem olarak oluşturulmuştur. Toprak nemini ve sıcaklığı ölçüp kayıt yapan sistem aynı zamanda solenoid vanaların kontrolünü de yapmaktadır.

Sıcaklık ölçümünde kullanılan termocouple (16) direkt olarak ölçüm ve kontrol sistemine (8) (Şekil 3.15) bağlanmakta, yetiştirme alanlarında yer alan 12 adet toprak nem algılayıcısından (14) gelen sinyaller, röleli tip giriş çoklayıcısı (9) (Şekil 3.14) aracılığı ile ölçüm ve kontrol sistemine (8) (Şekil 3.15) iletilmekte ve kaydedilmektedir. Giriş çoklayıcısı (AM16/32, CAMPBELL Scientific Inc.) ile ölçüm ve kontrol sisteminin (CR5000, CAMPBELL Scientific Inc.) teknik özellikleri sırasıyla Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.



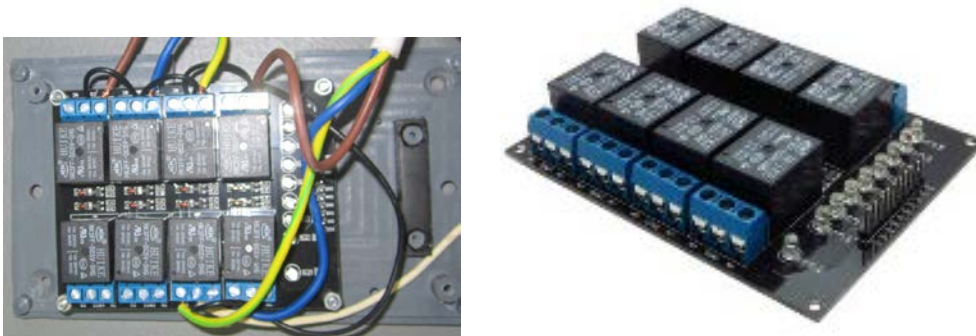


Şekil 3.14. Giriş çoklayıcısı (AM16/32, CAMPBELL Scientific Inc.)



Şekil 3.15. Ölçüm ve kontrol cihazı (CR5000, CAMPBELL Scientific Inc.)

Yetiştirme alanlarına toprak yüzeyinden 5 cm derinliğe yerleştirilen toprak nem algılayıcısından okunan nem değeri belirlenen sınır değerinin altına düştüğü anda ölçüm ve kontrol sistemi, solenoid vananın (4) güç katı görevini yapan röle kartında (10) (Şekil 3.16) yer alan ilgili röleyi tetikleyerek sulamanın başlamasını sağlamaktadır (Bkz. Şekil 3.13).



Şekil 3.16. Güç katı görevi yapan röle kartı

Solenoid vana ile ölçme ve kontrol işlerinin bir kısmını yürüten kayıt cihazının arasında güç katı görevi yapan röle kartının teknik özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Giriş çoklayıcısının teknik özellikleri

Güç	Düzenlenmemiş 9,6 - 16 V DC
Minimum Saat Pals Genişliği	1 ms
Röle için maksimum harekete geçirme süresi	20 ms
İlk Röle Direnci, Kapalı	0,1 Ohm
Maksimum Anahtarlama Akımı	500 mA
Maksimum Anahtarlama Voltajı	50 V DC

Çizelge 3.6. Ölçüm-Kayıt ve kontrol cihazının (Data logger) teknik özellikleri

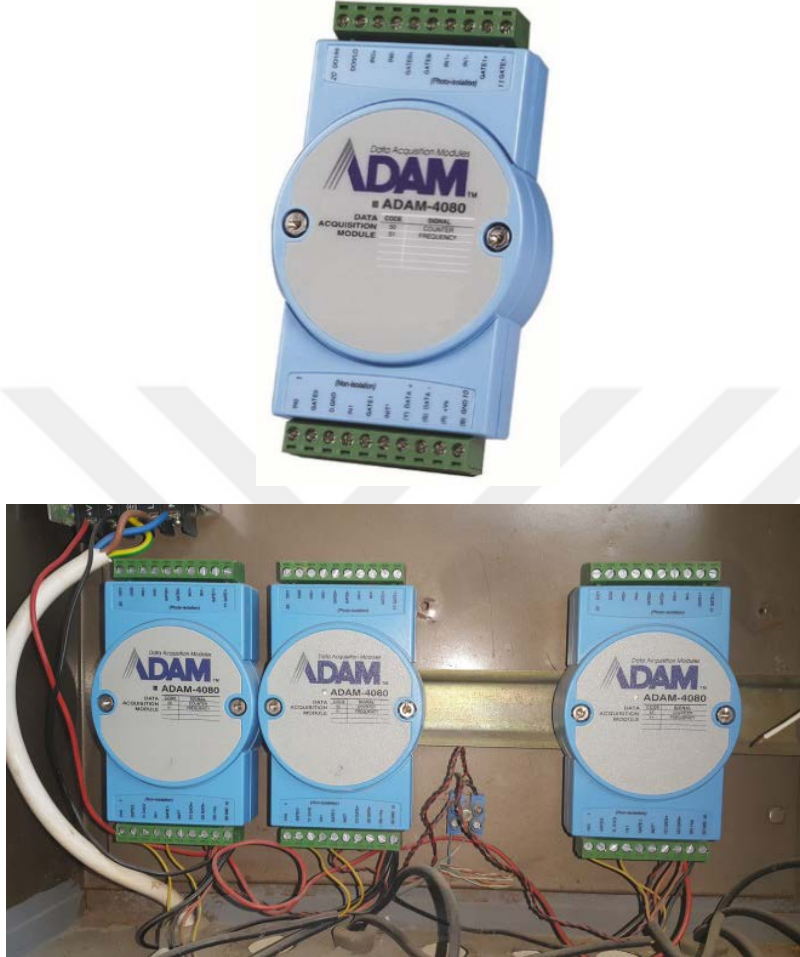
Maksimum Tarama Hızı	1667 Hz
Analog Girişler	40 adet tek uçlu veya 20 adet diferansiyel
Puls Sayıcılar	2
Uyarma Kanalları	4 voltaj, 4 akım
Analog Çıkışlar	2
İletişim Bağlantı Noktaları	1 CS I/O, 1 RS-232
Anahtarlanmış 12 Volt	1
Giriş Voltaj Aralığı	± 5 Vdc
Analog Voltaj Doğruluğu	$\pm 0,05$ FSR ($0^\circ - 40^\circ$ C)
Analog Çözünürlük	0,33 μ V
A/D Bitleri	16
Bellek	28 kB (program) 2 MB (veri depolama)
Güç Gereksinimleri	11 .. 16 VDC
Tipik Akım Boşaltımı	1,5 mA (uyku modu) 4,5 mA (1 Hz örnekleme hızı) 200 mA (5 kHz örnekleme hızı)

Çizelge 3.7. Güç katı görevi yapan röle kartının teknik özellikleri

Özellikler	Değer
Maksimum Anahtar Akımı	3 A
Maksimum Anahtar AC Voltaj	250 VAC
Maksimum Anahtar DC Gerilimi	30 VDC
Çalışma gerilimi	5 V

Debimetrelerden gelen verinin toplanmasında kullanılan veri toplama modülleri (5) Şekil 3.17’de verilmiş olup bu kartlardan üç adet kullanılmıştır. Ayrıca kartlar aracılığı ile toplanan verinin bilgisayara aktarılmasında ise çevirici

modül (6) kullanılmıştır (Şekil 3.18). Veri toplama (ADAM 4080, Advantech Co. Ltd.) ve çevirici modüllerin (ADAM 4561, Advantech Co. Ltd.) teknik özellikleri sırasıyla Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.17. Debimetrelerden gelen verinin toplanmasında kullanılan veri toplama modülleri (ADAM 4080, Advantech Co. Ltd.)

Çizelge 3.8. ADAM 4080 veri toplama modüllü (Counter/Frequency Input Module)

Giriş kanalı numarası	2 bağımsız 32 bit sayaçları
Maksimum giriş frekansı	50 kHz
İzolasyon giriş seviyesi	Maksimum +1 V
Mantıksal seviye 0	+3,5 V ila +30 V
Mantıksal seviye 1	
Giriş pils genişliği	> 10 µsec
Maksimum sayım	4294967295 (32 bit)
Frekans ölçüm aralığı	5 Hz - 50 KHz
Güç gereksinimleri	+10 ila +30 VDC (regülesiz)
Güç tüketimi	2,0 W (24 VDC gerilimde)



Şekil 3.18. ADAM 4561 Çevirici (ADAM 4080-Advantech Co. Ltd.)

Çizelge 3.9. ADAM 4561 Çevirici (Converter)

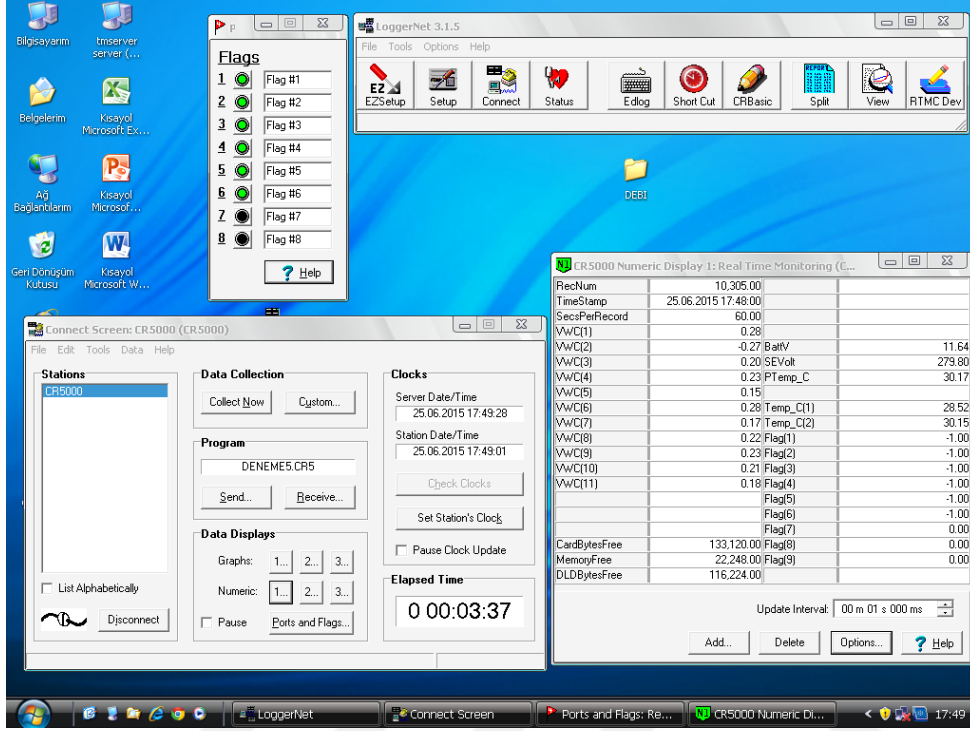
Uyumluluk	USB v1.1 standardı
Arayüz	Network: USB Serial: 3-wire RS-232, RS-422, RS-485
Port	1 Bağımsız RS-232/422/485 portları
İzolasyon koruma	3000 V
Maksimum kablo Uzaklık	4,6 m
Çalışma Sıcaklığı	0 - 70 °C
Çalışma Nemi	%20 -%95 (yoğuşmasız)

3.1.8 Kullanılan Programlar

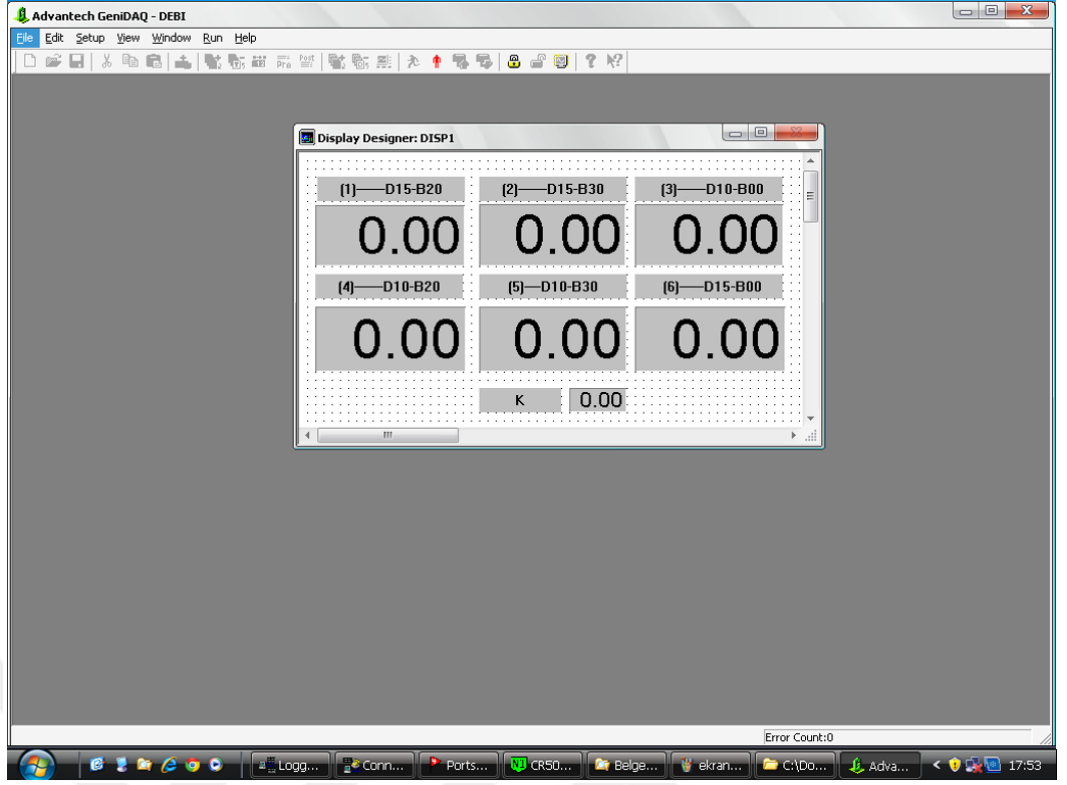
Yetiştirme alanlarında yer alan toprak nem algılayıcılarından gelen verinin kaydedildiği ve solenoid vanaları kontrol eden CR5000, CAMPBELL Scientific Inc. ölçüm ve kontrol sisteminin programlanmasında LoggerNet programı kullanılmıştır (Şekil 3.19).

Debimetrelerden gelen verinin toplanmasında kullanılan veri toplama modülleri ve toplanan verinin bilgisayara aktarılmasında ve veri toplama stratejisinin oluşturulmasında ise Advantech GeniDAQ programı kullanılmıştır (Şekil 3.20).

Bilgisayar ortamında kaydedilen verilere, anlık değerlere ve kontrol butonlarına ulaşılmasını sağlayan yazılımlar ile tüm işlemlere atölye ortamında erişilebilir hale getirilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.19. LoggerNet programında toprak nem değerleri okuma ekranı



Şekil 3.20. Advantech GeniDAQ programında debimetre okuma ekranı



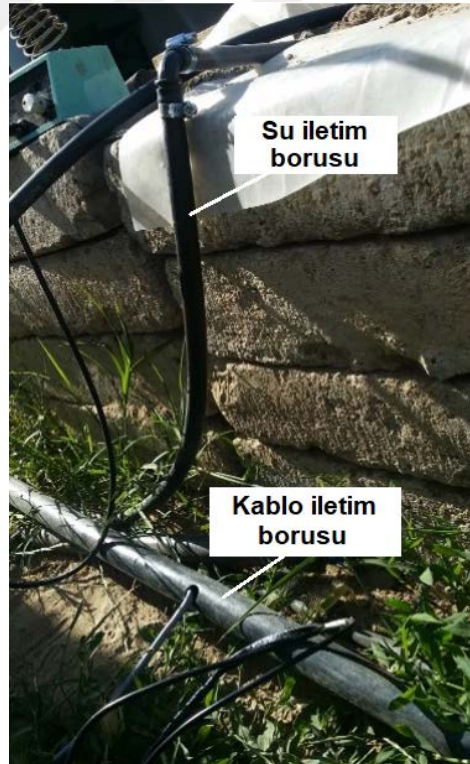
Şekil 3.21. Kayıt kontrol ve besleme üniteleri

3.1.9 Ölçme ve Kontrol Sisteminin Montajının Yapılması

Laboratuvar ortamında ön denemeleri yapılan otomasyon donanımı, deney sahasında sürekli çalışacağı yerde panolarla koruma altına alınarak monte edilmiştir. Sistem nem algılayıcılarının, sulama suyu debimetrelerinin ve hava sıcaklık algılayıcısının değerlerini okumakta, nem algılayıcılarından etkili kök bölgesine yerleştirilenler ayarlanmış değer aralığında sulamayı başlatmakta veya durdurmaktadır. Tüm sistem değerleri de kayıt edilmektedir.

3.1.10 Boru ve Kablo Hatlarının Döşenmesi

Otomasyon sisteminin ölçme ve kontrol çıkışlarının deneme sahasına ulaştırılması için gerekli sayıda kablolama yapılmıştır. Tüm bu hatlar dış ortamda kalacağı için ikinci bir koruma borusundan geçirilmiştir (Şekil 3.22). Otomasyon sistemine ulaşan ana su hattı ve yetiştirme alanlarına iletilen borular da dış etkenlerden korunacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.22. Su ve kablo iletim boruları

3.1.11 Çalışmada Kullanılan Çim Tohumları

Çalışmada; Lolium Perenne (İngiliz çimi), Festuca Rubra Rubra (kızıl yumak) ve Poa Prantosis (çayır salkım otu) tipi çim tohumları kullanılmıştır.

3.1.12 Çalışmada Kullanılan Çim Biçme Makinası

Çalışmada, Çizelge 3.10'da teknik özellikleri verilen elektrikli çim biçme makinesi kullanılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Çalışmada kullanılan çim biçme makinası

Çizelge 3.10. Denemede kullanılan çim biçme makinasının teknik özellikleri

Özellik	Değer
Motor gücü	1200 W
Moment	13 Nm
Kesme genişliği	32 cm
Ağırlık	6,8 kg
Çim toplama hacmi	31 L
Kesme yüksekliği	20 - 60 mm
Kesme yüksekliği	3 kat ayarlanabilir

3.2 Yöntem

3.2.1 Damlatıcıların Farklı Basınçlardaki Debilerinin Belirlenmesi

Basınç dengeleyicili damlatıcılara sahip TADS borularının farklı basınçlardaki ortalama debilerinin belirlenmesi için yapılan denemelerde denemeye alınan 20 damlatıcının yer aldığı damla sulama borusu, eğimsiz olarak laboratuvarda oluşturulan deneme düzenine yerleştirilmiştir. Denemeler 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5 ve 4,0 bar basınç değerlerinde yürütülmüş ve her bir basınç değerinde damlatıcıların debi değerleri üç tekrarlı olarak ölçülmüştür. Deneme düzenine su, santrifüj pompa yardımıyla filtreden geçtikten sonra verilmiş olup basınç, pompa çıkışındaki vanalar yardımıyla ayarlanmış ve lateral girişine filtreden sonra yerleştirilen manometreler yardımıyla kontrol edilmiştir. Gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarından yararlanılarak damlatıcıların basınç-debi ilişkileri ve yapım farklılığı değerleri belirlenmiştir.

3.2.2 Bariyer Kullanımının Toprak Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Analizler

Deneme öncesinde ve deneme sonrasında yetiştirme alanlarından alınan toprak örneklerinde, EÜ Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Laboratuvarlarında aşağıda verilen yöntemlere göre analizler yapılmıştır.

Alınan toprak örnekleri analizlerden önce hava kurusu duruma getirilmiştir. Bu örnekler, analizler için 2 mm'lik elekten elenmişlerdir.

- Toprak reaksiyonu (pH), doygunluk çamurunda; cam elektrotlu pH-metre ile ölçülerek belirlenmiştir (Jackson,1967).
- Toprak tuzluluğu (EC_{25} , $dS m^{-1}$), doygunluk çamurunda EC-metre ile (Richards, 1954).
- Toprak organik maddesi (OM), yaş yakma yöntemi ile yakılan toprak örneklerinde organik C saptanmış ve organik madde hesaplanmıştır (Jackson,1962).

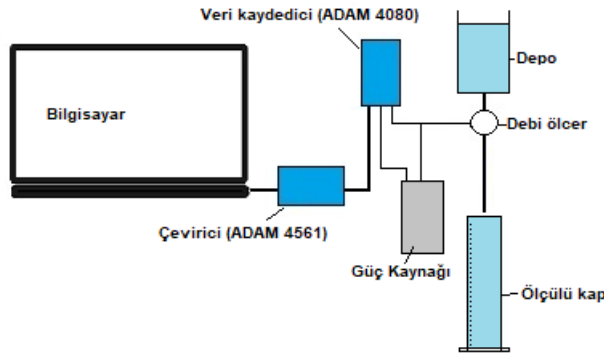
- Toprak kireci, Scheibler kalsimetresinde HCl ile tepkimeye giren CaCO_3 'dan çıkan CO_2 hacminin ölçülmesi ile belirlenmiştir (Richards, 1954).
- Toprakta tane irilik dağılımı-Toprak bünyesi- (Kum, Mil, Kil), Bouyoucous silindiri ve hidrometre ile saptanmıştır (Bouyoucous, 1951).
- Toprakta toplam N salisilik-sülfürik asit karışımıyla yaş yakılan örnekler, damıtma setinde damıtılmış borik asit-indikatör karışımına alınıp, H_2SO_4 ile titre edilerek belirlenmiştir (Bremner, 1965).
- Bitkiye yarayışlı P, 0,5 M NaHCO_3 (pH 8,5) ile ekstrakte edilen P'un spektrofotometrik olarak okunması ile saptanmıştır (Olsen et al.,1954).
- Alınabilir K, Ca, Mg ve Na, 1 N NH_4OAc (pH:7) yöntemine göre elementlerin alev fotometrede okunması ile belirlenmiştir (Kacar, 1995).
- Toprakta bitkiye yarayışlı Fe, Cu, Zn ve Mn Diethylenetriaminepentaacetic Asit (DTPA) metoduna göre çalkalanıp süzülerek ekstrakte edilen örneklerde AAS ile saptanmıştır (Lindsay and Norvell, 1978).

3.2.3 Kalibrasyon ve Ön Denemeler

Ölçümlerde kullanılan debimetre ve toprak nem algılayıcılarını kalibre etmek ve ölçüm değerlerinin doğruluğunu belirlemek amacıyla ön denemeler yapılmıştır.

3.2.4 Deneme Düzeninde Kullanılan Debimetreler ile Yapılan Ön Çalışmalar

Deneme düzeninde kullanılan debi ölçüm sisteminin kalibrasyonu için debimetrenin sınır değerlerinde su geçişi sağlanmış ve suyun belirli hacmi doldurması için geçen sürenin kronometre ile ölçülmesi ile akan suyun debisi belirlenmiş toplamda geçen su miktarı ile debimetreden alınan değer kıyaslanmıştır. Ölçümler farklı debi değerleri ile Şekil 3.24'teki düzenek kullanılarak tekrarlanmış, farklı değerler için tekrarlanan bu ölçümlerden debimetrenin frekans esaslı çalışması için bir denklemi elde edilmiştir.



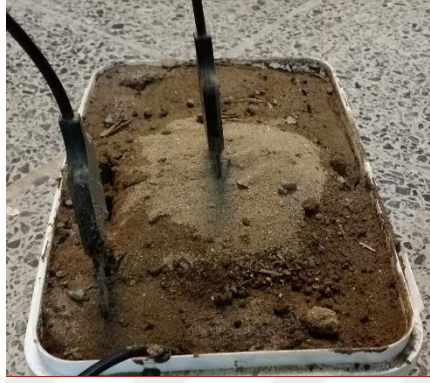
Şekil 3.24. Debimetre kalibrasyon düzeneği

3.2.5 Toprak Nem Algılayıcısı ile Yapılan Ön Denemeler

Sistem montaj alanının açık alanda olması, ölçüm, kontrol ve kayıt donanımının dış alanda çevre şartlarına maruz kalmasına neden olacağı düşünülerek donanımların en yakın bina içine taşınması için gereken mesafedeki toprak nem algılayıcısının iletişimi denenmiştir. Hazırlanan elektrik tesisat projesinde 30 metreye kadar kablo uzunlukları öngörülmüştür. Yapılan deneylerde ise 65 metreye kadar algılayıcıların sinyallerinin bozulmadığı belirlenmiştir. Böylelikle kumanda ve ölçme tasarımının sorunsuz çalışabilirliği saptanmıştır.

Sinyal testleri yapılan algılayıcıların toprak altına montajı yapıldıktan sonra herhangi bir sebeple sökülmesi montaj alanındaki toprak bünyesini, bariyer ve boru montajını bozacaktır. Bu nedenle toprak nem algılayıcılarının üretici verilerine uygun şekilde sıcaklık, toprak tipi gibi parametrelerden bağımsız ve kabul edilebilir oranda hata paylarında çalıştığı sınanmak istenmiştir. Hacmi tam olarak belirlenen bir kaba hacmi kadar proje toprak örneği yerleştirilmiştir (Şekil 3.25). Yine hacmi

belli olan miktarlarda homojen su verilerek algılayıcının ölçümleri incelenmiştir. Aynı deneyler algılayıcının montaj açısı ve konumu değiştirilerek yinelenmiştir. Farklı algılayıcılarla yinelendiğinde kararlı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.26’da aynı anda okunan algılayıcıların veri kaydedici ekranı gösterilmektedir.



Şekil 3.25. Algılayıcı deney kabı

CR5000 Numeric Display 2: Real Time Monitoring (Co...

VWC(1)	0,32						
VWC(3)	0,33						
VWC(5)	0,34						
BattV	10,93						
PTemp_C	27,95						
Temp_C(1)	26,11						
Flag(1)	0,00						
Flag(2)	0,00						
Flag(3)	0,00						
Flag(4)	0,00						

Update Interval: 00 m 01 s 000 ms

Add... Delete Options... ? Help

Şekil 3.26. Toprak nem algılayıcı okumaları

3.2.6 Bariyer Kullanımının Toprak İçindeki Su Hareketine Etkisinin İncelenmesi Amacıyla Yapılan Ön Denemeler

Sulamada kullanılabilecek su tutma bariyerleri ile ilgili literatürün son derece kısıtlı olması nedeniyle bariyer ölçüleri ve geometrisinin belirlenmesinde kullanılabilecek yaygın bir yöntem de bulunmamaktadır. Yetiştirme şartları gözetilerek projede tasarlanan bariyerlerin tasarımını iyileştirmek için ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Kurulacak sulama sistemindekine benzer yükseklikte kesite sahip sulama düzeni, şeffaf kaplara birer damlatıcı için kurularak su verilmiş, bariyerin su hareketine yaptığı etki izlenmiştir. Kapalı saydam kaplarda yapılan bu deneyde yetiştirme alanları için kullanılması planlanan özelliklerdeki toprak kullanılmıştır (Şekil 3.27).

Toprak altı damla sulama sistemi ile bariyer kullanımının toprak içindeki su hareketine etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan denemeler, yetiştirme alanları kurulmadan önce 60x60x10 cm ölçülerinde şeffaf kaplarda yapılmıştır. Ön denemelerde iki kap ele alınmış ve kapların içine denemelerde kullanılacak toprak doldurulmuş ve doldurma sırasında toprak sıkıştırılmıştır. İki aşamada yapılan deneylerde önce düzlemsel bariyer ve toprak üstü damlatıcı ile bir yapılandırma oluşturulmuş ve bir de bariyersiz kap ile eşit su miktarlarında deneme yapılmıştır. Bu çalışmada suyun hareketi ve bariyerin etkisi gözlenmiş kapların yüzeyine çizilen 10 cm aralıklı çizgiler yardımıyla hareketin görselleştirilmesi kolaylaştırılmıştır.

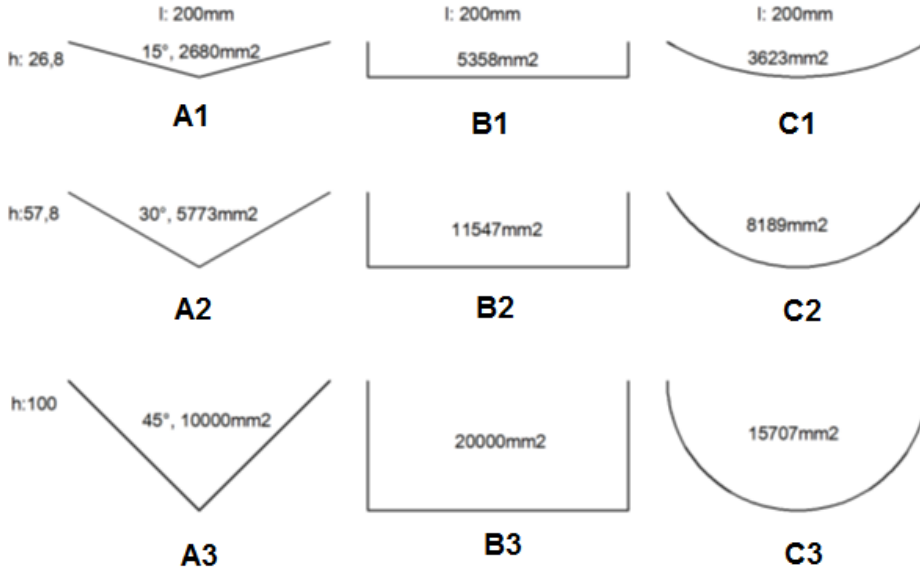
İkinci aşama deneyler ise tez projesinde kurulacak yapılandırmaya daha yakın olacak şekilde hazırlanmış iki kaptan birine daire parçası şekilde bükülen 25 cm iz düşümü genişliğinde saydam bir bariyer yerleştirilmiştir. Diğerine ise bariyer koyulmamıştır. Kapların yüzeyinden 20 cm derine debisi 2,2 L/h olan birer damlatıcı yerleştirilmiş ve toprak altı damla sulama yapılırken görüntüleri sürekli olarak kamera ile kayıt altına alınmıştır. Böylece suyun toprak içindeki hareketi zamana bağlı takip edilmiştir.



Şekil 3.27. Ön denemelerde kullanılan saydam deneme kapları

3.3 Farklı Bariyer Tasarımları ve Su Depolama Kapasiteleri

Bariyer kullanımının toprak içindeki su hareketine etkisinin incelenmesi amacıyla cam kaplarla yapılan ön denemelerde, bariyer profilinin su hareketini etkilediği görülmüştür. Bu nedenle çalışmada kullanılacak uygun bariyer profilinin belirlenmesi amacıyla iz düşüm genişliği 20 cm olan farklı geometrik şekildeki bariyerlerin (Şekil 3.28) su depolama kapasiteleri ve malzeme kullanım durumunu belirlemek amacıyla 20 m x 50 m ölçülerindeki bir alanda 0.4 m lateral aralıklı TADS borusunun yerleştirilmesi durumunda kullanılacak toplam bariyer alanı hesaplanmış ve Çizelge 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.28. Farklı bariyer tasarımları ve kesit alanları

Çizelge 3.11. Farklı geometrik şekildeki ve 20 cm genişliğindeki bariyerlerin kullanım miktarları

Kesit şekli	Kesit tipi	Kesit alanı mm ²	1 da alanda kullanılacak toplam bariyer alanı m ²
	A1	2680	517,5
	A2	5773	577,5
	A3	10000	705
	B1	5358	632,5
	B2	11547	789
	B3	20000	1000
	C1	3623	522
	C2	8189	605
	C3	15707	785

Çizelge 3.11’de görüldüğü gibi dörtgen kesitli bariyerin (B) kesit alanı üçgen ve dairesel kesite göre daha fazladır. Ancak hem 1 da alanda kullanılacak olan bariyer alanının fazla olması ve dörtgen profilde bariyerlerin makine yardımıyla yerleşiminin sorun çıkarabileceği gerekçesiyle daire parçası şeklindeki kesitin uygulamada daha kullanışlı olacağı düşünülmüştür. Üçgen kesitli bariyerin (A) kesit alanının küçük ve köşeli olması nedeniyle makine yardımıyla yerleşiminin zor olacağı düşünülmüştür. Tüm bu bilgiler ışığında daha fazla ve daha uzun süre su tutma yetisine sahip, aynı zamanda gelecekte makine ile döşenmesi istendiğinde

mekanizmalar ile kolay çalışabilecek basit bir geometriye sahip, ölü köşeler içermeyen daire yayı profili çalışmada kullanılacak su tutma bariyeri olarak belirlenmiştir. Tercih edilen profilin çalışmalar bitiminde ölçülerinin hangi yönde iyileştirileceğini bulabilmek için birden çok kesitin aynı anda denenmesi esasıyla deneme alanlarının bir kısmında daire parçası kesitli ve 20 cm iz düşüm genişlikli diğer bir kısmında da 30 cm iz düşüm genişlikli olmak üzere 2 ayrı profil tercih edilmiştir.

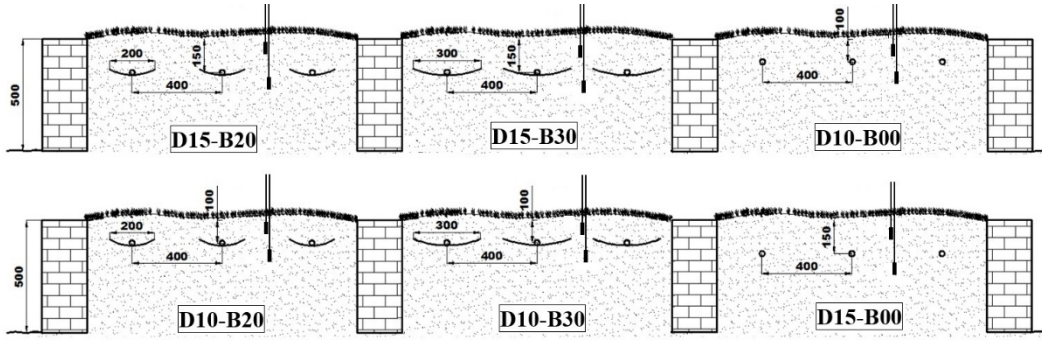
3.3.1 Deneme Konuları

TADS sistemlerinde bariyer kullanımının sulama verimine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada bariyerli dört ve bariyersiz iki adet olmak üzere toplam 6 adet yükseltilmiş yetiştirme alanı (parsel) kullanılmıştır. Deneme konularının parsellere yerleşimi Şekil 3.29’da verilmiştir.

Şekil 3.29’da görüldüğü gibi bariyersiz parsellerin birinde damla sulama borusu toprak yüzeyinden 10 cm derinliğe, diğerinde ise 15 cm derinliğe yerleştirilmiştir. Bariyerli parsellerde de damla sulama borusunun yerleştirildiği derinlik dolayısı ile bariyerin yerleşim derinliği 10 cm ve 15 cm olmasının yanında borunun hemen altına her iki derinlik için 20 ve 30 cm genişlikte özel form verilmiş bariyer yerleştirilmiştir (Şekil 3.30).

BARİYERLİ TADS borusunun yerleşim derinliği: 15 cm Bariyer izdüşüm genişliği: 20 cm D15-B20	BARİYERLİ TADS borusunun yerleşim derinliği: 15 cm Bariyer izdüşüm genişliği: 30 cm D15-B30	BARİYERSİZ TADS borusunun yerleşim derinliği: 10 cm D10-B00
BARİYERLİ TADS borusunun yerleşim derinliği: 10 cm Bariyer izdüşüm genişliği: 20 cm D10-B20	BARİYERLİ TADS borusunun yerleşim derinliği: 15 cm Bariyer izdüşüm genişliği: 30 cm D10-B30	BARİYERSİZ TADS borusunun yerleşim derinliği: 15 cm D15-B00

Şekil 3.29. Deneme konularının yerleşim planı ve dikkate alınan ölçüler



Şekil 3.30. Deneme konularında boru ve bariyer yerleşimi

Her bir deneme ortamına verilen su ayrı ayrı ölçülmüş ve bir sulama döneminde verilen toplam su miktarı belirlenmiştir. Böylece su tasarrufu açısından konular arasındaki farklılıklar belirlenmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla her deneme ortamında toprağın ne kadar süre nem içeriğini koruduğu, bariyer tasarımına göre suyun infiltrasyon hızı ve yönünü saptamak, bariyerin etkinlik alanını ayrıca bilinmeyen diğer hidrolik etkilerini ortaya koymak mümkün olmuştur.

Çalışmada bariyer denemelerinin yanı sıra hiçbir bariyerin kullanılmadığı bir TADS alanı da aynı anda, aynı şartlarda denendiği için diğer tüm bariyer konuları için referans olmuştur. Aynı zamanda her algılayıcının bilgileri kaydedilerek toprak neminin zamana bağlı olarak değişimi incelenmiş, böylelikle denemede ele alınan bariyer tasarımlarının ve toprak altına yerleştirilme derinliği alternatiflerinin toprak nemine etkileri bariyersiz sistemle kıyaslanabilmektedir.

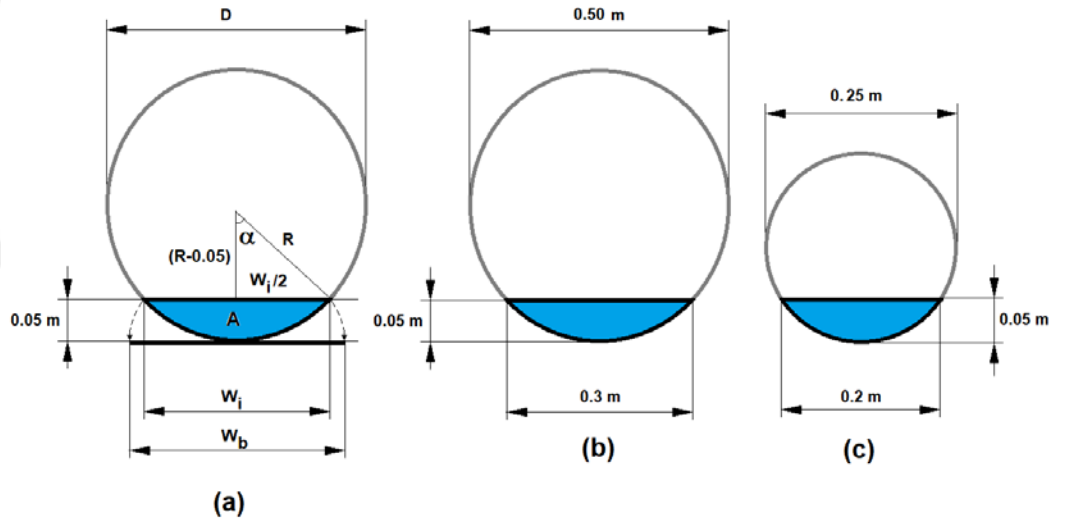
3.3.2 Su Tutma Bariyerleri, Toprak Altı Damla Sulama Boruları ve Nem Algılayıcılarının Yerleşimi

Yetiştirme alanlarına bariyer, damla sulama boruları ve toprak nem algılayıcılarının yerleştirilmesi aşağıdaki sırada gerçekleştirilmiştir.

- Yerleştirilecek bariyer malzemesinin ve damla sulama borularının hazırlanması
- Bariyerin yerleştirileceği toprak profilinin oluşturulması
- Bariyerin yerleştirilmesi
- Damla sulama borularının yerleştirilmesi
- Toprak nem algılayıcılarının yerleştirilmesi

3.3.2.1 Yerleştirilecek Bariyer Malzemesinin Hazırlanması

Çalışmada iki ayrı bariyer genişliği esas alınmıştır. Ancak bariyer yüksekliklerinin aynı olması ve bariyerin yerleştirileceği profilin bir daire parçası şeklinde olması öngörülmüştür. Buna göre iz düşüm genişliği 0,20 m ve 0,30 m yüksekliği (tabanı ile uçları arasındaki mesafe) 0,05 m olan daire parçalarını oluşturmak için gerekli olan çapları belirlenmiştir. Bu amaçla Şekil 3.31 (a) da verilen çizimden yararlanılarak, 0,3 m iz düşüm bariyer genişliği için 0,5 m ve 0,2 m iz düşüm bariyer genişliği için 0,25 m çaplar elde edilmiştir. Yukarıda ifade edilen iz düşüm genişliği ve yüksekliğini sağlayacak bariyer malzemesinin eni ise 0,2 ve 0,3 m bariyer iz düşümü genişlikleri için sırasıyla 0,232 m ve 0,365 m olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.12).



Şekil 3.31. Bariyer profil tasarımında dikkate alınan ölçüler

Çizelge 3.12. Hesaplama sonuçları

Bariyer iz düşüm genişliği, W_i (m)	Daire çapı, D (m)	Açı, α (°)	Bariyer malzemesinin genişliği, W_b (m)	Bariyerin oluşturduğu kesit alan, A (mm ²)
0,2	0,25	53,13	0,232	6989
0,3	0,50	36,87	0,322	10208

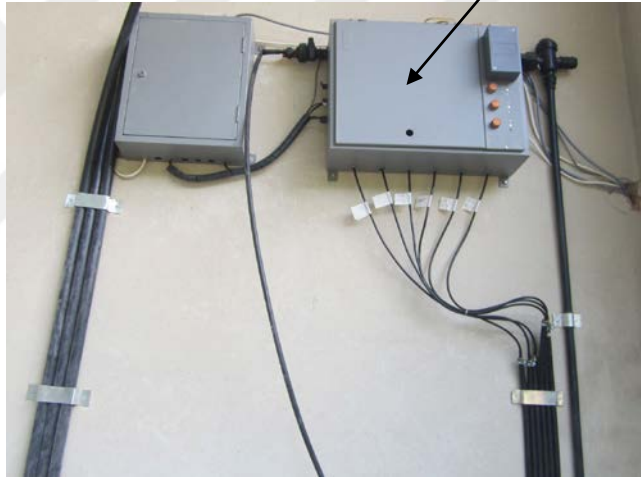
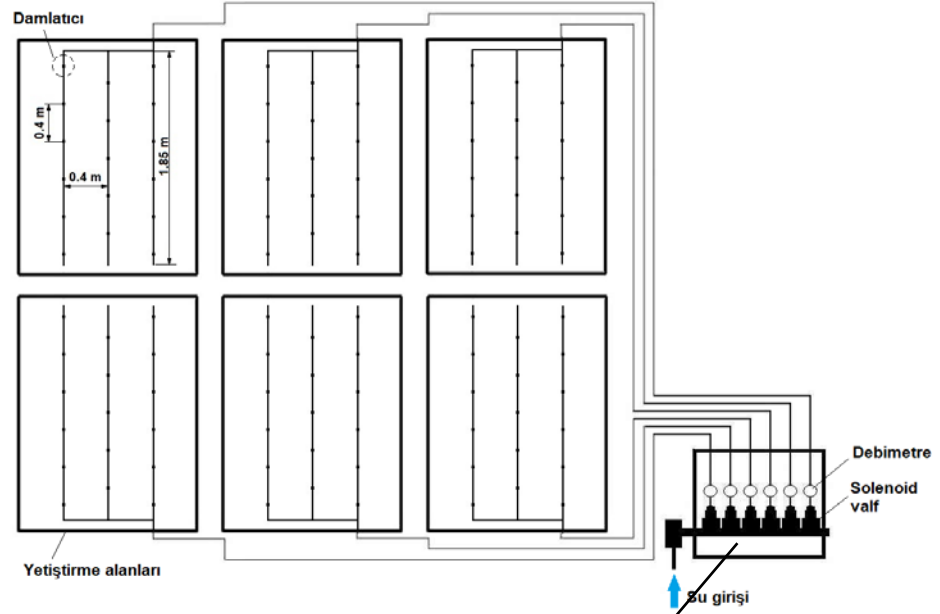
Bu hesaplamalara göre elde edilen bariyer genişliğinde 0,2 mm kalınlığında PVC malzemeden 2,5 m uzunluğunda bariyer malzemeleri hazırlanmıştır.

3.3.2.2 Damla Sulama Borularının Hazırlanması

Damla sulama boruları uygun uzunlukta kesildikten sonra dirsek ve T gibi boru parçalarıyla birleştirilerek Şekil 3.32’de görüldüğü gibi hazırlanmış, Şekil 3.33’te gösterildiği gibi yetiştirme alanlarına yerleşimi gerçekleştirilmiş ve su iletim boruları ile ana su dağıtım merkezine bağlantıları yapılmıştır. Boruların hazırlığında her yetiştirme alanı için boruların üzerinde toplam 17 adet damlatıcı olacak şekilde düzenleme yapılmıştır. Boruların hazırlanmasında lateraller arası ve damlatıcılar arası mesafenin 0,4 m olması ve damlatıcıların ıslattıkları alanların birbirini örtmesini sağlamasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.32. TADS borularının hazırlanması ve ölçüler



Şekil 3.33. TADS borularının yetiştirme alanlarına yerleşimi ve su iletim borularına bağlantısı

3.3.2.3 Bariyerin Yerleştirileceği Toprak Profiline Oluşturulması

Bariyerin yerleştirileceği toprak profilinin oluşturulması amacıyla 1/2" galvanizli borudan kılavuz hazırlanmıştır. Hazırlanan kılavuz, Şekil 3.34'teki gibi bariyerin uygulanacağı derinlikte her bir parselin içine yere paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bariyersiz konularda toprak ıslatılarak kılavuz boru kaldırılmış (Şekil 3.35 a, b) ve TADS boruları yerleştirilmiştir (Şekil 3.35 c)



Şekil 3.34. Galvanizli demir borudan hazırlanan kılavuz yerleşimi



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.35. Bariyersiz konularda toprak altı damla sulama borularını yerleşimi

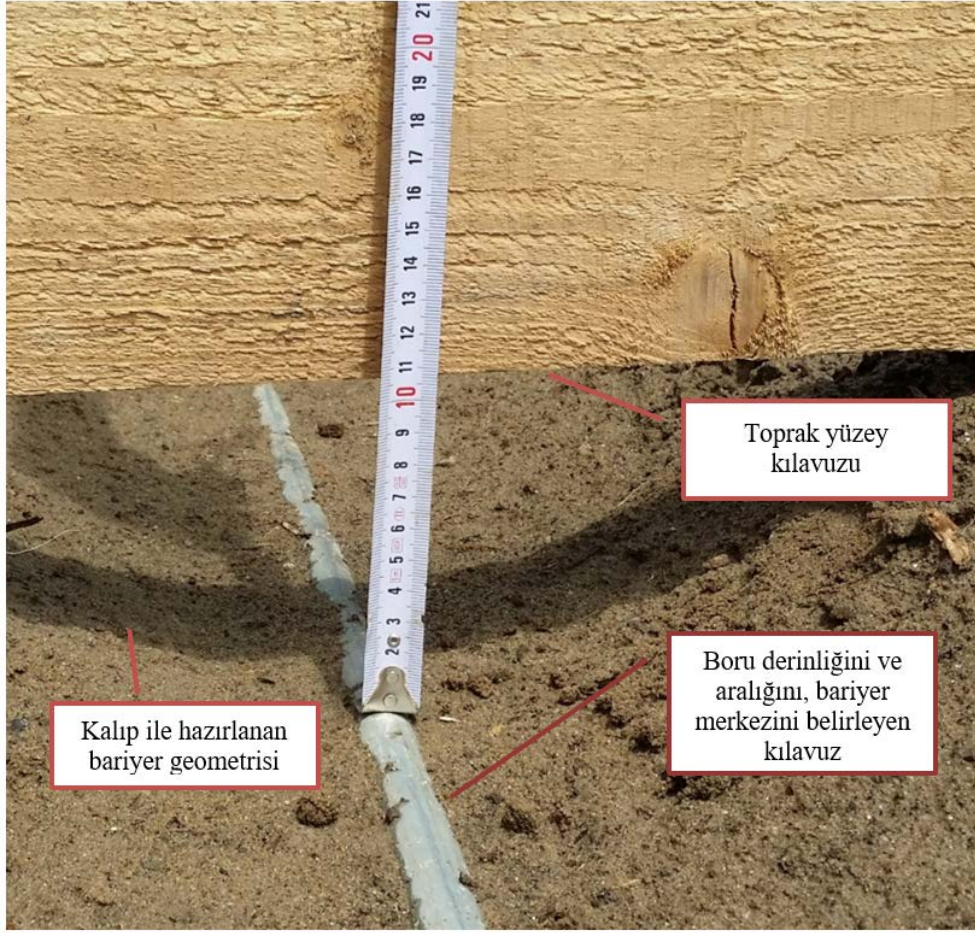
Bariyer yerleştirilecek konularda ise Şekil 3.31’de verilen ölçüler dikkate alınarak hazırlanmış sürgüler (Şekil 3.36) kullanılarak bariyer yerleştirilecek toprak profili hazırlanmıştır (Şekil 3.37). Profilin hazırlanması sırasında bariyer derinliğinin toprak yüzeyine olan mesafesi kontrol edilmiştir (Şekil 3.38)



Şekil 3.36. Bariyer yerleştirilecek toprak profilinin düzenlenmesinde kullanılan sürgü



Şekil 3.37. Sürgü kullanılarak hazırlanan bariyer yerleştirilecek toprak profili



Şekil 3.38. Deney alanı montaj referansları

3.3.2.4 Bariyerlerin ve Damla Sulama Borularının Yerleştirilmesi

Bariyer yerleştirilecek konularda, Şekil 3.31 ve Çizelge 3.12’de verilen ölçüler dikkate alınarak hazırlanan bariyer malzemeleri toprak profiline yerleştirilmiştir (Şekil 3.39). Daha sonra borular yetiştirme alanlarına yerleştirilmiş ve sıra arası ölçülerinin tam olması sağlanarak (Şekil 3.40) toprakla kapatılmıştır. Bu yerleşim sırasında, su dağılımını etkileyeceği düşüncesiyle bariyerin uç noktalarının aynı eksende olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.41).



Şekil 3.39. Hazırlanan toprak profiline bariyer yerleşimi



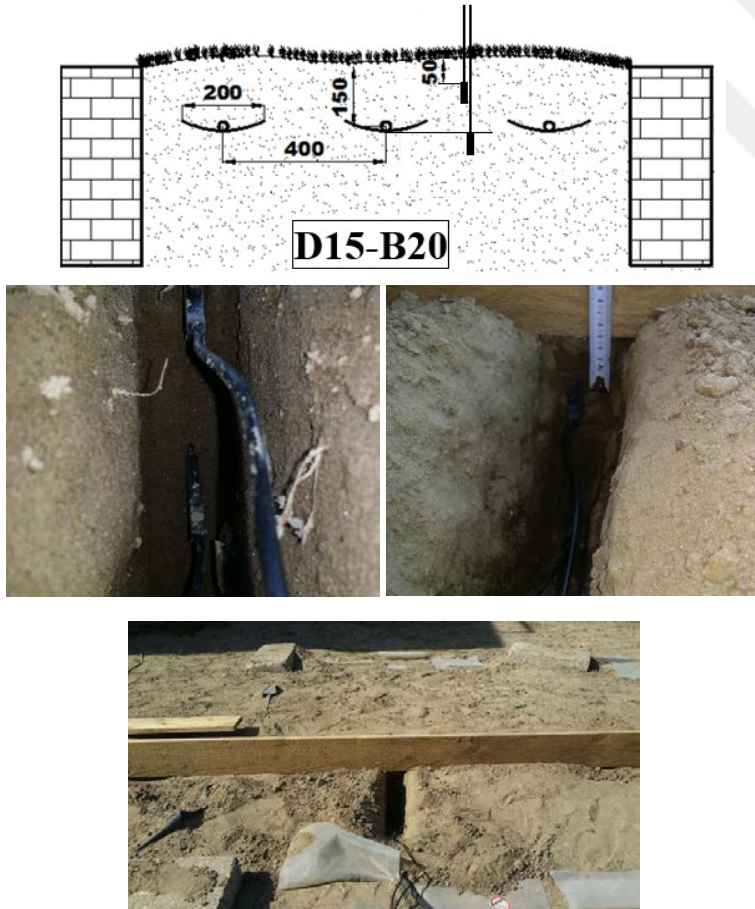
Şekil 3.40. Boru ve bariyerler kapatılmadan önce son ölçülendirme



Şekil 3.41. Bariyerin yerleşiminde uç noktalarının aynı ekseninde olması

3.3.2.5 Toprak Nem Algılayıcılarının Yerleştirilmesi

Her bir yetiştirme alanında sulama suyunun toprak içindeki durumunun belirlenmesi amacıyla iki ayrı derinlikte toprak nem algılayıcıları kullanılmıştır (Bkz. Şekil 3.30). Yetiştirme alanlarına toprak yüzeyinden 5 cm derinliğe ve iki bariyerin ortasına yerleştirilen toprak nem algılayıcıları bitki kök bölgesindeki nem düzeyini belirlemiş ve belirlenen sınır değerine göre sulamanın başlatılıp durdurulması sağlanmıştır (Şekil 3.42). Bu algılayıcıdan okunan toprak hacimsel su içeriği %28 değerinin altına düştüğü anda solenoid vana otomatik olarak açılarak sulama başlatılmış, %30 değerine ulaştığı anda ise sulama sonlandırılmıştır. Her bir yetiştirme alanına yerleştirilen ikinci toprak nem algılayıcısı ise bariyerler arasından aşağı süzülen suyun algılanması amacıyla kullanılmış olup, damla sulama borusunun dolayısıyla bariyerin bulunduğu derinliğin hemen altına iki bariyerin ortasına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.42. Toprak nem algılayıcılarının yerleştirilmesi

3.3.3 Sistemin Devreye Alınması ve Güvenilirlik Testlerinin Yapılması

Deneme sistemi için belirlenen tüm unsurların montajı bittiğinde tam gözetimli bir sınama süreci başlatılmıştır. Bu süreçte aşağıda listelenen unsurlar kontrol edilmiştir.

- Besleme sistemleri kararlılığı
- Elektromanyetik girişim
- Sinyal kayıp faktörü
- Elle kontrol
- Sistem çökmesi sonrası başlama
- Açma kapama kararlılığı
- Tutarlı ölçüm
- Tepki süresi
- Çevre şartlarına uyum

Bu kontroller sonucu sistem programlarında iyileştirilmeler yapılmıştır. Hataya neden olduğu düşünülen toprak yüzey farklılıkları giderilmiştir. Bu sorunların dışında sistemdeki algılayıcıların istenilen hassasiyette ölçüm yapabildiği ve uzun kablo mesafelerine rağmen sinyal kaybı yaşamadığı gözlenmiştir. Sulama kontrollerinde solenoid vanaların doğru çalıştığı gözlenmiştir.

3.3.4 Sulama Deneylerine Başlanması

Doğru çalıştığı gözlenen otomasyon sistemi devreye alındığında henüz çim tohumları ekilmeden sulama ve kayıt sürecine başlanmıştır. Bir süre sulama ve yağmur etkisi ile deneme alanlarına su girişi olduktan sonra sulama durdurulup kuruma süreci izlenmiştir. Bu sayede su talebi olmadığı halde topraktaki nem değişimi ve bariyerlerin etkisi izlenmiştir. Deneme alanlarının bitkisiz olarak, sadece donanım ile karşılaştırmalı testleri yapıp kayda alınmıştır.

3.3.5 im Tohumu Ekimi ve imlendirme İşlemi

Ekim için öncelikle yetiştirme alanlarının toprak yüzeyleri düzeltilmiştir. Daha sonra elle ekim gerçekleştirilmiştir.

Hassas terazi ile yetiştirme bölgelerinin her biri için önceden hazırlanan tohum karışımları 100 gr/m² oranı hedeflenerek atılmıştır (şekil 3.43). Lolium perenne (İngiliz imi), festuca rubra rubra (kızıl yumak) ve Poa prantosis (ayır salkım otu) karışımlarda eşit olarak kullanılmıştır. Tohumların zerine çiftlik gübresi ve toprak karışımı yapılarak bir kapak malzemesi hazırlanmıştır. Bu kapak malzemesi elek ile her yetiştirme alanına eşit şekilde dağıtılmıştır (şekil 3.44).



şekil 3.43. Tohum karışımı kapatılmadan önce



şekil 3.44. Tohum gübre katmanı

Dış ortam sıcaklığının en yüksek 38°C dolayında olduğu günde (29.07.2015) atılan tohumlar sistem deney düzeneği olan toprak altı sulama sistemi ile birlikte üstten spreyleme ile de sulanıp toprağı serin tutmak amacıyla gölgelenmiştir. Çimler çıkmaya başladığında tohum kaybı yaşandığı görülmüştür. Bu kayıplar daha sonra kapatma çalışması ile giderilmiştir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45. Çimlerin çıkış başlangıcı

3.3.6 Sulama ve Bakım Çalışmalarına Devam Edilerek Veri Kaydı Yapılması

Bitkisiz ortamda programlanan sulama sistemi, çim tohumları ekildikten sonra çalışmaya devam etmiştir. Tohumların çimlenmesi aşamasında denemede kullanılan sulama sistemine ek olarak toprak üstünden de sulama da yapılmıştır. Yeterli kök oluşumu gerçekleştikten sonra sulamaya deney sistemi ile devam edip su tüketim değerleri düzenli olarak kayıt altına alınmıştır. 2015 yılında 29 Temmuz ile 13 Eylül, 2016 yılında ise 7 Nisan 28 Eylül tarihleri arasında sulama yapılmıştır.

3.3.7 Çim Biçme ve Değerlendirme Çalışmalarının Yürütülmesi

Proje bütçesi dâhilinde elektrikli çim biçme makinesi (Şekil 3.23) alınmış ve düzenli olarak çimler biçilerek (Şekil 3.46) her bir bölgedeki kesimin ağırlığı tartılmıştır.



Şekil 3.46. Yetiştirme bölgelerinden elde edilen çimlerin tartılması

3.3.8 Toprak Örneklerinin Alınması

Her bir yetiştirme alanında 6 noktadan alınan örnekler birleştirilerek analiz için gerekli toprak numunesi hazırlanmıştır. Bariyer bulunan alanlarda örnekler bariyer üzerinden alınmıştır.

3.3.9 Farklı Konularda Kök Gelişiminin İncelenmesi

Bariyer kullanılan yetiştirme alanlarında bitkinin sağlıklı gelişimini tamamlayabilmesi için kök ilerlemesinde bariyer üstünde ve bariyer aralarında kalan toprak alanlarını kullanabilmesi gerekmektedir. Ancak çalışma boyunca toprak altındaki gerçek durum gözlenemediği için öncelikle bitkinin toprak

üstündeki gelişiminin izlenmesi düşünülmüştür. Çalışma bitiminde ise yükseltilmiş yetiştirme alanlarının duvarları açılarak toprak kesiti ortaya çıkartılmıştır. Toprak kesiti basınçlı su ile yıkandığında köklerin görsel olarak gelişim ve yönelimlerinin incelenme imkanı yaratılmıştır.



Şekil 3.47. Toprak kesitinin basınçlı su spreyi ile yıkanarak kök gelişim ve yönelimlerinin incelenmesi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Damlatıcıların Basınç-Debi İlişkilerinin Belirlenmesine Ait Bulgular ve Tartışma

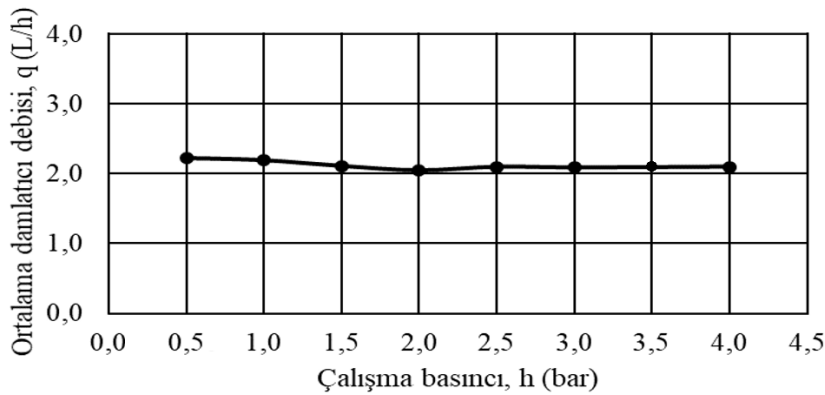
Denemede kullanılan GEOFLOW marka, ASSIF model damla sulama borularının basınç dengeleyicili damlatıcılarının farklı çalışma basınçlarındaki ortalama damlatıcı debileri (q), damlatıcı parametreleri (k, x) ve yapım farklılığı katsayısı (Vm) Çizelge 4.1’de, basınç-debi ilişkisini gösteren grafik ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Denemede kullanılan TADS borularında yer alan damlatıcının farklı basınçlardaki ortalama damlatıcı debileri (q), damlatıcı parametreleri (k, x) ve yapım farklılığı katsayısı (Vm)

Çalışma basıncı h (bar)	Ortalama damlatıcı debisi q (L/h)	Damlatıcı parametreleri ($q = k h^x$)		Yapım farklılığı katsayısı Vm
		k*	x**	
0,5	2,22	2,1581	-0,0274	0,0406
1,0	2,19			
1,5	2,11			
2,0	2,05			
2,5	2,10			
3,0	2,09			
3,5	2,09			
4,0	2,10			

* damlatıcı boyutlarını karakterize eden katsayı

** damlatıcı akış rejimi katsayısı (akış üssü değeri)



Şekil 4.1. Denemede kullanılan TADS borularının damlatıcılarına ait basınç-debi ilişkisi

Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi damlatıcıların basınç dengeleyici özellikte olmaları nedeniyle basınç 0 ile 4 bar arasında değişmesine karşılık damlatıcıların ortalama debileri yaklaşık 2 L/h değerinin üzerinde sabit kalmıştır. Bu durum uzun laterallerin kullanımının gerektiği uygulamalarda suyun dengeli bir şekilde dağılımının sağlanması açısından önemlidir.

İki yıl süren sulama çalışmaları sonrası bulunduğu yerde incelenen boruların etraflarını saran köklerden etkilenmediği görülmüştür (Şekil 4.2). Çıkarılan borularda yapılan farklı basınçlardaki ölçümlerde elde edilen ortalama damlatıcı debileri (q), deneme öncesi yapılan ölçümlerde elde edilenlerle aynı bulunmuştur. Bu sonuç denemede kullanılan basınç dengeleyicili TADS sistemleri için üretilen borunun tıkanmalara karşı oldukça kullanışlı olduğu söylenebilir.



Şekil 4.2. İki yıl kullanılan TADS boruların etrafındaki kök sarmalı

4.2 Toprak Altı Damla Sulama Sistemi ile Bariyer Kullanımının Toprak İçindeki Su Hareketine Etkisinin İncelenmesi

Araştırmada toprak kesitini görüntüleme amacı ile hazırlanan şeffaf kaplarda iki aşamada bariyer kullanımının toprak içindeki su hareketine etkisi incelenmiştir. Bunlardan ilki toprak üstü damlatıcı yerleştirilmiş sulama sistemi ile düzlemsel montajlı bariyerin birleşiminden oluşan deneme düzenidir. Bu denemelerden sonra toprak altı damlatıcı ve kavisli su tutma bariyerinden oluşan deneme düzeni ile toprak içindeki su hareketi incelenmiştir. Her iki yapılandırmada da denemelerde kullanılacak montaj ölçülerinin belirlenmesi ve tasarlanan sistemlerin yarattığı

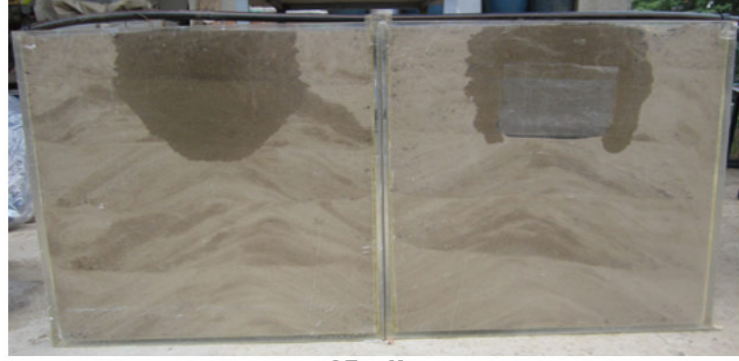
ıslatma deseni su tutma bariyerinin başarımına yönelik belirleyici verilere ulaşılmıştır.

4.2.1 Toprak Üstü Damlatıcı ve Su Tutma Bariyeri Kullanılan Deneme Kaplarındaki Bulgular

Toprak üstü damla sulama sistemi ile bariyer kullanımının toprak içindeki su hareketine etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan ilk aşama denemelerde elde edilen görüntülerden 15, 45, 120, 150. dakikada elde edilen görüntüler Şekil 4.3'te verilmiştir. Damlatıcıdan verilen su toprağa geçerek yaklaşık 42. dakikada toprak altındaki bariyere ulaşmıştır. Bu andan itibaren su, düzlemsel bariyerin hemen bitiş noktasından yataya ve aşağı yönde daha fazla yayılmaya başlayarak yoluna devam etmiştir. 150. dakikada eş zamanlı su verilen bariyer kullanılmayan karşılaştırma kabında su kabın tabanına kadar ulaştığı için deneye son verilmiştir. Deneyin son anındaki görüntüler karşılaştırıldığında bariyersiz kaptaki su hızla aşağı yönde ilerlediğinden yatayda istenilen bir ıslatma genişliğine de ulaşamadığı anlaşılmıştır. Bariyerli yapılandırmada ise deneme kabının yan duvarlarına kadar suyun yatay hareket yapabildiği görülmüştür. Deneme süresinin sonunda bariyer kullanılan yapılandırmada suyun hala deney kabının dibine inmediği de gözlenmiştir.



15. dk.



45. dk.



120. dk.

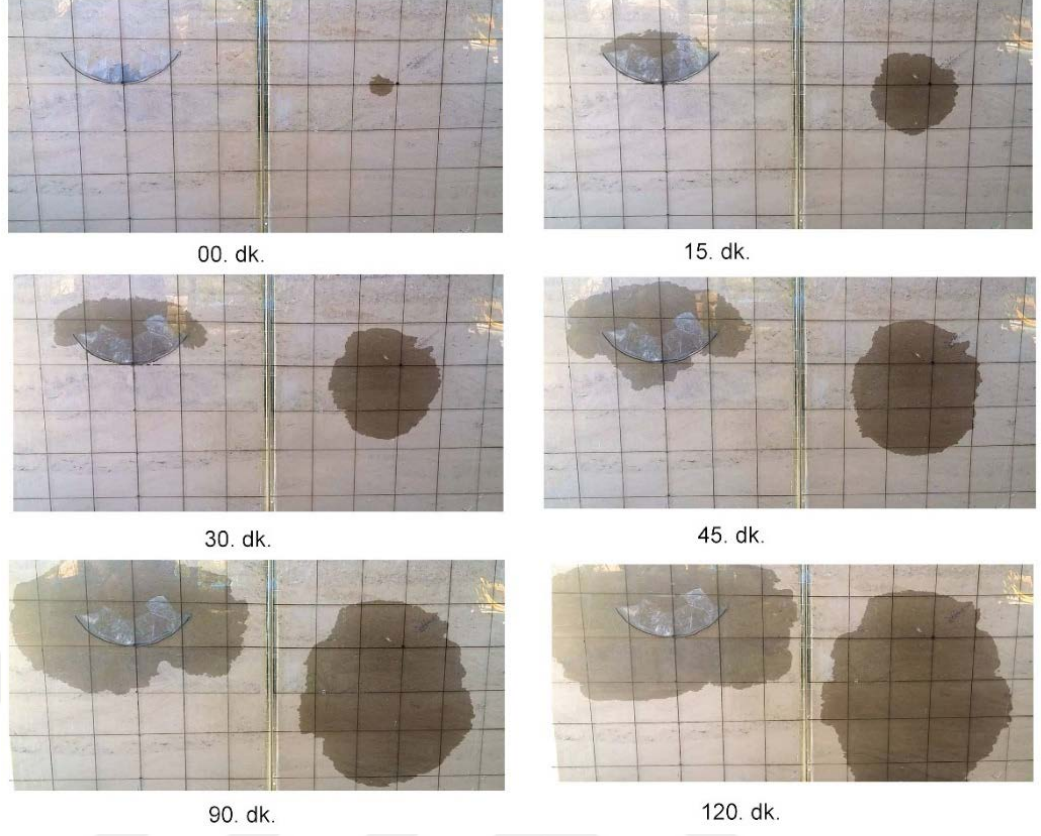


150. dk.

Şekil 4.3. Toprak üstü damla sulamanın düzlemsel bariyerle etkileşimini görmek amacıyla yapılan ön denemenin görsel sonuçları

4.2.2 Toprak Altı Damlatıcı ve Su Tutma Bariyeri Kullanılan Deneme Kaplarındaki Bulgular

Toprak altı damla sulama sistemi ile bariyer kullanımının toprak içindeki su hareketine etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan ikinci aşama denemelerde elde edilen görüntülerden 0, 15, 30, 45, 90, 120. dakikada elde edilen görüntüler Şekil 4.4'te verilmiştir. Verilen su, sulamanın 15. dakikasında, kavisli su tutma bariyerinin hemen üzerindeki bir seviyede damlatıcıdan yaklaşık 11 cm yukarıda bir noktaya ulaşmıştır. Aynı anda su tutma bariyeri bulunmayan kaptaki verilen su, yukarı yönde damlatıcıdan 8 cm uzaklaşabilmiştir. Bariyer bulunmadığı için de aşağı yönde de 10 cm ilerlemiştir. Sulamanın 30. dakikasında su tutma bariyeri kullanılan kaptaki su, damlatıcıdan 14 cm yukarıda bir noktaya ulaşmıştır. Bariyeri dolduran suyun bir kısmı bariyerden taşarak damlatıcı ekseninden yanlara doğru açılmaya ve aşağı yönde harekete de başlamıştır. Aynı anda bariyersiz kaptaki su 18 cm derinliğe kadar inip projede yetiştirilen çim türlerinin etkili kök bölgesinin de sınırına ulaşmıştır. Sulamanın 45. dakikasında su tutma bariyeri olan kaptaki suyun yüzeye ulaştığı, bariyer kullanılmayan sistemde ise yüzeyden 10 cm derinlikte kaldığı gözlenmiştir. Sulamanın 90. dakikasında bariyerli sistem suyu bariyerden 10 cm derine inmesine izin vermişken aynı anda bariyersiz kaptaki suyun deneme kabının tabanına ulaştığı ve bu anda artık sulama suyunun damlatıcıdan 10 cm yukarısında daha fazla yüzeye yaklaşamayarak sabit seviyede kaldığı gözlenmiştir. Denemenin 120. dakikasında bariyerli kaptaki su yatay olarak yayılıp kap sınırlarına ulaştığı için deneme sonlandırılmıştır. Su kesildikten sonra suyun bariyerli ve bariyersiz düzenekte, doğal cazibe ile hareketi devam etmiş ve 24 saat sonra Şekil 4.5'te verilen görsel sonuç elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Toprak altı damla sulamanın kavisli bariyerle etkileşimini görmek amacıyla yapılan ön denemenin görsel sonuçları



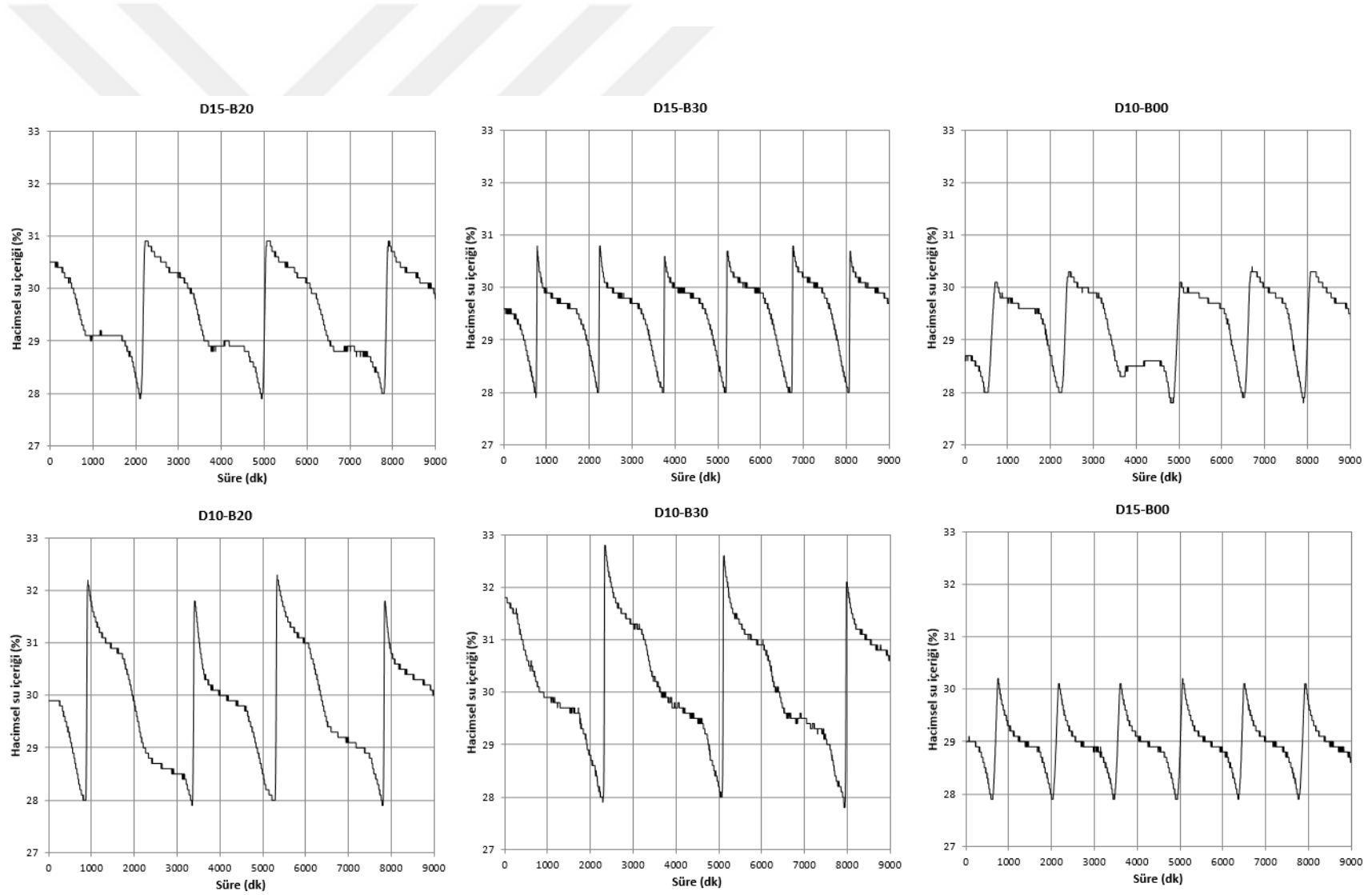
Şekil 4.5. Sulama kesildikten 24 saat sonra suyun bariyerli ve bariyersiz düzenekteki durumu

Kapalı saydam kaplarda yapılan bu deneyde yetiştirme alanları için kullanılması planlanan özelliklerdeki toprak kullanılmıştır. Böylece gerçek yetiştirme alanlarındaki farklı bariyer derinlikleri seçilirken yetiştirilecek çim türlerinin etkili kök alanında istenen düzeyde nem değerini koruyabilecek rakamlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca toprak altında kalacağı için gerçek yetiştirme alanında gözlenemeyecek zamana dayalı infiltrasyon için bir ön model de oluşmuştur. Çim yetiştirme için seçilen kumlu toprak bünyesinde suyun toprak altı damlatıcıdan yüzeye doğru hareketinin sınırlı kaldığı bu çalışmada gözlenmiş ve buna bağlı olarak kurulan 6 farklı çim yetiştirme alanının her birinde 15 cm'den daha derine damlatıcı yerleştirilmemesi gerektiği görülmüştür. Deneyin 120. dakikasında bariyerli kapta suyun etkili kök bölgesi içinde 60 cm yatay yayılımı bulduğu, aynı anda bariyersiz kapta yaklaşık 40 cm düzeyinde kaldığı görülmüştür. Kumlu toprakta su tutma bariyeri kullanılmadığı durumda sulama borularının daha sık döşenmesi gerektiği görülmüştür.

4.3 Toprak Nem Algılayıcıları ile Toprak Rutubetinin Belirlenmesine İlişkin Bulgular

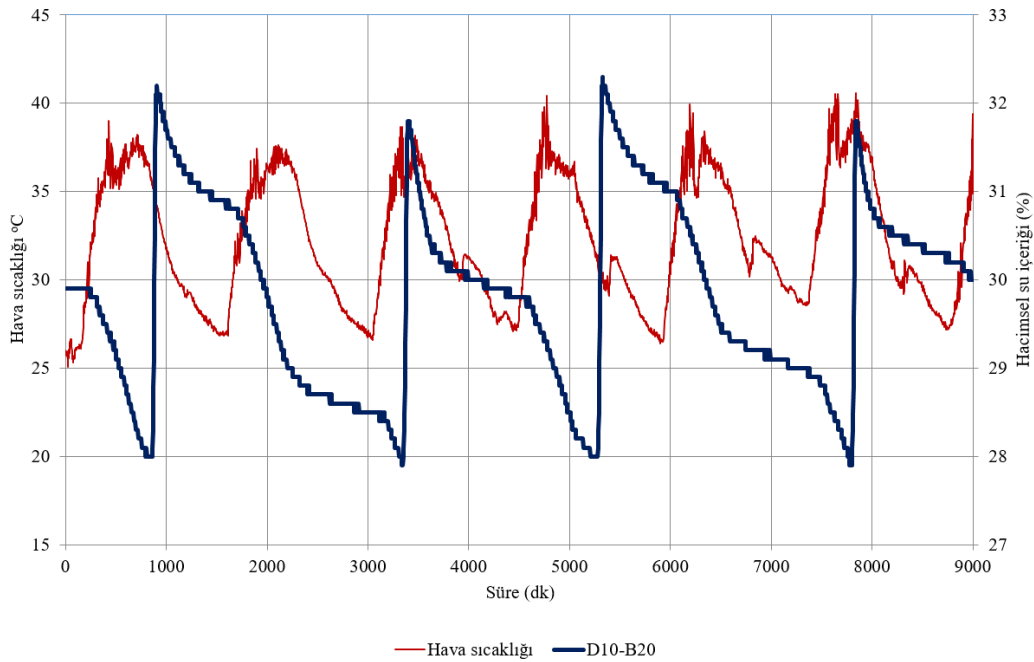
Her bir yetiştirme alanında sulama suyunun toprak içindeki durumunun belirlenmesi amacıyla iki ayrı derinlikte toprak nem algılayıcıları kullanılmıştır (Bkz. Şekil 3.30). Toprak nem algılayıcıları tarafından her 3 dakikada bir anlık değer ölçülmüş ve ölçülen değerler kayıt edilmiştir. Ölçüm sonucu farklı konularda elde edilen değerlerden oluşturulmuş örnek grafikler Şekil 4.6'da, aynı dönem içindeki hava sıcaklığının toprağın hacimsel su içeriğine etkisini gösteren grafik ise Şekil 4.7'de verilmiştir.

Örnek olarak alınan 3.8.2016 (04:54) ile 9.8.2016 (10:54) tarihleri arasındaki altı günlük dönemde, farklı konularda toprak rutubet değerlerinin değişimi incelendiğinde hacimsel toprak içeriği değerlerinin konulara göre farklılıklar gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Farklı konularda zamana bağlı olarak hacimsel su içeriğinin değişimi

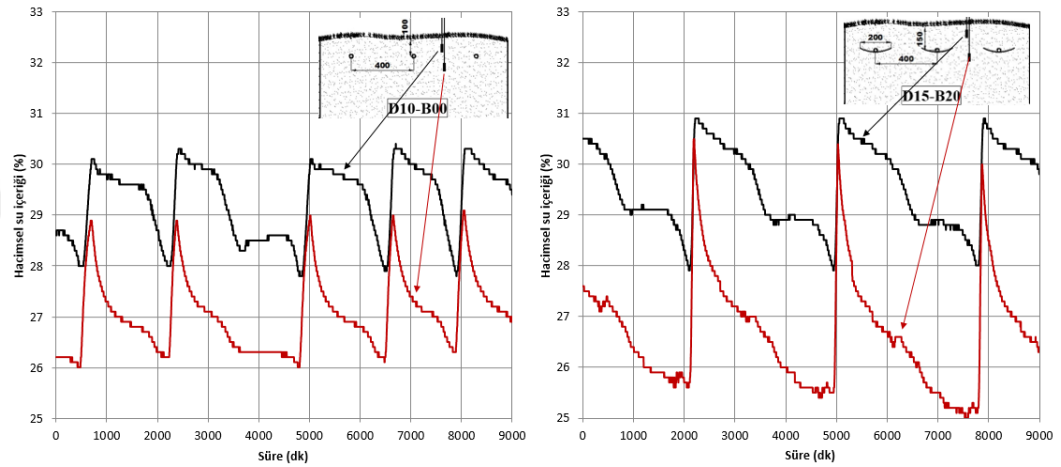
Toprağın kumlu yapıda olması nedeniyle, özellikle toprak altı damla sulamanın bariyersiz olarak kullanıldığı B15-B00 konusunda, suyun hızla derinlere inmesi nedeniyle, ölçümün yapıldığı 5 cm derinlikteki toprak rutubet değeri hızla azalmış, bu nedenle daha sık sulama gerçekleşmiştir. Ancak bariyerin kullanıldığı D10-B30 konusunda ise sulama, hacimsel su içeriği %30 değerine ulaştığında tamamlanmış olmasına rağmen bariyer içinde depolanan suyun toprak içinde kapileriteyle yukarıya iletilmesi sonucu algılayıcının bulunduğu noktadaki rutubet değeri artmaya devam etmiştir. Bu durum aynı su miktarının daha uzun süre ve daha yüksek rutubet değeriyle kullanılabildiğini göstermektedir. Hava sıcaklığının, D10-B20 konusunun yer aldığı yetiştirme ortamındaki toprağın hacimsel su içeriğine etkisini gösteren örnek grafik (Şekil 4.7) incelendiğinde hava sıcaklığının arttığı gündüz saatlerinde daha hızlı bir su kaybının olduğu, sıcaklığın düştüğü gece saatlerinde ise rutubet kaybının azalması nedeniyle eğrinin yatay bir seyir izlediği görülmektedir. Bu etkinin diğer konularda da benzer şekilde yaşandığı görülmüştür.



Şekil 4.7. Hava sıcaklığının zamana bağlı olarak değişiminin toprak hacimsel su içeriği değişimine etkisi

Farklı derinliklerde yer alan rutubet algılayıcılarının ölçüm değerleri incelendiğinde örnek olarak ele alınan bariyersiz (D10-B00) ve bariyerli (B15-B20) konularda farklı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.8). Şekilden görüldüğü gibi

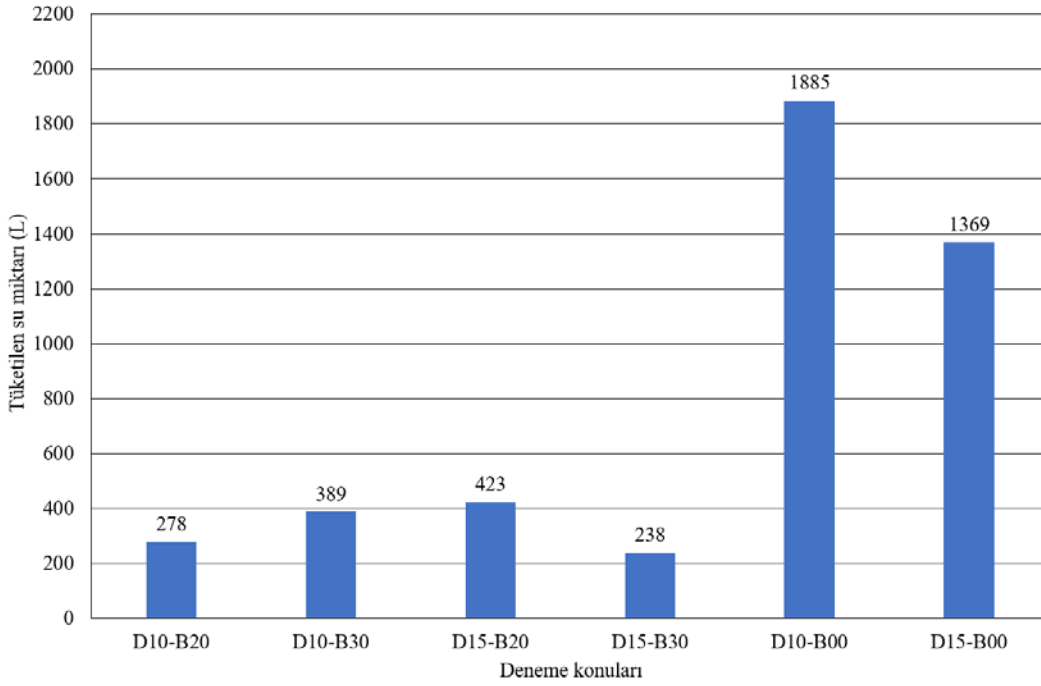
bariyersiz konuda, üst algılayıcıda ölçülen hacimsel su içeriği değeri %30 a ulaştığı anda yani sulama tamamlandığında altta ve aynı ekseninde yer alan rutubet algılayıcısının ölçtüğü değer %29 civarında kalmıştır. Bu durumun kumlu toprakta ıslanma deseninin havuç şeklinde olması ile açıklanabilir. Bariyerli konuda ise, yukarıda da ifade edildiği gibi; hacimsel su içeriği %30 değerine ulaştığında sulamanın tamamlanmış olmasına rağmen bariyer içinde depolanan suyun toprak içinde kapileriteyle yukarıya iletilmesi sonucu algılayıcının bulunduğu noktadaki rutubet değeri artmaya devam etmiş ve hacimsel su içeriği değeri %31'e yaklaşmıştır. Bariyerler suyun yatayda hareket etmesini sağlaması nedeniyle alttaki algılayıcı da başlangıçta yaklaşık olarak %31 değerini ölçmüştür. Bariyerler sayesinde rutubetin toprak yüzeyine yakın tutulması nedeniyle sulama tekrar başladığı anda altta yer alan algılayıcıda ölçülen hacimsel su içeriği değerinin %26'nın da altına düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.8. Farklı derinliklerdeki toprak rutubet algılayıcılarının karşılaştırılması

4.4 Farklı Dönemlerde Kullanılan Sulama Suyu Miktarları

Yetiştirme alanlarında bitkinin ekim zamanından önce sulama faaliyetlerine başlanmıştır. Her yetiştirme alanındaki algılayıcılar ile toprak nem değeri kontrol edilerek sulama sistemi yetiştirme alanlarına su vermiştir. Bu dönemde yetiştirme alanlarında bitki olmadığı için sulama sistemi sadece infiltrasyon ve buharlaşma kaybının yarattığı nem kaybını tamamlamıştır. Toplam iki haftalık ekim öncesi bitkisiz sulama faaliyetlerine ait toplam su kullanım miktarları Şekil 4.9'da verilmiştir.

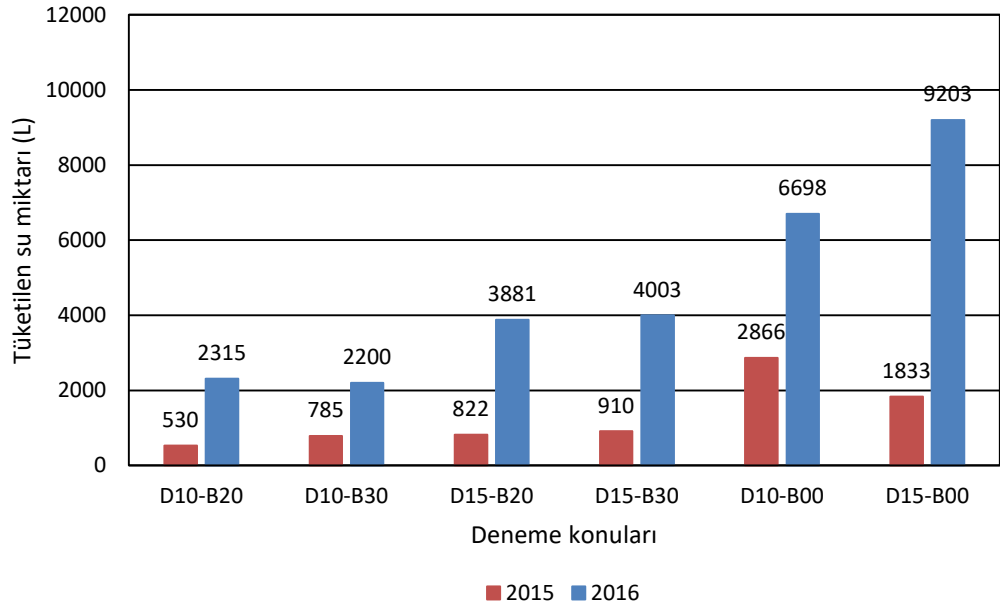


Şekil 4.9. Yetiştirme alanlarındaki iki haftalık ekim öncesi dönemde toplam su tüketim miktarları

Su tutma bariyeri kullanılmayan D10-B00 ve D15-B00 konularının bariyer kullanılan diğer yetiştirme alanlarına kıyasla çok daha fazla su tüketimine neden olduğu gözlenmiştir. D10-B00 yetiştirme alanı ekim öncesi denemede 2 hafta içinde 1885 L, D15-B00 alanı 1369 L su tüketmiştir. Bariyer kullanılan yetiştirme alanları için en düşük su tüketimine sahip alan D15-B30'dur. D15-B30 alanında diğer yetiştirme alanları ile aynı nem değerini korumak için 2 haftalık sürede 238 L su tüketilmiştir. Su tutma bariyeri kullanan sistemler içinde en yüksek su tüketimine sahip yetiştirme alanı D15-B20 olarak gerçekleşmiştir ve aynı sürede 423 L su tüketmiştir. Yetiştirme alanları içinde en yüksek su tüketimi ile en düşük su tüketim değeri arasında (D10-B00 ve D15-B30) 1647 L fark vardır.

2015 yılındaki denemelerde ekim yapılan 29 Temmuz gününden itibaren düzenli sulama faaliyetleri sürdürülerek su kullanımı kayıt altına alınmıştır. Sulama ihtiyacı bulunmayan dönemlerde sulama faaliyetlerine ara verilerek bitki gelişimi izlenmiştir. İzmir ilinde geçmiş yıllara ait uzun dönem meteoroloji verileri sonucu 2016 yılında sulamanın gerekli olacağı dönemde sulama otomasyonunun tekrar çalıştırılması ile bir sonraki yağışlı döneme kadar sulama faaliyeti devam etmiştir. Her iki yılın sulama dönemleri boyunca yetiştirme alanlarındaki etkili kök

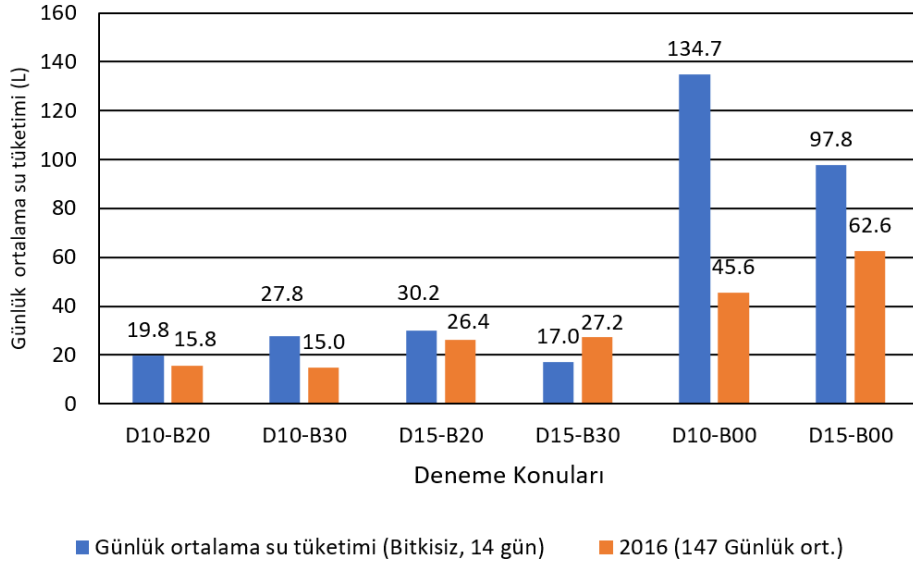
bölgelerinde sabit toprak nemi değerlerini korumak için kullanılan su miktarlarını gösteren değerler Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. 2015 ve 2016 yıllarında yapılan denemelerde her bir yetiştirme alanında tüketilen toplam su miktarları

Her iki deneme yılında da D10-B00 ve D15-B00 konuları diğer alanlardan daha fazla su tüketmiştir. Sulama zamanının tamamında yetişmiş bitkiler ile çalışılan 2016 yılında su tutma bariyeri kullanılmayan D15-B00 konusunda 9203 L ve yine su tutma bariyeri kullanılmayan D10-B00 konusunda ise 6698 L su kullanılmıştır. Bariyerli uygulamalardan yüzeyden 15 cm derinlikte bariyer kullanan D15-B20 ve D15-B30 konularında sırasıyla 3881 L ve 4003 L su kullanılmıştır. Bu iki yetiştirme alanında su kullanım rakamlarının çok yakın gerçekleşmesi ile 15 cm derinlikte bariyer genişliğinin 20 cm ve 30 cm olarak değişmesinin su kullanım veriminde büyük ölçüde fark yaratmadığı gözlenmiştir. 10 cm derinlikte bariyer kullanan D10-B20 ve D10-B30 konularında 2315 L ve 2200 L su kullanılmıştır. Su tutma bariyerlerinin yüzeyden derinliğinin 10 cm olduğu bu iki alanda da su kullanım rakamlarının yakın gerçekleşmesi bu derinlik değerinde de 20 cm ve 30 cm genişliklerde farklı bariyer ölçüsünün kullanılmasının anlamlı sonuçlar doğurmadığını göstermiştir.

Araştırma kapsamında oluşturulan 6 farklı yetiştirme alanının 4 tanesinde kullanılan su tutma bariyerlerinin etkili kök bölgesinde daha fazla toprak nemi tutmasının beklenmesi yanında bu yetiştirme alanlarının tamamında zamanla gelişen bitkilerin yarattığı toprak altı kök ağları medyasının toprak nemi değerinin korunmasında katkıda bulunacağı bu nedenle çalışmanın ilerleyen dönemlerinde günlük su kullanım değerlerinin iyileşeceği öngörülmüştür. Bu durumun incelenmesi amacıyla su kullanım değerleri 2015 yılındaki bitkisiz sulama dönemi ve 2016 yılı içindeki bitkili dönem için ayrıştırılıp günlük ortalaması alınmıştır. İlgili dönemlere ait su kullanım rakamlarını gösteren değerler Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Yetiştirme alanlarında ekim öncesinde ve bitki olan dönemlerde günlük ortalama su tüketim değerleri

D15-B00 yetiştirme alanında bitkisiz dönem günlük su tüketim ortalaması 97,8 L iken bitkilerin olduğu dönemde bu rakamın 62,6 L olarak gerçekleştiği görülmüştür. D10-B00 yetiştirme alanında bitkisiz dönem günlük su tüketim ortalaması 134,7 L ve bitkilerin bulunduğu döneme ait günlük su tüketim ortalaması 45,6 L olarak bulunmuştur. Bariyer kullanılmayan D15-B00 ve D10-B00 yetiştirme alanlarında bitki köklerinin yayılmasına dayalı su tutma kapasitesindeki gelişme bu bariyersiz yetiştirme alanlarında sırasıyla 35 L ve 89 L daha az su kullanımına neden olmuştur. Gelişen bitkilerin daha fazla su tüketeceği ve kumlu toprak bünyesinin su tutmayı zorlaştırdığı dikkate alınır, bu çalışma sonucunda bariyer

kullanılmayan toprak altı sulama uygulamalarında bitki kök yapısının su tutmaya katkısının önemli olacağı düşünülmektedir. Su tutma bariyeri kullanılan yetiştirme alanlarında ise bitkili dönemde ve bitkisiz dönemde elde edilen ortalama günlük su tüketim verileri incelendiğinde kök gelişimine dayalı anlamlı farklar elde edilememiştir. Bariyerli yetiştirme alanlarının tamamında günlük su tüketim rakamları yaklaşık 15-25 L aralığında yer almıştır.

2016 yılında yapılan sulama çalışmaları, 1 Hazirandan başlayarak seçilmiş 15 haftalık kurak dönem içinde haftalık toplam su tüketimleri genel döngüler halinde incelenerek toplam su tüketim verilerinin tutarlılığı, kurak dönemdeki etkinlik ve dönemsel şartlara bağlı olarak değişimi gözlenmiştir. Bu değerlendirmeye ait rakamlar Çizelge 4.2’de büyüklüğe dayalı renk ölçeğinde vurgulanarak verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yetiştirme alanlarının 2016 yılında kurak dönemdeki haftalık su tüketim değerleri (L)

Hafta	Deneme konuları					
	D10-B20	D10-B30	D15-B20	D15-B30	D10-B00	D15-B00
1.6.2016	115,4	88,0	145,6	197,5	116,4	217,2
8.6.2016	110,5	86,9	150,8	77,8	273,3	347,5
16.6.2016	180,1	150,5	215,3	139,5	273,1	423,8
23.6.2016	114,3	116,8	138,3	111,5	552,8	417,5
30.6.2016	148,0	116,0	206,9	133,3	269,9	486,8
7.7.2016	182,0	158,2	213,6	150,7	334,4	511,3
14.7.2016	107,8	117,3	213,8	142,7	386,5	535,9
21.7.2016	148,1	142,8	200,4	120,8	450,1	554,0
28.7.2016	149,1	105,0	180,8	128,2	490,8	630,1
4.8.2016	117,9	103,1	212,2	115,7	523,9	574,5
11. 8.2016	91,3	100,4	191,7	118,7	434,3	536,1
18.8.2016	65,6	69,9	157,4	82,7	330,2	450,7
25.8.2016	90,9	112,8	257,6	139,5	479,2	722,8
4.9.2016	62,9	64,9	250,8	94,4	249,4	485,1
11.9.2016	181,0	95,0	3,6	99,5	355,2	586,2
Haftalık ortalama su tüketimi (L)	124,3	108,5	182,6	123,5	368,0	498,6
Haftalık ortalama su tüketimi (mm)	41,4	36,2	60,9	41,2	122,7	166,2

4.5 Yaş Ot Verimi

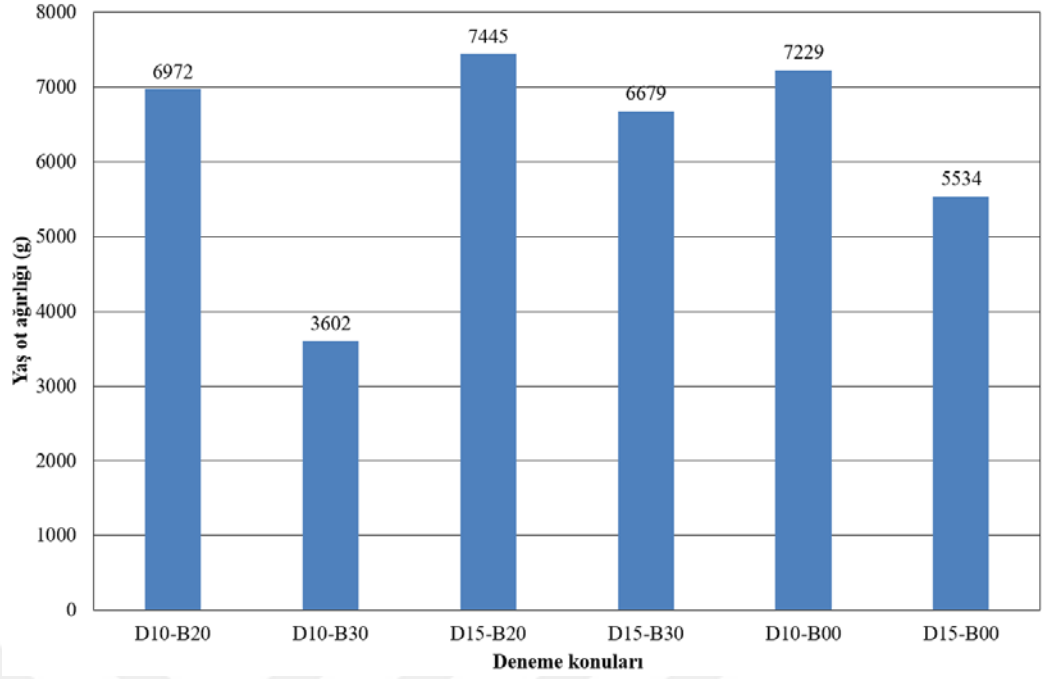
Çim yetiştirme alanlarında kurulan su tutma bariyerli ve bariyersiz düzenlemelerin bitki gelişimine etkisini görmek ve bariyer düzenlemelerinin yetiştirme verimine etkisini alanlar arasında kıyasla gözlemek için farklı tarihlerde yapılan çim biçme çalışmalarından elde edilen toplam yaş ot kütle değerleri tartılıp değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelere ait 2015 ve 2016 yılı yaş ot kütle miktarları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çimler için yapılan sulama programı yaz ayları boyunca kullanılmıştır. Sonraki dönemde otomatik sulamadan vazgeçilerek çimler için yeterli görülen yağmur kazancı ile sistem baş başa bırakılmıştır. Kış aylarında çim biçme işlemlerine de ara verilmiştir. Bahar aylarında yağışların kesilmesiyle sulamaya ve çim biçme faaliyetlerine tekrar dönülerek çim gelişim oranları yetiştirme alanlarında yapılan biçme tartma yöntemi ile gözlenmiştir.

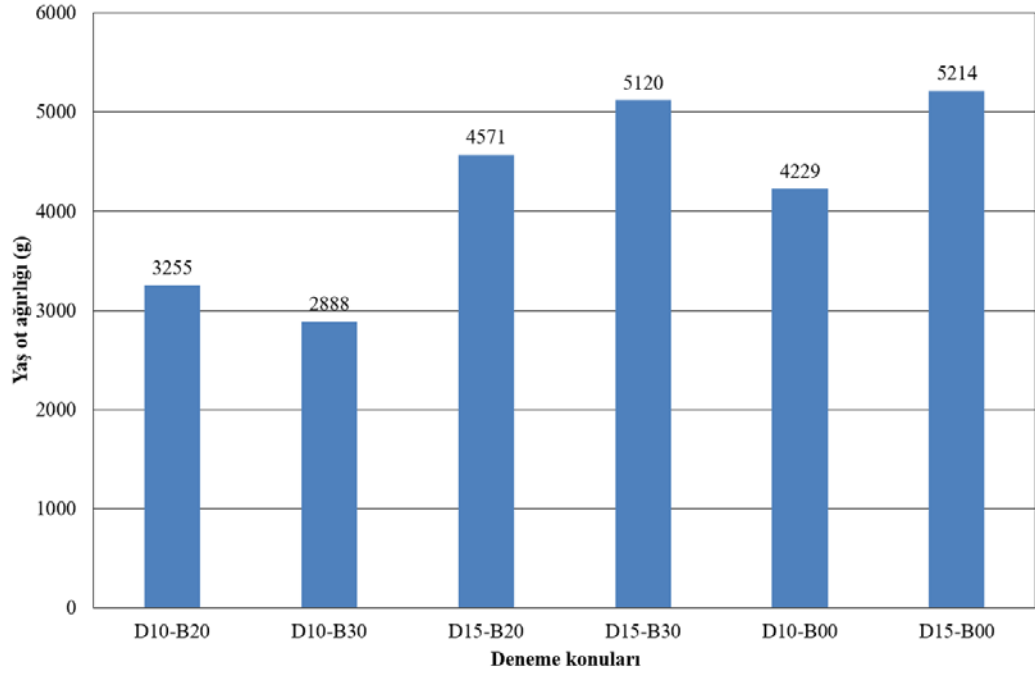
Çizelge 4.3. Çim biçme faaliyetleri sonrasında yetiştirme alanlarından toplanan yaş ot kütleleri (g)

Biçim tarihi	D10-B20	D10-B30	D15-B20	D15-B30	D10-B00	D15-B00
10.10.2015	1071	467	1351	968	1742	966
04.11.2015	4542	2305	4692	4521	4305	3338
14.11.2015	1359	830	1402	1190	1182	1230
Toplam	6972	3602	7445	6679	7229	5534
13.05.2016	1200	990	1623	2480	1450	1510
01.06.2016	511	539	897	869	734	1086
21.06.2016	1093	1027	1282	1250	1125	1604
21.07.2016	451	332	769	521	920	1014
Toplam	3255	2888	4571	5120	4229	5214

2015 yılında biçilmiş yaş ot kütlesi toplam değerlerine ait kıyaslama Şekil 4.12'de ve 2016 yılı denemelerinde elde edilmiş yaş ot kütlesi toplam rakamlarına ait kıyaslama ise Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.12. 2015 yılında biçilmiş toplam yaş ot kütle değerleri (g)



Şekil 4.13. 2016 yılında biçilmiş toplam yaş ot kütle değerleri (g)

Yıllık biçilen toplam çim miktarı ile toplam su tüketimleri arasındaki ilişki dikkate alındığında farklı konulara ait sulama verimleri Çizelge 4.4'te verildiği gibi

oluşturmuştur. Çizelgeden de görüldüğü gibi bariyer bulunmayan D10-B00 ve D15-B00 yetiştirme alanlarında sulama verimleri daha düşük olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. Yıllara göre sulama verimleri

Yıllar	Sonuç	D10-B20	D10-B30	D15-B20	D15-B30	D10-B00	D15-B00
2015	Toplam biçilen çim (g)	6972	3602	7445	6679	7229	5534
	Toplam su miktarı (L)	530	785	822	910	2866	1833
	Sulama verimi (g/L)	13,16	4,59	9,06	7,34	2,52	3,02
2016	Toplam biçilen çim (g)	3255	2888	4571	5120	4229	5214
	Toplam su miktarı (L)	2315	2200	3881	4003	6698	9203
	Sulama verimi (g/L)	1,41	1,31	1,18	1,28	0,63	0,57
Toplam	Toplam biçilen çim (g)	10227	6490	12016	11799	11458	10748
	Toplam su miktarı (L)	2845	2985	4703	4913	9564	11036
	Sulama verimi (g/L)	3,59	2,17	2,55	2,40	1,20	0,97

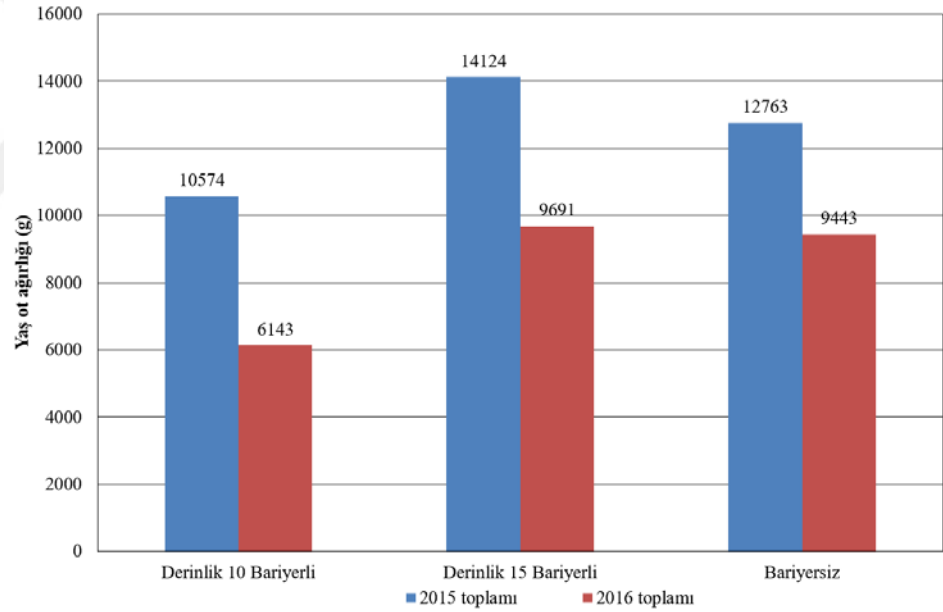
Çim yetiştirme sürecinde yapılan görsel kalite değerlendirmeleri ile örtüşmek üzere yaş ot verimi rakamlarında da en düşük performansı gösteren deneme alanının D10-B30 olarak gerçekleştiği izlenmiştir. Yetiştirme alanının çalışma sonunda kesitini gösteren kök yıkama çalışmasında (Şekil 4.14) bariyerin yüzeye yakınlığı ve genişliğinin fazla olması nedeniyle çim köklerinin gelişiminin erken evrelerinde bile bariyere ulaştığı, bu nedenle de bariyer üstüne gelen çimden beklenen renk ve kalite elde edilemediği gözlenmiştir. Diğer yetiştirme alanları farklı sonuçlar vermekle birlikte kabul edilebilir düzeyde çim gelişimine izin vermiştir.



Şekil 4.14. D10-B30 alanında kök kesiti

Yetiştirme alanlarındaki bariyer düzenlemelerinde bariyer genişliğinin çim gelişimine etkisinin sınırlılığı kaldığı diğer yandan bariyer derinliğinin önem kazandığı görülmüştür. Bu doğrultuda 10 cm ve 15 cm derinlikte döşenen

bariyerlere ait alanlardan elde edilen yaş ot kütleleri ile bariyersiz alanlardan toplanan yaş ot kütleleri birlikte incelenirse 15 cm derinlikli çalışmaların toplamının hiç bariyer kullanılmayan çalışmalar ile yakın değerler elde etmiştir. Ancak 10 cm derinlikli çalışmaların biçilmesinden elde edilen yaş ot kütlesi önemli ölçüde daha azdır. Bitki gelişiminin tam olduğu 2016 yılında 15 cm derinlikli bariyer bölgelerinin biçilmiş toplam yaş ot kütlesi 9691 g, bariyersiz yetiştirme alanlarından elde edilmiş toplam yaş ot kütlesi 9443 g'dır. 10 cm derinlikli bariyer bölgelerinin toplam yaş ot kütlesi aynı dönemde 6143 g'dır. Buradan bariyer yerleşiminin yüzeye yakın olmasının bitki gelişimini sınırladığı görülmüştür. Diğer yandan doğru derinlikte bariyer yerleşimi yapıldığında, çim bitkisi için bariyer kullanılmayan toprak altı damla sulama sistemi ile bariyer kullanılan toprak altı damla sulama sistemlerinin yaş ot verimi değerlendirmesinde anlamlı fark elde edemediği gözlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Derinliği farklı olan konulardan biçilmiş çimin yıllara göre toplam değerleri (g)

4.6 Bariyer Kullanımının Toprak Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Toprak Analizlerinde Elde Edilen Bulgular

Deneme öncesi ve sonrasında yetiştirme alanlarından alınan toprak örneklerinde yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Çizelgede gösterilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde;

Deneme toprağı: Hafif alkali tepkimeli ve tınlı kum bünyeye sahiptir. Tuz içeriğı düşük, az kireçli, organik madde içeriğı düşük, azot(N) ve fosfor (P) içeriğı orta düzeyde, potasyum (K) içeriğı yüksek, kalsiyum (Ca) içeriğı yüksek, sodyum (Na) içeriğı orta düzeyde, magnezyum (Mg) içeriğı yüksek, demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) içeriğı iyi durumdadır.

D10-B20 yetiştirme alanı toprağı: Orta alkali tepkimeli ve tınlı kum bünyeye sahiptir. Tuz içeriğı düşük, orta kireçli, organik madde içeriğı düşük, azot(N) içeriğı orta, fosfor (P) içeriğı yüksek düzeyde, potasyum (K) içeriğı yeterli, kalsiyum (Ca) içeriğı yüksek, sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) içeriğı yüksek, demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) içeriğı iyi durumdadır.

Çizelge 4.5. Deneme sonrası toprak analiz sonuçları

Özellik	Ekim öncesi	Deneme Konuları					
		D10-B20	D10-B30	D15-B20	D15-B30	D10-B00	D15-B00
Bünye	Tınlı kum	Tınlı Kum	Tınlı Kum	Tınlı Kum	Tınlı Kum	Tınlı Kum	Tınlı Kum
pH	7,72	7,9	7,87	7,89	7,98	7,9	7,22
Tuz (%)	0,015	0,050	0,048	0,043	0,043	0,035	0,038
Kireç (%)	3,3	4,02	6,03	4,02	2,81	4,02	3,62
O.M. (%)	0,81	1,49	1,85	1,18	1,73	1,89	1,61
Kum (%)	77,12	77,12	83,12	79,12	77,12	85,12	83,12
Mil (%)	16	18	12	18	16	12	12
Kil (%)	6,88	4,88	4,88	2,88	6,88	2,88	4,88
N (%)	0,065	0,101	0,092	0,087	0,084	0,09	0,098
P (ppm)	8,8	18,0	9,6	12,0	9,2	13,4	5,2
K (ppm)	326,4	278,4	172,8	268,8	336,1	384,2	182,4
Ca (ppm)	4018	3822	3528	4410	3724	3430	4214
Na (ppm)	75,2	451,2	253,8	357,2	122,2	150,4	112,8
Mg (ppm)	192,3	162,3	75	204,4	172,8	53,4	158,2
Fe (ppm)	5,5	5,46	5,68	4,16	3,42	4,62	4,14
Zn (ppm)	2,6	2,84	2,95	1,58	2,93	1,88	3,18
Cu (ppm)	0,44	0,53	0,64	0,52	0,55	0,49	0,67
Mn (ppm)	5,94	3,32	3,24	2,62	1,74	1,94	2,56

D10-B30 yetiştirme alanı toprağı: Orta alkali tepkimeli ve tınlı kum bünyeye sahiptir. Tuz içeriğı düşük, orta kireçli, organik madde içeriğı düşük, azot (N) ve fosfor (P) içeriğı orta düzeyde, potasyum (K) içeriğı düşük, kalsiyum (Ca)

içeriği yüksek, sodyum (Na) içeriği yüksek, magnezyum (Mg) içeriği düşük, demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) içeriği iyi durumdadır.

D15-B20 yetiştirme alanı toprağı: Orta alkali tepkimeli ve tınlı kum bünyeye sahiptir. Tuz içeriği düşük, orta kireçli, organik madde içeriği düşük, azot(N) içeriği orta, fosfor (P) içeriği yüksek düzeyde, potasyum (K) içeriği yeterli, kalsiyum (Ca) içeriği yüksek, sodyum (Na) ve magnezyum (Mg) içeriği yüksek, demir (Fe) içeriği yeterli değil, çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) içeriği iyi durumdadır.

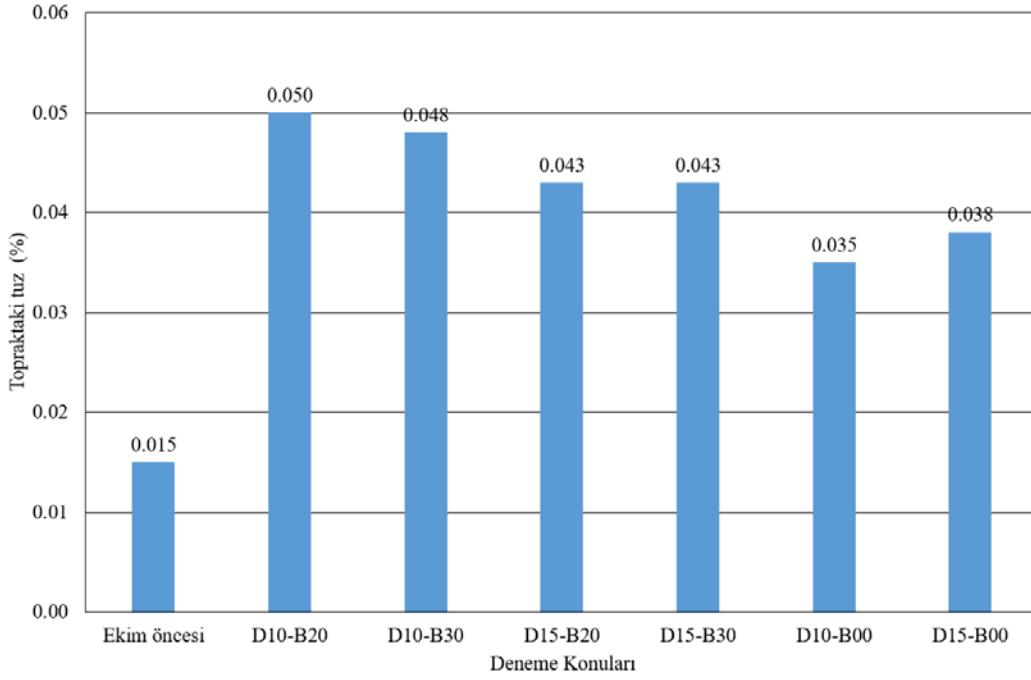
D15-B30 yetiştirme alanı toprağı: Orta alkali tepkimeli ve tınlı kum bünyeye sahiptir. Tuz içeriği düşük, az kireçli, organik madde içeriği düşük, azot(N) içeriği orta, fosfor (P) içeriği yüksek düzeyde, potasyum (K) içeriği yüksek, kalsiyum (Ca) içeriği yüksek, sodyum (Na) içeriği orta, magnezyum (Mg) içeriği yüksek, demir (Fe) içeriği yeterli değil, çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) içeriği iyi durumdadır.

D10-B00 yetiştirme alanı toprağı: Orta alkali tepkimeli ve tınlı kum bünyeye sahiptir. Tuz içeriği düşük, orta kireçli, organik madde içeriği düşük, azot(N) içeriği orta, fosfor (P) içeriği yüksek düzeyde, potasyum (K) içeriği yüksek, kalsiyum (Ca) içeriği yüksek, sodyum (Na) içeriği orta, magnezyum (Mg) içeriği düşük, demir (Fe) içeriği yeterli, çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) içeriği iyi durumdadır.

D15-B00 yetiştirme alanı toprağı: Nötr tepkimeli ve tınlı kum bünyeye sahiptir. Tuz içeriği düşük, az kireçli, organik madde içeriği düşük, azot(N) içeriği orta, fosfor (P) içeriği orta düzeyde, potasyum (K) içeriği düşük, kalsiyum (Ca) içeriği yüksek, sodyum (Na) içeriği orta, magnezyum (Mg) içeriği düşük, demir (Fe) içeriği yeterli değil, çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) içeriği iyi durumdadır.

Bu değerlendirmelere göre, toprağı uygulanan D10-B00 ve D15-B00 konuları toprakta en düşük tuz düzeylerinin saptandığı konulardır. Bu konularda topraktaki tuzun bir bölümü diğer konulara göre daha fazla yıkanmıştır. Deneme

toprağının tuz içeriğine göre konuların tamamının tuz içeriği daha yüksek belirlenmiştir (Şekil 4.16). Bunun nedeni sulama suyu ile toprağa gelen tuzdur. Konular içerisinde en yüksek sodyum (Na) içeriğine D10-B20 ile D15-B20 konularında rastlanmıştır. Bu konularda suyun daha dar bir alanda yoğunlaşması buna neden olarak gösterilebilir.



Şekil 4.16. Deneme öncesi ve sonrasında yetiştirme alanlarından alınan toprak örneklerindeki tuz değişimi

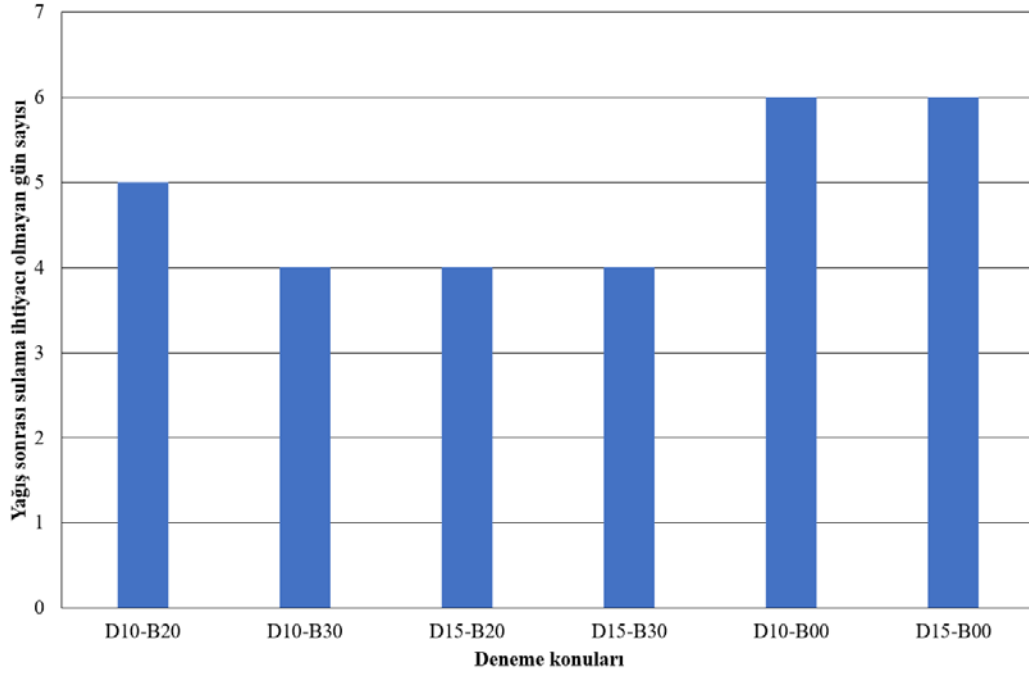
4.7 Su Tutma Bariyerlerinin Yağmur Suyu Kazancına Etkisi

Araştırmanın yürütüldüğü İzmir ilinde çim yetiştirilen alanlarda sulamaya ihtiyaç duyulan dönemlerde düşen yağış miktarı sınırlıdır. Sulama çalışmaları sürecinde en uzun süreli ve en fazla yağış bırakan dönem 3 - 5 Mayıs 2016 tarih aralığında gerçekleşmiştir. Bu yağış döneminde sulama sisteminin davranışı, yetiştirme alanlarındaki toprak hacimsel su içeriği yüzdesi ve sulamaya ihtiyaç duyulmadan geçirilen süreler kayda alınmıştır. Yağışlı günlerde düşen yağış miktarı ve takip eden 1 hafta boyunca sulama sisteminin yetiştirme alanlarına verdiği su miktarları Çizelge 4.6’te verilmiştir. Yağış olan günlerde yetiştirme alanlarının hiçbirinde sulama yapılmamıştır.

Yağış alınan günlerden sonra sulama otomasyonu yetiştirme alanlarına göre değişen sürelerde sulama yapmadan bekleyebilmiştir. Yağmur süresince daha fazla su kazancı olan ve yağmurdan sonraki sürede su içeriğini daha uzun süre koruyabilen yetiştirme alanlarından daha geç sulamaya başlaması beklenmektedir. Şekil 4.17’de her yetiştirme alanının yağmurdan sonra sulama yapmadan ayarlanmış toprak nem değerini tutabildiği gün sayıları görülmektedir. Bu değerlendirmede hiç bariyer kullanılmayan D15-B00 ve D10-B00 alanlarının 6 günlük bekleme süresiyle en iyi sonuçları üretmiştir. Bariyerli deneme alanlarında bariyer altı bölgeye yağış suyunun TADS boruları kadar rahat ulaşamadığı, yağış ile elde edilen su kazancının toprağın daha sınırlı bölgesinde kaldığı ve suyun yüzey akışıyla uzaklaştığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.6. Yağışlı günlerde düşen yağmur miktarı ve sonrasında yapılan sulamalarda kullanılan su miktarları (L)

Yağış (mm)	Tarih	D10-B20	D10-B30	D15-B20	D15-B30	D10-B00	D15-B00
2,9	03.05.2016	-	-	-	-	-	-
2,9	04.05.2016	-	-	-	-	-	-
9,6	05.05.2016	-	-	-	-	-	-
0,0	06.05.2016	-	-	-	-	-	-
0,0	07.05.2016	-	-	-	-	-	-
0,0	08.05.2016	-	-	-	-	-	-
0,0	09.05.2016	-	-	-	-	-	-
0,0	10.05.2016	-	52,85	66,88	39,27	-	-
0,0	11.05.2016	39,61	-	-	-	-	-
0,0	12.05.2016	-	-	-	27,41	50,77	113,10



Şekil 4.17. Yetiştirme alanlarında yağmurlu dönem sonrası sulama ihtiyacı olmayan gün sayısı

4.8 Yetiştirme Alanlarında Görsel Değişim

Farklı deneme konularına ait deneme parsellerinde görsel kontrol yapıldığında biçim öncesi çekilen fotoğraftaki (Şekil 4.18) sonuçlar elde edilmiştir. Renk açısından konular arasında yalnızca belirgin olmayan küçük farklılıklar olmuştur.



Şekil 4.18. Farklı deneme konularındaki çimlerin görsel durum

4.8.1 Farklı Konularda Kök Gelişiminin Değerlendirilmesi

Sulama dönemlerinde yürütülebilecek tüm araştırma faaliyetlerinin tamamlanmasını takiben yükseltilmiş yetiştirme alanlarının her biri kendini çevreleyen duvarların kaldırılması ile toprak kesitleri görünür hale getirilmiştir. Bu toprak kesitlerinde kök ve bariyerlerin etkileşimlerinin daha iyi görünmesini ve görsel olarak kıyaslanabilme imkanını sağlamak amacıyla toprak kesiti basınçlı olarak püskürtülen su ile yıkanmıştır. Yetiştirme alanlarından, bariyer kullanılmayan her iki konuda da kök gelişiminin genel beklenti doğrultusunda homojen dağılımlı ve yer çekimine bağlı ilerleyen suyu izlediği açıkça görülmüştür (Şekil 4.19). Bariyer kullanılan yetiştirme alanlarında ise özellikle bariyer üzerindeki bölgede köklerin yoğunlaştığı, bariyere paralel kıvrıldığı, ilerleyebilecekleri açık ve düşey açılımlı toprak alanını aradıkları görülebilmektedir (Şekil 4.20). Bu durumun 30 cm genişlikli bariyerlerde 20 cm genişlikli bariyerlere kıyasla daha yoğun gözlemlendiği söylenebilmektedir. Bu nedenle sulama faaliyetlerinin son dönemlerinde D10-B30 konusunda, bariyer üstü alanda çim gelişiminde sorunlar başladığı da gözlenmiştir. Bu değerlendirme şeklinde görülen kök hareketlerinin bariyerlerle ilişkisi, farklı bitki türlerinin gelişiminin planlanmasında dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 4.19. Bariyer olmayan yerdeki kök gelişimi



Şekil 4.20. Bariyer üstündeki kök gelişimi

4.9 TARTIŞMA

Bugüne kadar sulama işlemlerinde su kullanım etkinliği artırmaya yönelik sistemler suyun uygulama şekli, miktarı ve yeri üzerine yoğunlaşmıştır. Toprak şartlandırma sistemleri ise bu sistemlerin suyu hedeflenen bölgede daha uzun süre tutmaya çalışan yardımcıları olarak kabul edilebilirler. Bu çalışma kapsamında her ikisinin de bilinen en verimli şekli olan TADS sistemleri ve polimer, kalıcı, toprak altı örtüler bir arada kullanılarak günümüz şartlarının verdiği imkanlar çerçevesinde en etkin su kullanım değerlerine ulaşılması hedeflenmiştir. Yapılan denemelerde bu birliktelik hem geleneksel basınçsız sulama sistemlerine hem de yalnızca toprak şartlandırma işleminin yapıldığı uygulamalara kıyasla farklılıklar göstererek su tasarrufu sağlayabildiğini göstermiştir. Ancak sistem kusursuz da değildir. Gerek daha önceki çalışmalar gerek bu araştırma kapsamında yürütülen çalışmalar göstermiştir ki sistemin zayıf noktaları montaj ve işletme zorlukları noktasında yoğunlaşmaktadır.

Toprak altında, sulama suyunun daha uzun süre tutulmasına ilişkin bugüne kadar yapılan çalışmalarda, toprağın su tutma özelliğini iyileştirmek için, yetiştirilecek bitkiye bağlı olarak belirlenmiş, çeşitli derinliklerde, çeşitli materyaller uygulanmıştır. Polimer örtüler, geotekstiller, asfalt, jeller, çakıl ve saman katmanları bunların bir kısmını oluşturur. Ancak malzeme her hangisi olursa olsun uygulanabilmesi için toprağın genellikle gereken derinliğe kadar kaldırılıp işlemin yapılması gerekir. Bu işlem de bir dizi teknik zorluğu beraberinde getirir;

- Başlangıçta yapılacak hafriyat çalışmaları hem ilk yatırım maliyetini artırmaktadır hem de toprağın geçici olarak taşınması gereken ek alan gereksinimine ihtiyaç duymaktadır.
- Seçilen bariyer türüne göre montaj uygulaması da ayrıca bir mekanizasyon gerektirmektedir.
- Bariyer uygulamaları toprak altında yapay bir havuz ortamı oluşturacağı için bariyer hattının eğimli olması durumunda eğim yönünde su hareketi oluşabileceği, dağılımda bozulmalar ve su birikmelerinin ortaya çıkabileceği düşünülmektedir. Özellikle engebeli peyzaj alanlarında yapılacak bariyer uygulamalarında bu sorunun dikkate alınması gerekmektedir.
- Kök ve bariyer etkileşimi incelendiğinde bitki türüne bağlı olarak seçilecek bariyer derinliğini de farklı olması gerektiği söylenebilir. Eğer aynı yetiştirme alanında zaman içinde farklı bitkiler yetiştirilecek olursa her bitki değişimi döneminde bariyerlerin derinliğinin de değiştirilmesi gerekir. Bu da toprağın tekrar kaldırılıp bariyerlerin tekrar bulunup toplanmasını gerektirir. Bu işlem de uzun uğraşlarla birlikte işçilik maliyetini arttıracaktır.
- Bazı bariyer amaçlı kullanılan malzemeler toprakla bütünleştiği için kullanımından vazgeçilmesi halinde topraktan ayrıştırılarak toplanması da mümkün olmamaktadır.
- Toprağın zamanla yerleşmesi, toprak altında yaşayan bazı hayvan türleri ve benzeri dış etmenlerle toprak altındaki bariyerin başlangıçta oluşturulmuş geometrileri de bozulabilmektedir.

Buraya kadar sayılan sorunlara TADS sistemlerinin de benzerleri ile katkıda bulunacağı çalışmanın önceki bölümlerinde belirtilmişti. Bu sorunların çözülmesi için de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Michigan Eyalet Üniversitesi'nde yapılan

bir çalışmada parçalı sıra bariyerlerin toprak altına, toprağı kaldırmadan ve otomatik olarak döşenmesini sağlayan bir makine geliştirilmiştir (Kavdır vd., 2014). İnsan eliyle yapılması oldukça güç olan toprak altı faaliyetler bu örnekteki gibi makinalaştırılırsa bariyer sistemlerinin kullanımını yaygınlaştırmada önemli engellerden biri de aşılmış olur.

Yerleştirilmesi makine ile yapılabilir, parçalı, sıra düzenli su tutma bariyerleri daha çok bu sisteme uygun, sıra ekimi yapılacak tarla bitkilerinde uygunken, bu çalışma kapsamında çim yetiştirilmesinde de kullanımının avantajları ortaya konmuştur. Ancak peyzaj çalışmalarının tamamlayıcısı olacak derin köklü çeşitli bitkiler ve ağaçlar ise su tutma bariyerlerinin kullanımı için daha zor bir çalışma alanı sunmaktadır. Bu tür bir yaklaşımda genellikle bitkinin köklerinin çok geniş alana yayılması, bitkinin de genellikle düzensiz ve tekil yerleşimli olması uygulamayı zorlaştırmaktadır. Ağaçlar gibi derin köklü ve birbirinden uzak yetiştirilen bitkiler için dikey yerleşimli derin sulama boru sistemlerinin uygulaması hem köklere geniş bir derinlik aralığında su verilmesini sağlayıp hem de yağmur suyu gibi kazanılmış suların bir süre depolanabileceği alan sunmaktadır (Bainbridge, 2002). Su tutma bariyerli sulama alanları gerektiğinde buna benzer sistemlerle karma düzende döşenerek kullanım alanlarının genişletilmesi sağlanabilir.

Bu araştırma boyunca tasarlanıp işletilen sulama sistemlerinin birer benzerinin ticari uygulamalarda etkili bir şekilde yürütülebilmesi için gereken önemli bir husus da eğitimli personel ihtiyacıdır. Toprak altı ve damla sulama borularında yaygın şekilde görülen tıkanma sorunları nedeniyle sistemdeki mümkün olan hatların akış değerlerinin proje ve ilk işletme gününe kıyaslanarak izlenmesi gereklidir. Algılayıcıların montaj noktaları sistemin başlangıç kalibrasyonuna etki ettiği için olabildiğince çoklu algılayıcı ile çalışıp tutarlılıklarının da izlenmesi gerekir. Toprak üzerindeki tarımsal hareketlilik nedeniyle bariyerlere etki edecek çökme ve derin işlemlere karşı da tedbirler veya düzeltme faaliyetleri sağlanmalıdır. Bazen toprak altında gözlenemeyecek sorunların ilk habercisi bitkilerdeki bölgesel gelişim farkları olarak kendini gösterir. Günümüz modern şehirlerinde çok geniş sahalarda uygulanan peyzaj çalışmalarında ise her yapının veya ortak kullanım alanının benzer süreçlerini takip edecek seviyede personelin bulunması da bir

problem olarak belirlemektedir. Mevcut durumda peyzaj hizmetlerinde çalışan insanların bu dönüşümü yaşaması yıllarca sürebilir. Bu nedenle bu tür sistemlerin tasarımıyla birlikte eğitim ve işletme süreçlerinin de önemszenmesi başarıyı artıracaktır.

Su tutma bariyeri ve TADS sistemi kullanılacak işletmelerde sulama takviminin ve verilecek su miktarının belirlenmesi de geleneksel sistemlerden farklı olmalıdır. Tahmine dayalı sabit miktarlı su uygulanması seçeneği su tutma bariyerlerindeki geçmiş verilerin yokluğundan yakın gelecekte iyi bir seçenek değildir. Buharlaşmaya dayalı su ihtiyacının belirlenmesi de benzer sebeplerden doğru sonuçlara ulaştırmayabilir. Her iki durumda da verilen su miktarının ne kadar süreye yayılarak uygulanacağı ve su tutma bariyeri tasarımına göre uygulanan suyun ne kadar süre ile kök bölgesinde tutulabileceği yeterince bilinmemektedir. Araştırma kapsamında da bu nedenler gözetilip çoklu toprak nem algılayıcısının kullanımı ile doğrudan toprağın sürekli belirlenmiş bir nemlilik değeriinde tutulması tercih edilmiştir. Bu konuda yapılabilecek yeni çalışmalar ile oluşturulacak veri tabanları daha basit donanımlar ile daha yüksek doğrulukta sulama yapmanın da önünü açabilir.

Dünya üzerinde iklim değışikliklerinin neden olduğu kuraklaşma ile bir çok bölgede su fiyatları sürekli artmaktadır. Çalışmanın yürütüldüğü İzmir ilinde 2012 yılında park ve bahçeler için uygulanan su fiyatı 2,57 TL/m³ iken bu fiyat 2018 yılında 3,78 TL/m³ olmuştur (İZSU, 2018). Kaynakların daha da azalması ile fiyatların da artmaya devam edeceği öngörülürse projede denemeleri yapılan sistemin sunduğu su tasarrufu ile kendini amorti etme süresinin sürekli daha kısılacağı da kabul edilebilir.

Amerika Birleşik Devletlerinin Kaliforniya eyaletinde yaşanan ve bölgede insanların peyzaj uygulamalarına bakışını değıştiren kuraklık 2011 ve 2015 yılları arasında 4 yıl sürmüştür (Richman and Leslie, 2015). Dünyada ekonomik faaliyetlerin yoğun olduğu ve teknolojik gelişmişliğin de son derece yüksek olduğu bölgelerden birinde kuraklığa karşı verilen mücadele tüm dünyada yerel yönetimlerin ve bilim çevrelerinin çalışmalarına ve gözlemlerine konu olmuştur. Otomobillerin yıkanmaması kampanyaları, az su isteyen peyzaj bitkilerinin

araştırılması, bazı bölgelerde peyzajın tümüyle yasaklanması, su kullanımı ile ilgili sınırlayıcı yönetmelikler getirilmesi gibi bir dizi gelişme günlük yaşamı da etkilemiştir. Henüz bu seviyede sorunlar yaşamayan bir çok ülke gelecek hazırlıkları için yaşanan olayları değerlendirip su kullanımını azaltacak teknolojilere daha fazla destek vermektedir. Benzer şekilde sayısız örneğin mevcut olduğu da düşünülürse bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için kullanılan donanımların gelecekte öngörülen su fiyatlarının yanında kısa sürede amorti edilebilen bileşenler olacağını söylemek de zor değildir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Temiz su kaynaklarının yönetimi ve kullanımı birçok disiplinin ortak çalışma konusudur. Hem yasa ve yönetmeliklerin yapılıp uygulanması hem de uygulamaların etkinliği için farklı teknoloji kollarının ortak çalışması ile çözümler geliştirilmesi gerekmektedir. Sosyo-ekonomik kalkınmada her bölgenin kaynaklarını sürdürülebilir şekilde kullanması zorunluluktur. Su kaynakları günümüzde hem gıda arz güvenliğini hem de doğal yaşamın devamını temsil etmektedir.

Son dönemlerde birçok sanayi ürünü de su kullanımına ortak olmuştur. Ekonomilerin büyümesi ve ürün talebinin artması da su kullanımını artırmaktadır. Endüstriyel amaçlı su kullanımının artması tarımsal amaçlı suları ve içme sularını da tehdit etmektedir. Endüstriyel amaçlı su kullanımının azaltılması, tarımsal sulamada ise daha az su kullanan sistemlerin geliştirilmesi, gıda ve içme suyunun gelecekteki teminatı olacaktır.

Sulama sistemlerinin etkinliğinin öneminden yola çıkarak bilinen teknolojilerin su kullanımları incelenecek olursa, basınçlı sistemlerin öne çıktığı görülür. Basınçlı sulama sistemleri içinde ise düşük su tüketimini vadeden sistem olarak damla ve TADS sistemleri önerilmektedir. Son yıllarda TADS sistemlerine olan piyasa talebi de artmaktadır. Ancak bu teknolojilerin yaygınlaştırılması, doğru kullanımı ve değerlendirilmesi, gereken teknik personelin de yetiştirilebilmesi için bilimsel araştırma kuruluşlarının ve eğitim kurumlarının da konuya ilgi göstermesi gerekir.

Bu çalışma TADS sistemlerinde bariyer kullanımının sulama verimine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olup, deneme amacıyla yükseltilmiş yetiştirme alanları hazırlanmış ve bu alanlara farklı derinlik (10 ve 15 cm) ve farklı genişlikte (20 ve 30 cm) toprak altı fiziksel su bariyerleri yerleştirilmiştir. Kumlu bünyeye sahip toprak şartlarında yetiştirilen çim bitkisinin aynı toprak ve iklim şartlarında kurulan sulama alanlarındaki su tutma ve su dağılımı üzerindeki etkileri araştırılmış ve su tasarrufu konusundaki performansları ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar genel olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Çalışmaya konu olan TADS ile birlikte kullanılan su tutma bariyerlerinin peyzaj uygulamalarında başarılı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- Denemelerin devam ettiği 2015 ve 2016 yılları boyunca su tutma bariyerlerinin kullanılmadığı yetiştirme alanlarının her birindeki toplam su tüketimi, su tutma bariyeri kullanılan yetiştirme alanlarının her birinden daha fazladır. Su tutma bariyerlerinin kullanıldığı yetiştirme alanlarında, bariyersiz yetiştirme alanlarına kıyasla %78'e kadar ulaşan su tasarrufu yapılmıştır.
- Çalışmalar sonucunda bariyerle desteklenen TADS sisteminin çim yetiştiriciliğinde beklenen görsel kaliteyi sağlayabileceği gözlenmiştir. Bununla birlikte yetiştirme alanlarında kullanılan damlatıcı derinliği, bariyer genişliği ve bariyer derinliği tercihlerinin bitki gelişimine de etki ettiği belirlenmiştir. Biçilmiş yaş ot verimine dayalı olarak yapılan değerlendirmelerde kullanılan kumlu toprakta hazırlanan karma tohumlu çim bitkisi için boru ve bariyer derinliği 15 cm olan uygulamaların en iyi sonuçları ürettiği görülmüştür. Renk ölçeği ve yoğunluk kullanılan görsel tarama ile, biçilmiş yaş bitki verimi de uyumlu bulunmuştur. Deney alanlarında yapılan kök analizlerinde ise yüzeye çok yakın bariyerlerin bitki kök hareketini sınırlandırdığı belirlenmiştir. Bu nedenle bariyer derinliği seçilirken köklerin yön değiştirmesine alan tanıyacak kadar derinliğin verilmesine dikkat edilmelidir.
- Biçilmiş yaş ot kütlesinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda bitkinin ilk çimlenme ve gelişme dönemini içeren 2015 yılı yaz döneminde farklı bariyer derinliği ve genişliği tercih edilen yetiştirme alanları ile hiç bariyer

kullanılmadan yalnızca TADS yapılan yetiştirme alanlarında yaş ot kütlesi açısından anlamlı farklar içeren sonuçlar elde edilmemiştir. Bitkilerin gelişimini tamamlayıp kök derinliğini artırdığı 2016 yaz dönemi deneylerinde ise bariyersiz yetiştirme alanları ile 15 cm derinlikte bariyer kullanılan yetiştirme alanları, bariyer genişliği fark etmeksizin birbirine yakın yaş ot kütlesi üretmeye devam etmişlerdir. Bu dönemde 10 cm derinlikte bariyer kullanılan yetiştirme alanlarında ise biçilmiş toplam yaş ot kütlesi bariyersiz yetiştirme alanlarından elde edilen kütlenin toplamından %35, 15 cm derinlikte bariyer kullanılan yetiştirme alanlarının toplamından ise %36,6 daha azdır.

- Toprağın su tutma özelliğindeki değişim bitki yetiştirilmeyen dönemde de farklı infiltrasyon rakamları ortaya koymuştur. Toprakta henüz bitki olmaksızın yapılan sulamalarda aynı nem değerini korumak için her yetiştirme alanı farklı miktarda suya ihtiyaç duymuştur. Toplam 2 hafta süren bitkisiz su tüketim deneylerinin kurak yaz döneminde yürütülmesi ile elde edilen verilere göre su tutma bariyeri kullanılmayan D10 ve D15 yetiştirme alanlarında sırasıyla 1885 L ve 1368 L su tüketilmiştir. Aynı dönemde su tutma bariyeri kullanılan D10-B20, D10-B30, D15-B20, D15-B30 yetiştirme alanlarında sırasıyla 277, 388, 422, 238 L su tüketilmiştir. Toprak yapısında bitki köklerinin su kullanımı ve toprak yapısına etkisi olmaksızın yapılan bu karşılaştırma, su tutma bariyerlerinin toprak içinde aşağıya doğru su kaçışını büyük ölçüde azalttığı göstermiştir.
- Toprak altı sulama ve su tutma bariyerinin birlikte kullanılmasında planlanması gereken bir diğer husus suyun yüzeye doğru hareketidir. Laboratuvar ortamında yapılan görsel infiltrasyon deneylerinde kumlu toraktaki aşırı dibe kaçış eğilimi nedeniyle suyun yüzeye hiç ulaşamayabileceği belirlenmiştir. Çimlenme aşamasında yüzeyde su ihtiyacı bulunduğundan, suyun yüzeye çıkabildiği en yüksek bariyer derinliğinin 10 cm olduğu bulunmuştur. 10 cm derinliğinde bariyer kullanılmasının ise bitkinin gelişmesinin ileriki aşamalarında kök hareketine sınır getirmesi nedeniyle sorunlar yaratacağı, çalışmanın 2016 yılındaki 2. Döneminde kanıtlanmıştır. Bu durum su tutma bariyerinin toprak yüzeyine daha yakın yerleştirilmesi, tohum atma aşamasında geçirgenliği daha az olan kapak

tabakasının kullanılması veya yüzeyde suya ihtiyaç duyulan tohum atma sonrası çimlenme döneminde üstten sulama yaparak çözümlenebilir.

- Yetiştirme alanlarında sulamanın kontrol edilmesi için belirlenen sulama programı, hacimsel su içeriğinin ölçülmesine dayanan algılayıcı otomasyon sistemi olarak seçilmiştir. Bu sulama programının kumlu toprakta, TADS sistemi ve su tutma bariyeri kullanarak çim yetiştirilmesi için doğru su miktarının uygulanabilmesini sağladığı belirlenmiştir.
- Topraktaki hacimsel su içeriği, kurak yaz aylarındaki sulama dönemleri boyunca tüm yetiştirme alanlarında eşit olmak üzere %28-%30 aralığında tutulmuştur. Bu dönemlerin dışında toprak nem değerinin değişimine yağmur kazancı dışında katkıda bulunulmamıştır. Çalışmaların yürütüldüğü İzmir ilindeki iklim şartlarında bu yöntemin bitki su ihtiyacını temin etmek için yeterli olduğu gözlenmiştir.
- Hacimsel su içeriğinin tayininde kullanılan 70 MHz frekanslı manyetik nem algılayıcısının toprak altındaki yoğunluk farklarından ve su tutma bariyerlerinden etkilenmeden yüksek hassasiyetle toprak altı damla sulamada tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- TADS sistemlerinin ve bu çalışmada kullanılan polimer esaslı, sabit su tutma bariyerlerinin önceki çalışmalarda bir çok tarımsal bitkiye uygulanabilirliği gösterilmiş olmakla birlikte, sıra esasına göre dikilmeyen ve daha derin köklere sahip peyzaj bitkilerinde uygulanması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Çoğunlukla ağaçlar, çim alanları ve birden çok çeşitteki süs bitkilerinin birleşiminden oluşan peyzaj alanlarında su tutma bariyerlerinin uygulanması hem montaj hem de sulama sisteminin işletilmesi için zorlukları beraberinde getirmektedir.
- Yetiştirme alanlarının yağmurlu günlerdeki toprak nem değişimi ve sulama gereksinimi değişimi incelenmiştir. Su tutma bariyeri kullanılmayan D10-B00 ve D15-B00 uygulamaları yağıştan elde edilen toprak nemi artışını su tutma bariyeri kullanılan diğer tüm uygulamalardan daha uzun süre korumuştur. Bu durumun su tutma bariyerlerinin bariyer altı bölgeye suyu kolaylıkla bırakmaması ve kısa süreli yağmurlarda toprağın her katmanının, yağmur suyundan yeterince faydalanamamasının neden olduğu düşünülmektedir. Daha fazla yağış olan dönemlerde bu çalışmanın

yinelenmesi ile bu durumun deęiřebileceęi dūřūnūlmektedir. Ayrıca yılın belli dōneminde yoğun yaęıřa maruz kalan bōlgelerde su tutma bariyerlerinden kaynaklanan gōllenme sorununun oluřmasına yōnelik bir arařtırma fayda saęlayacaktır.

Çalışmanın, sulama konusunda çalışan araştırmacılara ve uygulama yapan firmalara yararlı olacağı dūřūnūlmektedir. Bu çalışmada elde edilen őzellikle su tasarrufu konusundaki olumlu sonuçların ardından, TADS borusuyla birlikte toprak altına bariyer yerleştirebilen makinaların tasarımı konusunda çalışmalar yapılması da değerlendirilmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abedi-Koupai, J.** and Asadkazemi, J., 2006, Effects of a hydrophilic polymer on the field performance of an ornamental plant (*Cupressus arizonica*) under reduced irrigation regimes, *Iranian Polymer Journal*, 15(9): 715-725.
- Aksungur, N.** ve Firidin, Ş., 2008, Su kaynaklarının kullanımı ve sürdürülebilirlik, *Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Yunus Araştırma Bülteni*, 8:2, 3 s.
- Aras, İ.**, 2014, Konya kapalı havzasında sulama sistemlerine yeni bir alternatif; TADS, Değerlendirme Notu, Mevlâna Kalkınma Ajansı, 28 s.
- Arslan, M.** ve Çakmakçı, S., 2004, Farklı çim tür ve çeşitlerinin Antalya İli sahil koşullarında adaptasyon yeteneklerinin ve performanslarının belirlenmesi, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1), 31-42.
- Ayars, J.E.**, Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S. and Mead R.M., 1999, Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the water management research laboratory, *Agricultural Water Management*, 42: 1-27.
- Bainbridge, D.A.**, 2002, Alternative irrigation systems for arid land restoration, *Ecological Restoration*, 20(1):23-30.
- Blonquist Jr., J.M.**, Jones, S.B. and Robinson, D.A., 2006, Precise irrigation scheduling for turfgrass using a subsurface electromagnetic soil moisture sensor, *Agricultural Water Management*, 84: 153-165.
- Bouyoucoucous, G.J.**, 1951, A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils, *Agronomy Journal*, 43;434-438.
- Bremner, J.M.**, 1965, 'Total Nitrojen', in C.A. Black (Ed.) *methods of soil analysis*, Part 2, American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin-USA, 1149-1178.
- Camp, C.R.**, 1998, Subsurface drip irrigation: A review, *transactions of the ASAE*, 41(5): 1353-1367.
- Charlesworth, P.B.**, 2003, Investigation of the efficiency and long term performance of various sub-surface irrigation configurations under field conditions, School of Agriculture Charles Sturt University, Ph.D. Thesis

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Croitoru, L.**, Dıvrak, B.B. and Xie, J., 2016, Valuing water resources in Turkey, World Bank, 67p.
- Demirel, K.** ve Kavdır, Y., 2013, Effect of soil water retention barriers on turfgrass growth and soil water content, *Irrigation Science*, 31: 689–700.
- Demirel, K.**, 2012, Toprak altına serilen su tutma bariyerlerinin (Stb) toprak su içeriği ve çim Bbitkisi gelişimi üzerine etkileri, Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, 109s
- 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.
- Douh, B.**, Boujelben, A., Khila, S. and Bel Haj Mguidiche, A., 2013, Effect of subsurface drip irrigation system depth on soil water content distribution at different depths and different times after irrigation, *Larhyss Journal*, 13: 7-16.
- Enciso, J.**, Jifon, J., Anciso, J. and Ribera, L., 2015, Productivity of onions using subsurface drip irrigation versus furrow irrigation systems with an internet based irrigation scheduling program, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Agronomy, 6p.
- Ertek, A.** ve Yılmaz, H., 2014, The agricultural perspective on water conservation in Turkey, *Agricultural Water Management*, 143:151-158, 8p.
- Fernández-Gálvez, J.** and Simmonds, L.P., 2006, Monitoring and modelling the three-dimensional flow of water under drip irrigation, *Agricultural Water Management*, 197-208, 12p.
- Finger, L.**, Wang, Q.J., Malano, H. and Chen, D., Morris, M., 2015, Productivity and water use of grazed subsurface drip irrigated perennial pasture in Australia, 2015, *Irrigation Science*, 33: 141–152.
- Garrity, D.P.**, Vejpas, C., Herrera and W.T., 1992, Percolation Barriers Increase and Stabilize Rainfed Lowland Rice Yields on Well Drained Soil, Murthy, V V N, and Koga K. editors Soil and Water Engineering for Paddy Field Management, 413-421.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gökçek, Ç.** ve Kütük, C., 2015, Leonardit'in Çim Alanda Kullanımı: II. Bazı Kalite Özellikleri ve Su Kullanım Etkinliği Üzerine Etkisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, Özel Sayı, 15-20.
- Gökçek, Ç.** ve Kütük, C., 2012, Leonardit'in Çim Alanda Kullanımı: I. Vejetasyon Karakteristikleri ve Su Tüketimi Üzerine Etkisi, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 5(2): 51-55.
- Hansen, C.M.** and Erickson, A.E., 1969, Use of asphalt to increase water holding-capacity of droughty sand soils, Industry and Engineering Chemical Product Research and Development, 8:256-259.
- Hanson, B.R.**, Schwankl, L.J., Schulbach, K.F., Pettygrove G.S., 1997, A comparison of furrow, surface drip and subsurface drip irrigation on lettuce yield and applied water, Agricultural Water Management, 33: 39-157.
- Hommadi, A.H.**, Almasraf, S.A., 2018, Subsurface water retention technology improves water use efficiency and water productivity for hot pepper, Journal University of Kerbala, 16(1), 11p.
- Ismail, S.M.**, Zin El-Abedin, T.K., Wassif, M.A. and El-Nesr, M.N., 2006-a, Wetting pattern simulation of surface and subsurface drip irrigation systems II- Model validation and Analyses, The 14th Annual Conference of Misr Society of Agr. Eng., 23(4) 1035-1057, 23p
- Ismail, S.M.**, Zien El-Abedin, T.K., Wassif, M.A. and El-Nesr, M.N., 2006-b, Drip irrigation systems in sandy soil using physical and hydraulic barriers, The 14th Annual Conference of Misr Society of Agr. Eng., 23(4): 1021-1076.
- Itzel, E.**, Lazarovitch, N., Silberbush, M. and Ben-Gal, A., 2012, An artificial capillary barrier to improve root-zone conditions for horticultural crops: Response of pepper plants to matric head and irrigation water salinity, Agricultural Water Management, 105, 20p
- İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İZSU)**, <http://www.izsu.gov.tr/Pages/standartPage.aspx?id=65>, Erişim tarihi: 1 Haziran 2018)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jackson, M.L.**, 1962, Soil Chemical Analysis, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA, s. 183.
- Jackson, M.L.**, 1967, Soil Chemical Analysis, Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Kacar, B.**, 1995, Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III-Toprak Analizleri., A.Ü. Ziraat Fak. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, Yayın No: 3, Ankara.
- Kalfountzos, D.**, Alexiou, I., Kotsopoulos, S., Zavaikos, G. and Vyrilas, P., 2007. Effect of subsurface drip irrigation on cotton plantations, Water Resources Management, Volume 21: 1341-1351, 11 p.
- Kandelous M.M.** and Šimůnek, J., 2010, Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D, Agricultural Water Management, 1070-1076, 7p.
- Kavdır, Y.**, Zhang, W., Basso, B. and Smucker, J.M., 2014, Development of a new long-term drought resilient soil water retention technology, Journal of Soil and Water Conservation
- Lamm, F.R.**, 2002, Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation, Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation, Puerta La Cruz, Tenerife, Canary Islands, December 2-5, Instituto Canario De Investigaciones Agrarias, Canary Islands, Spain. 13 p.
- Lamm, F. R.** and C. R. Camp., 2007, Chapter 13: Subsurface drip irrigation. In Microirrigation for Crop Production: Design, Operation, and Management, Elsevier, The Netherlands: Amsterdam, 473-551, 78 p.
- Lindsay, W.L.** and Norvell, W.A., 1978, Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper, Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428
- Lubana P.P.S.** and Narda, N. K., 2001, Modelling soil water dynamics under trickle emitters - a Review, J. agric. Engng Res., 217-232, 16 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Olsen, S.R.**, Cole, V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954, Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, U.S.A.
- Palta, J.P.** and Blake, G.R., 1974, Effect of an asphalt barrier on water Storage drought probability, *Agronomy Journal*, 66: 209-212.
- Parris, K.**, 2010, Sustainable management of water resources in agriculture, OECD Publishing, 122p.
- Pimentel, D.**, Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E. and Nandagopal, S., 2004, Water resources: agricultural and environmental issues, *Bioscience*, 54(10):909-918, 10p.
- Richards, L.A.**, 1954, Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils, USA, Salinity Labrotary.
- Richman, M.B.**, Leslie, M.L., 2015, Uniqueness and causes of the california drought, *Procedia Computer Science*, 61:428-435.
- Safi, B.**, Neyshabouri, M.R., Nazemi, A.H., Massiha, S. and Mirlatifi, S.M., 2007, Water application uniformity of a subsurface drip irrigation system at various operating pressures and tape lengths, *Turkish Journal Of Agriculture And Forestry*, 31: 275-285.
- Salman, A.** ve Avcıoğlu, R., 2010, Bazı serin iklim çim bitkilerinin farklı gübre dozlarındaki yeşil alan performansları, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 47(3): 309-319.
- Schiavon, M.**, Leinauer, B., Serena, M., Sallenave, R. and Maier, B., 2012, Establishing tall fescue and kentucky bluegrass using subsurface irrigation and saline water, *Agronomy Journal*, 105(1): 183-190.
- Sharma, P.K.**, Ingram, K.T. and Harnpichitvitaya, D., 1995, Subsoil compaction to improve water use efficiency and yields of rainfed lowland rice in coarse-textured soils, *Soil & Tillage Research*, 36: 33-44.
- 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*, 130-134, 5 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sivapalan, S.**, 2006, Benefits of treating a sandy soil with a crosslinked-type polyacrylamide, *australian journal of experimental agriculture*, 46: 579-584.
- Sönmez, Y.M.** ve **Türkarslan, M.**, 2015, Leonarditlerden tıp ve kozmetikte kullanılabilecek saflıkta etil fülvik ester üretim prosesi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, Özel Sayı*, 11-14.
- Suarez-Rey, E.**, **Choi, C.Y.**, **Waller, P.M.**, **Kopec D.M.**, 2000, Comparison of subsurface drip irrigation sprinkler for bermuda grass turf in Arizona, *Transactions of the ASAE.*, 43(3): 631-640
- Sumner, M. E.** and **Gilfillan, E.C.**, 1971, Asphalt barriers to improve productivity of sandy soils-a preliminary assessment, *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association*, 165-168, 4p.
- United Nations Population Division**, 2019, *World Population Prospects 2019: Highlights*, United Nations Publications, 2p.
- USSL Salinity Laboratory**, 1954, *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. US Department of Agriculture Handbook, No. 60, 160 p
- Yang, L.**, **Yang, Y.**, **Chen, Z.**, **Guo, C.** and **Li, S.**, 2014, Influence of super absorbent polymer on soil water retention, Seed Germination and Plant Survivals For Rocky Slopes Eco-Engineering, *Ecological Engineering*, 62: 27-32.
- Zhao, Y.**, **Li, Y.**, **Wang J.**, **Pang, H.** and **Li, Y.**, 2016, Buried straw layer plus plastic mulching reduces soil salinity and increases sunflower yield in saline soils, *Soil & Tillage Research* 155: 363-370.
- Zhou, L.**, **Zhang, F.** and **Liu, C.**, 2015, Improved yield by harvesting water with ridges and subgrooves using buried and surface plastic mulches in a semiarid area of China. *Soil & Tillage Research*, 150: 21-29.
- Zin El-Abedin, T.K.**, 2006, Improving moisture distribution pattern of subsurface drip irrigation in sandy soil by using synthetic soil conditioner, *Misr Society of Agricultural Engineering*, 23(2): 374 – 399.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zoldoske, D.F., Genito S. and Jorgensen G.S., 1995, Subsurface drip irrigation on turfgrass: A university experience, Microirrigation for a Changing World, Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress Book, Orlando, 300-302.

Zorer Çelebi, Ş., Andiç, N. ve Yılmaz, İ.H., 2010, Van bölgesinde tesis edilecek çim alanları için uygun tohumluk miktarının saptanması, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 20(1): 16-25.



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım tez projemin her aşamasında yardım ve desteğini aldığım hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YÜRDEM'e, sağladıkları imkanlar, görüş ve katkıları nedeniyle hocalarım Prof. Dr. Vedat DEMİR ve Prof. Dr. Sezai DELİBACAK'a, saha çalışmalarımız için altyapı ve donanım sağlayan EÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümüne, personel ve iş makineleri desteği sağlayan Ege Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması 2013-ZRF-021 nolu BAP projesi ile desteklenmiştir. Bu projeye verilen finansal destek için Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

Özkan ÇEÇEN, 4 Ağustos 1980 yılında İzmir’de doğmuştur. İlk öğrenim ve orta öğrenimin ardından İzmir Çınarlı Anadolu Teknik Lisesi, Elektronik Programını kazanarak mesleki öğrenimine başlamıştır. 1999 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü, Tesisat Öğretmenliği Programını kazanmıştır. Burada aldığı lisans eğitiminden sonra bir süre özel sektörde tarım makinaları alanında üretim ve ürün geliştirme konularında çalışmıştır. 2006 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir Meslek Yüksekokulu, Yapı Tesisat Teknolojisi Programında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaya başlamıştır. Aynı yıl, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, Enerji Teknolojisi Programını kazanarak yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2010 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Ana Bilim Dalında doktora eğitimine başlamıştır. Hâlen Dokuz Eylül Üniversitesi’ndeki görevine devam etmektedir.