



**FARKLI TOPRAK İŞLEME-EKİM KOŞULLARINDA
SİLAJLIK MISIR YETİŞTİRİCİLİĞİNDE
ARITILMIŞ ATIK SU DÜZEYLERİNİN
BİTKİ VE TOPRAK ÖZELLİKLERİ İLE
CO₂ SALINIMINA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Caner YERLİ

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Doktora Tezi

Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

2022

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANA BİLİM DALI

**FARKLI TOPRAK İŞLEME-EKİM KOŞULLARINDA SİLAJLIK MISIR
YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ARITILMIŞ ATIK SU DÜZEYLERİNİN BİTKİ VE
TOPRAK ÖZELLİKLERİ İLE CO₂ SALINIMINA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

(Determination of the Effects of Treated Waste Water Levels on Crop-Soil Properties and
CO₂ Emissions in Silage Maize Cultivation Under Different Soil Tillage-Sowing Conditions)

DOKTORA TEZİ

Caner YERLİ

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Erzurum
Şubat, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN danışmanlığında, Caner Yerli tarafından hazırlanan “Farklı Toprak İşleme-Ekim Koşullarında Silajlık Mısır Yetiştiriciliğinde Arıtılmış Atık Su Düzeylerinin Bitki ve Toprak Özellikleri ile CO₂ Salınımına Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, 25/2/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Şerafettin AŞIK <i>Ege Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzadır
Danışman:	Prof. Dr. Üstün ŞAHİN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzadır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Yusuf UÇAR <i>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzadır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzadır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzadır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı ıslak imzadır

Bu çalışma TÜBİTAK 1001 projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 119O528

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİMİ VE İNTİHAL FORMU

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN danışmanlığında, Caner Yerli tarafından hazırlanan “Farklı Toprak İşleme-Ekim Koşullarında Silajlık Mısır Yetiştiriciliğinde Arıtılmış Atık Su Düzeylerinin Bitki ve Toprak Özellikleri ile CO₂ Salınımına Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı doktora çalışmasının bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	% 2	30
Kuramsal Temeller	% 9	30
Materyal ve Metot	% 10	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	% 6	20
Sonuç ve Öneriler	% 3	20
Tezin Geneli	% 7	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Caner YERLİ	Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
25.2.2022	25.2.2022
İmza Aslı ıslak imzalıdır	İmza Aslı ıslak imzalıdır

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim boyunca her aşamada desteklerini sunan, yüksek bilgi birikimiyle daima yol gösteren ve sadece tez çalışmam değil ayrıca akademik eğitimim boyunca da bana sürekli ışık tutan çok kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e,

Doktora tez izleme komitemde bulunan ve tezimin değerlendirilmesinde katkılarını sunan Sayın Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ ve Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU hocalarıma ve tezimin gerek arazi gerekse laboratuvar çalışmaları kısmında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen bölüm başkanım Sayın Prof. Dr. Şefik TUFENKÇİ'ye ve ayrıca doktora tezimin desteklediği projenin araştırmacılarından Doç Dr. Selda ÖRS'e yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Tezim süresince arıtılmış atık suyun alınmasında destek sağlayan Van-Edremit Atık Su Arıtma Tesisi Müdürlüğü ve çalışanlarına, deneme alanının hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Çiftlik Müdürlüğü ve personeline, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı ve personeline, arazi ve laboratuvar çalışmalarına desteklerinden dolayı proje bursiyerleri Hakkı TURAP ve Burak SOYSAL'a, toprak, bitki, su ve istatistiksel analizlerin yapılmasında ve yorumlanmasında katkılarını sunan Dr. Öğr. Üyesi Talip ÇAKMAKCI, Dr. Öğr. Üyesi Ataman Altuğ ATICI ve Arş. Gör. Dr. Özlem ÇAKMAKCI'ya, toprak işleme-ekim konusunda destek sağlayan çiftçi Burak ŞAHAR'a ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Sedanur ŞAHİN ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak her zaman yanımda olan, destekleriyle varlıklarını sürekli hissettiğim çok kıymetli annem Mehtap YERLİ, babam Cevdet YERLİ ve kardeşim Miray YERLİ'ye kalbi duygularımla teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmaya 119O528 numaralı 1001 projesi ile finansal destek sağlayan TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Caner YERLİ

Şubat, 2022

ÖZET
DOKTORA TEZİ
FARKLI TOPRAK İŞLEME-EKİM KOŞULLARINDA SİLAJLIK MISIR
YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ARITILMIŞ ATIK SU DÜZEYLERİNİN BİTKİ VE
TOPRAK ÖZELLİKLERİ İLE CO₂ SALINIMINA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Caner YERLİ

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Amaç-Yöntem: Çalışma, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında arıtılmış evsel atık suyla farklı seviyelerde sulamaların (% 100, % 67 ve % 33) temiz suyla tam sulamayla (% 100) kıyaslanarak silajlık mısırın verim ve kalitesi ile fizyolojik özelliklerine, su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliğine (WP_{irrig}), toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerine etkilerinin belirlenmesinin yanı sıra topraktan CO₂ salınımının toprak işleme-ekimden hasada kadar izlenmesi amacıyla 2020 ve 2021 yıllarında yarı kurak iklime sahip Van ilinde Van gölü havzasında yürütülmüştür.

Bulgular: Doğrudan ekim uygulaması geleneksel toprak işlemeye göre % 9,1 ile % 11,3 sulama suyu tasarrufu sağlanmıştır. Bitki su tüketimi de doğrudan ekimde % 5,4 ile % 11,5 daha düşük bulunmuştur. Doğrudan ekimde geleneksel toprak işlemeye göre % 12,3 ve % 13,0 daha yüksek WP ve WP_{irrig} değerleri belirlenmiştir. En yüksek WP atık suyla % 67 seviyesinde ve tam sulamalardan (20,1 kg/m³), en yüksek WP_{irrig} atık suyla % 67 seviyesinde sulamadan (26,9 kg/m³) elde edilmiştir. Atık suyla tam sulamada temiz suya göre porozite, agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su, EC, ESP, KDK, bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot ve kuru madde verimleri, SÇKM, ham protein oranı, SPAD, yaprak alan indeksi ve membran zararlanma daha yüksek, kütle yoğunluğu, pH, CaCO₃, ADF ve NDF ise daha düşük belirlenmiş ve temiz suyla tam sulamaya göre su kısıntısında sadece porozite, agregat stabilitesi, CaCO₃ ve membran zararlanma artmıştır. Doğrudan ekimde ise geleneksel toprak işlemeye göre kütle yoğunluğu, agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su, gövde çapı, silajlık ot ve kuru madde verimleri, SPAD ve yaprak oransal su içeriği daha yüksek, porozite, EC, KDK ve ham protein oranı ise daha düşük belirlenmiştir. Atık su ve doğrudan ekim uygulamaları toprağın OM, OC, TN, P₂O₅ ve K₂O içeriklerini artırmıştır. Atık suyla sulamada bitki ve toprakta makro ve mikro elementlerle ağır metaller artmış ancak eşik değerler aşılmamıştır. Atık suyla sulamada bitkide mikro element ve ağır metal içerikleri Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Ni>Pb>Cd şeklindeki bir birikimle sonuçlanmıştır. Atık suyla sulama ve geleneksel toprak işleme CO₂ salınımlarını önemli düzeyde artırmış, kısıntı seviyesinin artmasıyla salınımda azalışlar görülmüştür. Ancak doğrudan ekimde atık suyla % 67 seviyesinde sulamada (65,6 g CO₂/kg) kontrol uygulamasına göre (76,1 g CO₂/kg) % 13,8 daha az 1 kg silajlık ot verimi başına CO₂ salınımı gerçekleşmiştir. Ayrıca CO₂ salınımı ile H₂O salınımı, hava sıcaklığı ve farklı derinliklerde (5, 10 ve 20 cm) toprak sıcaklıkları ile toprak nemleri arasında pozitif korelasyonlar belirlenmiştir.

Sonuç: Atık suyun toprak ve bitki verimini artırdığı fakat yüksek CO₂ salınımlarına sebep olduğu, bu salınımların ise kolay ve pratik bir uygulama olan doğrudan ekimle kontrol altına alınabileceği belirlenmiştir. Ayrıca doğrudan ekimde azalan sulama suyu ve artan toprak verimliliğinin etkileriyle hem tarımsal hem de çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık su, CO₂ salınımı, Kısıntılı sulama, Silajlık mısır, Toprak işleme

Şubat 2022, 300 sayfa

ABSTRACT
DOCTORAL DISSERTATION
DETERMINATION OF THE EFFECTS OF TREATED WASTE WATER LEVELS
ON CROP-SOIL PROPERTIES AND CO₂ EMISSIONS IN SILAGE MAIZE
CULTIVATION UNDER DIFFERENT SOIL TILLAGE-SOWING CONDITIONS

Caner YERLI

Supervisor: Prof. Dr. Ustun SAHIN

Purpose-Method: The aims of this study were to obtain effects of domestic waste water irrigation at different levels (100%, 67%, and 33%) under conventional tillage and direct sowing conditions by comparing with full irrigation using fresh water on the yield, quality and physiological characteristics of silage maize, water productivity (WP), irrigation water productivity (WP_{irrig}), physical, chemical and hydraulic properties of soil, and CO₂ emission from the soil from tillage-sowing to harvest. This study was carried out in the Van lake basin in the province of Van, which has a semi-arid climate, in 2020 and 2021.

Findings: The results of this study indicated that the direct sowing treatment provided 9,1% to 11,3% irrigation water savings as compared to the conventional tillage. Crop water consumption was also found to be 5,4% to 11,5% lower in the direct sowing. 12,3% and 13,0% higher WP and WP_{irrig} values were determined in the direct sowing as compared to the conventional tillage. The highest level of WP was obtained from irrigation with waste water at the level of 67% and full (20,1 kg m⁻³), and the highest level of WP_{irrig} was obtained from irrigation with waste water at the level of 67% (26,9 kg m⁻³). In full irrigation with waste water, porosity, aggregate stability, field capacity, wilting point, available water, EC, ESP, CEC, crop height, stem diameter, green forage and dry matter yields, TSS, crude protein ratio, SPAD, leaf area index and membrane damage were higher, but bulk density, pH, CaCO₃, ADF and NDF were lower as compared to those of with fresh water irrigation. Only porosity, aggregate stability, CaCO₃ and membrane damage increased in deficit irrigation compared to full irrigation with fresh water. In the direct sowing, bulk density, aggregate stability, field capacity, wilting point, available water, stem diameter, green forage and dry matter yields, SPAD and leaf relative water content were higher, but porosity, EC, CEC and crude protein ratio were lower than those of the conventional tillage. Waste water and direct sowing treatments increased OM, OC, TN, P₂O₅ and K₂O contents of the soil. In waste water irrigation, macro and micro elements and heavy metal contents increased in crop and soil, but the threshold values were not exceeded. In waste water irrigation, the micro element and heavy metal contents in the crop resulted in an accumulation in the form of Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Ni>Pb>Cd. Waste water irrigation and conventional tillage significantly increased CO₂ emissions, and the emissions decreased with the increase in the deficit irrigation. However, in direct sowing, the CO₂ emission per 1 kg of green forage in 67% irrigation with waste water (65,6 g CO₂ kg⁻¹) was 13,8% less than the control treatment (76,1 g CO₂ kg⁻¹). In addition, positive correlations were found between CO₂ emission and H₂O emission, air temperature, soil temperatures at different depths (5, 10 and 20 cm) and soil moisture.

Results: It was found that the waste water irrigation increased soil and crop productivity but caused high CO₂ emissions, but these emissions could be controlled by direct sowing, which is an easy and practical application. In addition, it was concluded that both agricultural and environmental sustainability can be achieved with the effects of decreasing irrigation quantity and increasing soil fertility in direct sowing.

Keywords: Waste water, CO₂ emission, Deficit irrigation, Silage maize, Soil tillage

February 2022, 300 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİMİ VE İNTİHAL FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xvii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	6
Atık Suların Tarımsal Önemi ve Riskleri	6
Dünyada Atık Suların Kullanımı	8
Türkiye’de Atık Suların Arıtımı, Potansiyeli ve Kullanımı	14
Türkiye’de atık suların kullanımıyla ilgili yönetmelik ve tebliğler	15
Atık Suların Sulamada Kullanımıyla İlgili Çalışmalar	19
Kısıntılı Sulamayla İlgili Çalışmalar	28
Toprak İşlemeyle İlgili Çalışmalar	32
Küresel Isınma ve Tarımsal CO ₂ Salınımı.....	36
Tarımsal CO ₂ Salınımıyla İlgili Çalışmalar.....	39
Silajlık Mısırın Önemi ve Verim-Kalitesiyle İlgili Çalışmalar	45
MATERYAL VE METOT.....	51
Materyal	51
Deneme alanı.....	51
Deneme alanı iklim özellikleri.....	52
Deneme tarlası toprak özellikleri	55
Sulama suyu kaynakları	57
Sulama sistemi	58
Bitki materyali.....	59
Metot.....	60
Deneme düzeni ve konuları.....	60
Toprak işleme-ekim ve kültürel işlemler	61

Sulama uygulamaları.....	63
Gerçek bitki su tüketiminin (Evapotranspirasyon) belirlenmesi.....	65
Su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliğinin (WP _{irrig}) belirlenmesi	66
Sulama sularının örneklenmesi ve su analizleri	66
Toprak örneklerinin alınması ve analizleri	69
Fiziksel toprak özelliklerinin analizleri	70
Kimyasal toprak özelliklerinin analizleri	71
Hidrolik toprak özelliklerinin analizleri	73
Bitkide fiziksel ve fizyolojik ölçümler ile kimyasal analizler	74
Bitkide fiziksel ölçümler	74
Bitkide kimyasal analizler	75
Bitkide fizyolojik ölçümler	77
CO ₂ salınımı ve bağlantılı sıcaklık ile nem ölçümleri	79
Birim alan ve birim ürün başına CO ₂ salınımları	81
Veri analizleri.....	81
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	82
Sulama Sularının Özellikleri.....	82
Sulama Suyu Miktarları	87
Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler	88
Gerçek Bitki Su Tüketimi (Evapotranspirasyon).....	90
Su Verimliliği (WP) ve Sulama Suyu Verimliliği (WP _{irrig}).....	92
Toprak Özellikleri.....	95
Fiziksel toprak özellikleri.....	95
Kimyasal toprak özellikleri	102
Hidrolik toprak özellikleri.....	135
Bitki Özellikleri	140
Bitkide fiziksel ölçümler	140
Bitkide kimyasal analizler.....	146
Bitkide fizyolojik ölçümler	157
CO ₂ Salınımı ve Bağlantılı Sıcaklık ile Nem Ölçümleri	162
Birim alan ve birim ürün başına CO ₂ salınımları.....	179
SONUÇ VE ÖNERİLER	187
KAYNAKLAR.....	193
EKLER	223
Ek-1. Su verimliliği (WP) varyans analizi.....	223

Ek-2. Sulama suyu verimliliği (WP_{irrig}) varyans analizi	223
Ek-3. Tane yoğunluğu varyans analizi	224
Ek-4. Kütle yoğunluğu varyans analizi.....	225
Ek-5. Porozite varyans analizi	226
Ek-6. Agregat stabilitesi varyans analizi	227
Ek-7. Geleneksel toprak işlemede farklı sulama uygulamalarında toprak parametreleri arasındaki korelasyonlar (0-30 cm)	228
Ek-8. Doğrudan ekimde farklı sulama uygulamalarında toprak parametreleri arasındaki korelasyonlar (0-30 cm).....	229
Ek-9. Geleneksel toprak işlemede farklı sulama uygulamalarında toprak parametreleri arasındaki korelasyonlar (30-60 cm)	230
Ek-10. Doğrudan ekimde farklı sulama uygulamalarında toprak parametreleri arasındaki korelasyonlar (30-60 cm).....	231
Ek-11. Geleneksel toprak işlemede farklı sulama uygulamalarında toprak parametreleri arasındaki korelasyonlar (60-90 cm)	232
Ek-12. Doğrudan ekimde farklı sulama uygulamalarında toprak parametreleri arasındaki korelasyonlar (60-90 cm).....	233
Ek-13. pH varyans analizi.....	234
Ek-14. Elektriksel iletkenlik (EC) varyans analizi	235
Ek-15. $CaCO_3$ varyans analizi	236
Ek-16. Organik madde varyans analizi.....	237
Ek-17. Organik karbon varyans analizi	238
Ek-18. Toprakta toplam azot (TN) varyans analizi	239
Ek-19. Alınabilir fosfor (P_2O_5) varyans analizi	240
Ek-20. Alınabilir potasyum (K_2O) varyans analizi.....	241
Ek-21. Değişebilir Ca varyans analizi	242
Ek-22. Değişebilir Mg varyans analizi	243
Ek-23. Değişebilir Na varyans analizi	244
Ek-24. Değişebilir K varyans analizi.....	245
Ek-25. Katyon değişim kapasitesi (KDK) varyans analizi	246
Ek-26. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) varyans analizi	247
Ek-27. Toprakta B varyans analizi	248
Ek-28. Toprakta Fe varyans analizi	249
Ek-29. Toprakta Cu varyans analizi	250
Ek-30. Toprakta Mn varyans analizi.....	251
Ek-31. Toprakta Zn varyans analizi.....	252
Ek-32. Toprakta Pb varyans analizi.....	253
Ek-33. Toprakta Cd varyans analizi	254

Ek-34. Toprakta Cr varyans analizi	255
Ek-35. Toprakta Ni varyans analizi	256
Ek-36. Tarla kapasitesi varyans analizi	257
Ek-37. Solma noktası varyans analizi.....	258
Ek-38. Yarıyışlı su varyans analizi	259
Ek-39. Bitki boyu varyans analizi.....	260
Ek-40. Gövde çapı varyans analizi	260
Ek-41. Geleneksel toprak işlemede farklı sulama uygulamalarında bitki parametreleri arasındaki korelasyonlar	261
Ek-42. Doğrudan ekimde farklı sulama uygulamalarında bitki parametreleri arasındaki korelasyonlar.....	262
Ek-43. Silajlık verim varyans analizi.....	263
Ek-44. Kuru madde verimi varyans analizi	263
Ek-45. Suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM) varyans analizi	263
Ek-46. Asit deterjan lif (ADF) varyans analizi	264
Ek-47. Nötr deterjan lif (NDF) varyans analizi	264
Ek-48. Ham protein oranı varyans analizi	264
Ek-49. Bitkide N varyans analizi.....	265
Ek-50. Bitkide P varyans analizi.....	265
Ek-51. Bitkide Ca varyans analizi	265
Ek-52. Bitkide Mg varyans analizi	266
Ek-53. Bitkide Na varyans analizi	266
Ek-54. Bitkide K varyans analizi.....	266
Ek-55. Bitkide Fe varyans analizi.....	267
Ek-56. Bitkide Cu varyans analizi	267
Ek-57. Bitkide Mn varyans analizi	267
Ek-58. Bitkide Zn varyans analizi	268
Ek-59. Bitkide Pb varyans analizi.....	268
Ek-60. Bitkide Cd varyans analizi	268
Ek-61. Bitkide Cr varyans analizi.....	269
Ek-62. Bitkide Ni varyans analizi.....	269
Ek-63. Klorofil içeriği (SPAD) varyans analizi.....	269
Ek-64. Yaprak alan indeksi varyans analizi.....	270
Ek-65. Yaprak oransal su içeriği varyans analizi	270
Ek-66. Membran zararlanma varyans analizi	270
Ek-67. 2020 yılı CO ₂ salınımı t testi ve varyans analizi	271
Ek-68. 2021 yılı CO ₂ salınımı t testi ve varyans analizi.....	271

Ek-69. 2020 yılı H ₂ O salınımı t testi ve varyans analizi.....	272
Ek-70. 2021 yılı H ₂ O salınımı t testi ve varyans analizi.....	272
Ek-71. 2020 yılı toprak nemi (5 cm) t testi ve varyans analizi.....	273
Ek-72. 2021 yılı toprak nemi (5 cm) t testi ve varyans analizi.....	273
Ek-73. 2020 yılı toprak nemi (10 cm) t testi ve varyans analizi.....	274
Ek-74. 2021 yılı toprak nemi (10 cm) t testi ve varyans analizi.....	274
Ek-75. 2020 yılı toprak nemi (20 cm) t testi ve varyans analizi.....	275
Ek-76. 2021 yılı toprak nemi (20 cm) t testi ve varyans analizi.....	275
Ek-77. 2020 yılı toprak sıcaklığı (5 cm) t testi ve varyans analizi.....	276
Ek-78. 2021 yılı toprak sıcaklığı (5 cm) t testi ve varyans analizi.....	276
Ek-79. 2020 yılı toprak sıcaklığı (10 cm) t testi ve varyans analizi.....	277
Ek-80. 2021 yılı toprak sıcaklığı (10 cm) t testi ve varyans analizi.....	277
Ek-81. 2020 yılı toprak sıcaklığı (20 cm) t testi ve varyans analizi.....	278
Ek-82. 2021 yılı toprak sıcaklığı (20 cm) t testi ve varyans analizi.....	278
Ek-83. CO ₂ , H ₂ O, hava sıcaklığı ve farklı derinliklerde (5, 10 ve 20 cm) toprak sıcaklığı ile toprak nemleri arasındaki korelasyonlar.....	279
Ek-84. Birim alan başına CO ₂ salınımı varyans analizi.....	280
Ek-85. Birim ürün başına CO ₂ salınımı varyans analizi.....	280
ÖZGEÇMİŞ.....	281

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.	Arıtılmış atık sularda risk unsuru bazı önemli patojen ve kimyasal maddeler (WHO 2006).....	8
Tablo 2.	Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Anonim 2008).....	15
Tablo 3.	Toprakta izin verilebilir ağır metal miktarları (Anonim 2010b).....	17
Tablo 4.	Sulama suyu kalitesi değerlendirme ölçütleri (Anonim 2010a).....	18
Tablo 5.	Sulama sularında izin verilebilir ağır metal miktarları (Anonim 2010a).....	18
Tablo 6.	Damla sulama yönteminde tıkanmayı etkileyen su kalite kriterleri (Anonim 2010a).....	19
Tablo 7.	Van ili uzun yıllar (Anonim 2021) ve deneme alanı 2020 ile 2021 yılları vejetasyon periyodu iklim verileri.....	53
Tablo 8.	Tarla toprağının deneme öncesi fiziksel ve hidrolik özellikleri.....	56
Tablo 9.	Tarla toprağının deneme öncesi kimyasal özellikleri.....	56
Tablo 10.	Tarla toprağının deneme öncesi mikro element ve ağır metal içerikleri.....	56
Tablo 11.	Sulama sularının deneme yıllarında kalite analiz sonuçları.....	83
Tablo 12.	2020 yılında aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları (mm).....	87
Tablo 13.	2021 yılında aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları (mm).....	87
Tablo 14.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında su verimliliği (WP) değerleri (kg/m^3).....	94
Tablo 15.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında sulama suyu verimliliği (WP_{irrig}) değerleri (kg/m^3).....	94
Tablo 16.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında tane yoğunluğu değerleri.....	98
Tablo 17.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında kütle yoğunluğu değerleri (g/cm^3).....	99
Tablo 18.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında porozite değerleri (%).....	100
Tablo 19.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında agregat stabilitesi değerleri (%).....	101
Tablo 20.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında pH değerleri.....	104
Tablo 21.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında elektriksel iletkenlik (EC) değerleri (dS/m).....	105
Tablo 22.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında CaCO_3 içerikleri (%).....	106
Tablo 23.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında organik madde içerikleri (%).....	108
Tablo 24.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında organik karbon içerikleri (%).....	109
Tablo 25.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toplam azot (TN) içerikleri (%).....	112

Tablo 26.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında alınabilir fosfor (P_2O_5) içerikleri (kg/da).....	113
Tablo 27.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında alınabilir potasyum (K_2O) içerikleri (kg/da).....	114
Tablo 28.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir Ca içerikleri (cmol/kg).....	117
Tablo 29.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir Mg içerikleri (cmol/kg).....	118
Tablo 30.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir Na içerikleri (cmol/kg).....	119
Tablo 31.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir K içerikleri (cmol/kg).....	120
Tablo 32.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri (cmol/kg).....	122
Tablo 33.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri (%).....	123
Tablo 34.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta B içerikleri (mg/kg).....	126
Tablo 35.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Fe içerikleri (mg/kg).....	127
Tablo 36.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Cu içerikleri (mg/kg).....	128
Tablo 37.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Mn içerikleri (mg/kg).....	129
Tablo 38.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Zn içerikleri (mg/kg).....	130
Tablo 39.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Pb içerikleri (mg/kg).....	131
Tablo 40.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Cd içerikleri (mg/kg).....	132
Tablo 41.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Cr içerikleri (mg/kg).....	133
Tablo 42.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Ni içerikleri (mg/kg).....	134
Tablo 43.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında tarla kapasitesinde tutulan nem miktarları (P_w).....	137
Tablo 44.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında solma noktasında tutulan nem miktarları (P_w).....	138
Tablo 45.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında yarıyışlı su miktarları (mm).....	139
Tablo 46.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki bitki boyları (cm).....	141
Tablo 47.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki gövde çapları (mm).....	142

Tablo 48.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki silajlık ot verimleri (kg/da).....	144
Tablo 49.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki kuru madde verimleri (kg/da).....	145
Tablo 50.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki suda çözünür kuru madde miktarları (SÇKM) (°Brix).....	146
Tablo 51.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki asit deterjan lif (ADF) değerleri (%).....	148
Tablo 52.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki nötr deterjan lif (NDF) değerleri (%).....	148
Tablo 53.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki ham protein oranları (%).....	149
Tablo 54.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki azot (N) içerikleri (%).....	152
Tablo 55.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki fosfor (P) içerikleri (mg/kg).....	152
Tablo 56.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Ca içerikleri (mg/kg).....	152
Tablo 57.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Mg içerikleri (mg/kg).....	153
Tablo 58.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Na içerikleri (mg/kg).....	153
Tablo 59.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki K içerikleri (mg/kg).....	153
Tablo 60.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Fe içerikleri (mg/kg).....	154
Tablo 61.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Cu içerikleri (mg/kg).....	154
Tablo 62.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Mn içerikleri (mg/kg).....	154
Tablo 63.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Zn içerikleri (mg/kg).....	155
Tablo 64.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Pb içerikleri (mg/kg).....	155
Tablo 65.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Cd içerikleri (mg/kg).....	155
Tablo 66.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Cr içerikleri (mg/kg).....	156
Tablo 67.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Ni içerikleri (mg/kg).....	156
Tablo 68.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki klorofil içerikleri (SPAD).....	158
Tablo 69.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki yaprak alan indeksleri.....	159

Tablo 70.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki yaprak oransal su içerikleri (%).....	160
Tablo 71.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki membran zararlanma değerleri.....	161
Tablo 72.	2020 yılında farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında CO ₂ ve H ₂ O salınımları ile toprak nemi ve toprak sıcaklıkları.....	170
Tablo 73.	2021 yılında farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında CO ₂ ve H ₂ O salınımları ile toprak nemi ve toprak sıcaklıkları.....	171



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Türkiye’de yıllara göre kişi başına düşen kullanılabilir su miktarları.....	2
Şekil 2.	Dünyada ve farklı kıtalarda tatlı suyun kentsel, endüstriyel ve tarım alanlarında kullanım oranları (FAO 2020).....	3
Şekil 3.	Ülkelerin tarım sektöründe su kullanım yüzdeleri (Moghaddam <i>et al.</i> 2017).....	3
Şekil 4.	Bazı ülkelerin arıtılmış ve arıtılmamış atık suyla sulanan arazi miktarları (Jimenez and Asano 2008).....	11
Şekil 5.	Türkiye’nin temel sera gazı salınımı miktarları (TUIK 2018).....	37
Şekil 6.	Türkiye’nin sektörlere göre sera gazı salınımı miktarları (TUIK 2018).....	37
Şekil 7.	Deneme alanının konumu ve deneme tarlasının yetiştirme öncesi uydu görüntüsü.....	51
Şekil 8.	Deneme tarlasının yetiştirme dönemi uydu ve drone görüntüsü.....	52
Şekil 9.	İklim istasyonu (İmetos 2).....	53
Şekil 10.	2020 ve 2021 yılları vejetasyon periyodunda deneme alanında ölçülmüş günlük yağış miktarları.....	54
Şekil 11.	Toprak örnekleme profili.....	55
Şekil 12.	Van ili merkez Edremit ilçesi atık su arıtma tesisi.....	57
Şekil 13.	Arıtılmış atık suyun deneme alanına taşınması.....	57
Şekil 14.	Arıtılmış atık suyun deneme alanına taşınıp sulama öncesi depolanması.....	58
Şekil 15.	Atık su arıtma tesisinin ön çökeltim ve havalandırma havuzları.....	58
Şekil 16.	Damla sulama sistemi ve su depolama tankları.....	59
Şekil 17.	Deneme planı.....	60
Şekil 18.	Toprak işleme-ekim uygulamaları.....	62
Şekil 19.	Hasat olgunluğuna gelmiş silajlık mısırlar.....	62
Şekil 20.	Silajlık mısır için bitki katsayıları (k_c).....	63
Şekil 21.	Sulama periyotlarında ET_o , ET_c ve yağış değerleri.....	64
Şekil 22.	Su örneklerinde (a) toplam azot, (b) toplam fosfor ve (c) katyon, mikro element ve ağır metal analizleri.....	67
Şekil 23.	Su örneklerinde (a ve b) biyolojik oksijen ihtiyacı ve (c) kimyasal oksijen ihtiyacı analizleri.....	68
Şekil 24.	Su örneklerinde (a) Cl, (b) askıda katı madde ve (c) fekal koliform analizleri.....	68
Şekil 25.	Etiketlenmiş toprak örnekleri.....	70
Şekil 26.	Toprak örneklerinde kütle yoğunluğu analizi.....	70
Şekil 27.	Toprak örneklerinde agregat stabilitesi analizi.....	71
Şekil 28.	Toprak örneklerinde organik madde analizi.....	71
Şekil 29.	Toprak örneklerinde toplam azot analizi.....	72
Şekil 30.	Toprak örneklerinde alınabilir potasyum analizi.....	72
Şekil 31.	Toprak örneklerinde değişebilir katyonların analizi.....	73
Şekil 32.	Toprak örneklerinde mikro element ve ağır metallerin analizi.....	73

Şekil 33.	Toprak örneklerinde tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nemin belirlenmesi.....	74
Şekil 34.	Bitkide (a) boy ve (b) gövde çapı ölçümleri.....	74
Şekil 35.	Bitki örneklerinde (a) suda çözünür kuru madde miktarı ile (b ve c) ADF ve NDF analizleri.....	75
Şekil 36.	Bitki örneklerinde azot analizleri.....	76
Şekil 37.	Bitki örneklerinde makro-mikro besin element ve ağır metallerin analizi.....	76
Şekil 38.	Bitkide SPAD ölçümü.....	77
Şekil 39.	Bitkide yaprak alan indeksi ölçümü.....	77
Şekil 40.	Bitkide yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi.....	78
Şekil 41.	Bitkide membran zararlanmanın belirlenmesi.....	78
Şekil 42.	EGM-5 gaz analizörü ile topraktan CO ₂ salınımı ölçümü.....	80
Şekil 43.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında 2020 yılında sulama öncesi toprak nem değişim trendleri (RAM: yarayışlı suyun % 40'ı).....	89
Şekil 44.	Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında 2021 yılında sulama öncesi toprak nem değişim trendleri (RAM: yarayışlı suyun % 40'ı).....	90
Şekil 45.	2020 ve 2021 yılları mevsimlik evapotranspirasyon değerleri.....	91
Şekil 46.	Deneme yıllarında CO ₂ salınımı ölçümleri sırasında kaydedilen hava sıcaklıkları.....	172
Şekil 47.	2020 yılında birim alan başına CO ₂ salınımları.....	181
Şekil 48.	2021 yılında birim alan başına CO ₂ salınımları.....	181
Şekil 49.	İki yılın ortalamasında birim alan başına CO ₂ salınımları.....	181
Şekil 50.	2020 yılında birim silajlık ot verimi başına CO ₂ salınımları.....	184
Şekil 51.	2021 yılında birim silajlık ot verimi başına CO ₂ salınımları.....	184
Şekil 52.	İki yılın ortalamasında birim silajlık ot verimi başına CO ₂ salınımları.....	184

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

ADF	: Asit detarjan lif
AKM	: Askıda katı madde
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
EC	: Elektriksel iletkenlik
ESP	: Değişebilir sodyum yüzdesi
I	: Sulama suyu miktarı
KDK	: Katyon değişim kapasitesi
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
LSI	: Langelier saturasyon indeksi
NDF	: Nötr deterjan lif
OC	: Organik karbon
OM	: Organik madde
P	: Yağış
RSC	: Kalıcı sodyum karbonat
SAR	: Sodyum adsorbsiyon oranı
SÇKM	: Suda çözünür kuru madde
TN	: Toplam azot
TP	: Toplam fosfor
WP	: Su verimliliği
WP_{irrig}	: Sulama suyu verimliliği

ΔS	: Toprak nem içeriğindeki değişim
atm	: Atmosfer basıncı
°C	: Santigrat derece
cmol	: Santimol
C_r	: Kapılar yükselme
dS	: Desisimens
D_w	: Derine sızma
ET_a	: Gerçek bitki su tüketimi
ET_c	: Bitki su tüketimi
ET_o	: Referans bitki su tüketimi
G_s	: Tane yoğunluğu
n	: Porozite
Ø	: Çap
R_f	: Yüzey akış
γ_t	: Kütle yoğunluğu
μ	: Mikron

GİRİŞ

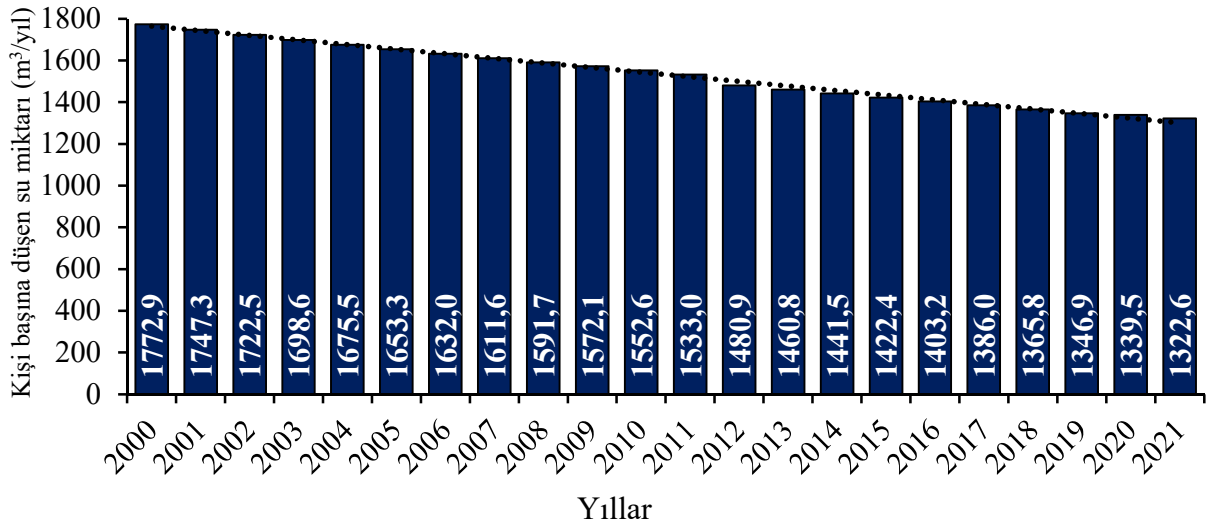
Su, çevresel ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilirliğinin yanı sıra tüm canlılık faaliyetlerinde yaşamın devamlılığını sağlayan vazgeçilmez kaynaklardan birisidir. Üçte ikisi suyla kaplı olan mavi gezegenimizin tatlı su miktarı tüm su miktarının % 2,5'i olup, bu suyun sadece % 0,3'ünün yaşamsal faaliyetler için kullanılabilir olduğu dikkate alındığında, tatlı suyun ne kadar önemli bir kaynak olduğu anlaşılmaktadır.

Su, ne kadar yenilenebilir özelliğe sahip bir kaynak olarak düşünülse de aslında sınırlı bir kaynaktır. Ayrıca nüfus artışı, plansız şehirleşme ve sanayileşme, fosil yakıtların aşırı ve düzensiz tüketimi, bilinçsiz ve kontrolsüz tarımsal faaliyetler, ormansızlaşma ve çevreye olan duyarlılık gibi antropojenik etkilerden dolayı bu sınırlı kaynağın yeterliliği gün geçtikçe baskılanmaktadır (Cakmak *et al.* 2007; Sahin *et al.* 2016; Song *et al.* 2018; Tüfenkçi vd 2021; Yerli and Sahin 2022). Birçok araştırma, yakın gelecekte su kıtlığının önemli seviyede artacağı, su savaşlarının yaşanabileceği, üretimde aksamalar olacağı ve ekonomik açıdan çeşitli problemlerin ortaya çıkacağı yönünde birbirine benzer düşünceleri açıklamaktadır (Calzadilla *et al.* 2011; Ercin and Hoekstra 2014; Hoekstra 2014). Hanjra and Qureshi (2010), 2025 yılında yaklaşık üç milyar insanın su ve gıda yoksulluğu yaşayacağını bildirmişlerdir. Burak and Margat (2016), 2050 yılında küresel ölçekte su talebinin 2010 yılıyla kıyaslandığında % 23 ile % 42 aralığında artacağını belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada da, 2050 yılındaki nüfusun gıda ihtiyacını karşılamak için var olan su miktarının % 53 ve tarımsal üretim amaçlı arazilerin ise % 38 artırılması gerektiği ifade edilmiştir (Mancosu *et al.* 2015).

Günümüzde başta kurak ve yarı kurak bölgeler olmak üzere neredeyse dünyanın yarısına yakınında tatlı su yetersizliği büyük endişeler yaratmaktadır (Calzadilla *et al.* 2011). Artan dünya nüfusu ve küresel ısınmanın şiddeti bu endişeleri daha da artırmaktadır. Önümüzdeki yıllarda, 1,8 milyar insanın önemli düzeyde su kıtlığı olan ülke veya bölgelerde yaşayacağı, dünya nüfusunun üçte ikisinin farklı düzeylerde su kıtlığı problemleriyle karşı karşıya kalacağı yönünde yaklaşımlar yapılmaktadır (UN-Water/FAO 2007).

Birleşmiş milletler verilerine göre, Türkiye'nin 2050 yılında nüfusunun % 84'ünün kentsel alanlarda yaşayacağı belirtilmektedir (UN 2014). Türkiye'nin nüfusunun 2040 yılında 100 milyonu aşacağı (TÜİK 2022) ve kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1000 m³/yıl seviyelerine düşeceği tahmin edilmektedir. Mevcut durumda Türkiye'nin 2021 yılı nüfusu 84 680 273 kişidir (TÜİK 2022). Türkiye'nin yer altı suyu 18 milyar m³, yer üstü suyu 94 milyar

m³ olmak üzere toplamda kullanılabilir yıllık su potansiyeli 112 milyar m³ olarak belirtilmektedir (DSİ 2020). Bu verilere göre 2021 yılı itibariyle kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1322,6 m³'tür (Şekil 1). Uluslararası değerlendirme ölçeğine göre, Türkiye 2000'li yıllarının tümünde su sıkıntısı çeken bir ülke konumunda yer almakta ve devam eden azalış trendiyle de yakın gelecekte su fakiri bir ülke olacağı anlaşılmaktadır.

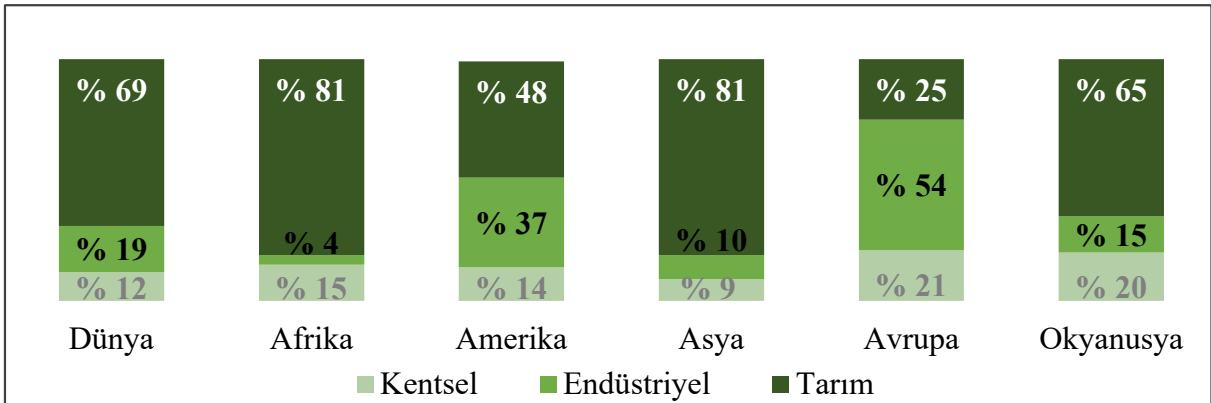


Şekil 1. Türkiye’de yıllara göre kişi başına düşen kullanılabilir su miktarları

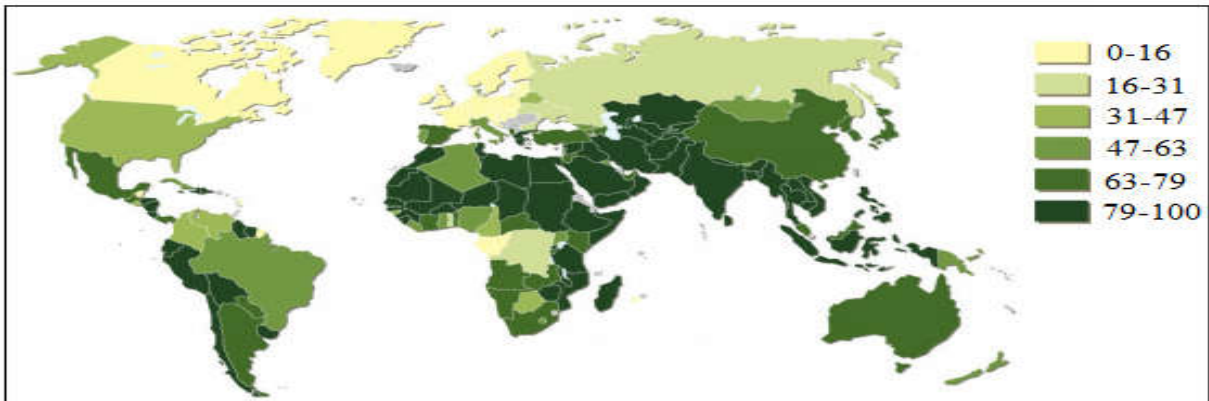
Küresel ısınma etkisiyle sıcaklıklardaki ve yağış miktarındaki trend değişimleri de hidrolojik dengelerin bozulmasına ve sonuçta tarımsal kuraklığın artmasına neden olmaktadır. Uluslararası iklim paneli verilerine göre, gelecekte sıcaklıklardaki artışın devam edeceği ve küresel ısınmanın etkisinin daha fazla hissedileceği ifade edilmektedir (IPCC 2007). Küresel ısınma etkisiyle tetiklenen iklim değişikliği süreci bu hızla artmaya devam ederse, tatlı su kaynaklarının bölgesel dağılımında önemli ölçüde değişimlerin yanında miktarında da önemli ölçüde azalmalar olacağı belirtilmektedir (Gerten *et al.* 2013).

Dünya Ekonomik Formu’nun 2015 yılı küresel risk raporunda günümüzün en büyük risk kaynağı olarak su temini krizi gösterilmiştir (World Economic Forum 2015). Hâlihazırda tatlı su kaynaklarının yetersiz olduğu bazı bölgelerde su talep ve temin dengesinin bozulmasına bağlı olarak üretimde problemler yaşanmaktadır (Jimenez *et al.* 2010a). Sınırlı su kaynaklarını etkili yönetme açısından havzalar arası su transferi ve sanal su ticareti gibi birçok senaryo önerilmekte olsa da (Mekonnen and Hoekstra 2014) bütün bunlar kısa vadeli, sürdürülebilirliği zayıf ve ekonomik olmayan yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle su kıtlığını yönetme amacıyla birçok ülke daha sürdürülebilir yaklaşımlar belirleme arayışı içerisine girmiş, bu kapsamda su talep yönetimi ve su tasarrufunun önemi giderek daha fazla fark edilmeye başlanmıştır (Winpenny *et al.* 2010).

Tarım, kentsel ve endüstriyel faaliyetlerle kıyaslandığında dünya tatlı su kullanımının % 69'una karşılık gelen bir oranla suyu en çok tüketen sektördür (Şekil 2) (FAO 2020). Gelişmekte olan ülkelerde bu oran daha da artarak % 79'ların üzerine çıkmaktadır (Şekil 3) (Moghaddam *et al.* 2017). UNESCO Dünya Su Değerlendirme Programı verilerine göre, tarımsal faaliyetlerde kullanılan suyun % 71'ini yüzey suları oluşturmaktadır (UNESCO-WWAP 2012).



Şekil 2. Dünyada ve farklı kıtalarda tatlı suyun kentsel, endüstriyel ve tarım alanlarında kullanım oranları (FAO 2020)



Şekil 3. Ülkelerin tarım sektöründe su kullanım yüzdeleri (Moghaddam *et al.* 2017)

Türkiye’de 24 milyon hektar ekilebilir tarım arazisinin ekonomik olarak sulanabilir miktarı 8,5 milyon hektar olup, bu alanın 2020 yılı itibariyle 6,65 milyon hektarı sulamaya açılmıştır. 2023 yılı itibariyle de 0,20 milyon hektar alanın daha sulamaya açılması hedeflenmektedir (DSİ 2020). Ancak, üretimde arz-talep dengesini sağlamak için tarım arazilerinin daha fazlasının sulanabilirliğinin sağlanması gıda üretimi ve ekonomik kalkınma stratejileri açısından büyük önem taşımaktadır.

Tatlı su kaynaklarının yetersizliği dikkate alındığında, tarımsal sulamada su tasarrufu yapılması ve atık sular gibi marjinal su kaynaklarının kullanılması bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Dünyada artan sektörel rekabete ve su talebine bağlı olarak atık sular

düşük maliyetli ve güvenilebilir alternatif bir kaynak olarak görülmektedir (Jimenez and Asano 2008). Tatlı su kaynaklarının yetersiz olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde sürdürülebilir tarımsal üretim için atık suların yeniden kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir (Gourbesville 2008).

Atık sular çeşitli kullanımlar neticesinde kirlenmiş, bu nedenle özellikleri de tatlı sulara göre kısmen veya tamamen değişmiş sulardır. Atık suların içerik olarak % 99 gibi çok büyük bir kısmını su, geriye kalan kısmını ise kolloidal ve çözünmüş katı partiküller oluşturmaktadır (UN 2014). Zengin organik madde ve besin içerikleriyle atık sular diğer sulardan ayrılmakta ve sulamada kullanımı ile verimi artırmaktadırlar (Becerra-Castro *et al.* 2015; Rivas *et al.* 2017). Böylece kimyasal gübre ihtiyacını azaltan atık sular, ekonomiye ve bertarafı yoluyla da çevresel sürdürülebilirliğe katkı sundukları gibi tatlı su kaynaklarının temiz kalmasını ve üzerindeki baskının hafifletilmesini de sağlamaktadırlar

Dünyada 20 milyon hektar tarım alanının atık sularla sulandığı bilinmektedir (Corcoran *et al.* 2010). Arıtılmamış atık suların doğrudan kullanımı canlı sağlığını tehdit etmenin yanında çevresel açıdan da çeşitli riskleri beraberinde getirdiğinden birçok ülkede endişe verici olarak değerlendirilmektedir (WHO 2006). Bu nedenle gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda atık suların arıtılmadan deşarj edilmemesi gerektiği ve ham haliyle tarımsal sulamada kullanılmaması zorunluluk haline getirilmiştir (Drechsel *et al.* 2002; Lavrnic *et al.* 2017).

Türkiye’de atık suların sulamada kullanımıyla ilgili birbirini teyit eden verilerin yetersizliği bu konuda çok fazla yol katedilemediğini de göstermektedir. Ancak WHO (2006) tarafından, ilerleyen süreçte Türkiye’de atık suların yeniden kullanımının en önemli konu haline geleceği belirtilmiştir. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğün bünyesinde “Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi” kapsamında da arıtılmış atık suların Türkiye’deki tüm havzalarda, tarımsal sulama başta olmak üzere, peyzaj amaçlı sulamalarda, sulak alanların beslenmesinde ve sanayide kullanım alternatiflerinin değerlendirilebileceği ve bu suların yıllık 3,2 milyar m³’ünün yeniden kullanılabileceği ifade edilmiştir (Anonim 2019).

Atık suların içeriğindeki besin kaynakları toprak ve bitki verimliliği açısından önemli olmasına rağmen, toprak tuzluluğu, besin deşarjı, ötrofikasyon, toprak ve bitkide patojen ve ağır metal kirliliğinin canlı sağlığını tehdit etmesi gibi nedenler atık suların kullanımını kısıtlamaktadır (WHO 2006; Toze 2006; Qadir and Scott 2010; Qadir *et al.* 2015). Ayrıca atık sularla sulamada toprakta organik karbon miktarındaki artış başta CO₂ salınımı olmak üzere sera gazı salınımlarını da artırmaktadır (Rosso and Stenstrom 2008; Thangarajan *et al.* 2012). Toprak verimliliğinin önemli bir göstergesi olan organik karbon toprağa uygulanan çeşitli

müdahalelerle daha fazla O₂ ile karşılaştığında CO₂ formuna dönüşerek atmosfere taşınmaktadır (Yerli vd 2019; Tüfenkçi vd 2021).

Sera gazı salınımlarının % 75'lik kısmı fosil yakıtların tüketilmesi, geriye kalan kısmı ise tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Houghton 2005; Pathak and Wassmann 2007; Tubiello *et al.* 2015; Vurarak ve Bilgili 2015). Başlıca sera gazlarından CH₄ ve N₂O'nin CO₂'den 21 ve 310 kat daha fazla küresel ısınmaya katkısı olmasına rağmen (Forster *et al.* 2007), CO₂'nin oransal olarak % 82'lik bir paya sahip olması onu en önemli sera gazı haline getirmiştir (Thangarajan *et al.* 2012). Tarımsal faaliyetlerden kaynaklı CO₂ salınımlarının büyük çoğunluğu topraklardan salınım yoluyla ortaya çıkmaktadır (Marland *et al.* 2001). Yoğun toprak işleme uygulamaları topraktaki organik karbonun oksidasyon sürecini hızlandırarak CO₂ salınımlarında artışa neden olmaktadır. Fakat koruyucu bir toprak işleme pratiği olan doğrudan ekim uygulamasıyla toprakta organik karbon korunumu hatta artışı sağlanarak CO₂ salınımları azaltılabilmekte ve toprak neminin de korunmasıyla bitki ile toprak verimliliğinde iyileşmeler desteklenmektedir. Ayrıca su tasarrufu sağlayan kısıntılı sulama uygulaması şeklinde kolay ve pratik bir yaklaşımla da CO₂ salınımları azaltılabilmektedir (Hou *et al.* 2020).

Bu çalışmada, arıtılmış evsel atık suların tarımsal sulamada kullanılarak geri kazanımıyla, atık suların deşarj problemlerinin çözülmesi, toprak ve bitki verimliliğinin artırılmasına katkılarının yanı sıra toprak işleme ve sulamadan kaynaklanan CO₂ salınımlarının azaltılması yollarının araştırılması birlikte amaçlanmıştır. Bu kapsamda yarı kurak iklime sahip Van ili koşullarında, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamaları altında, arıtılmış evsel atık suyun damla sulama yöntemiyle farklı sulama düzeylerinde önemli bir yem kaynağı olan silajlık mısırın sulamasında kullanımının bitkinin verim ve kalitesi ile toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerine etkileri iki yıl süreyle araştırılmıştır. Ayrıca farklı düzeylerde atık su kullanımıyla farklı toprak işleme-ekim uygulamalarından kaynaklı topraktan CO₂ salınımlarının ölçülmesi-izlenmesi-değerlendirilmesi de gerçekleştirilmiştir.

KURAMSAL TEMELLER

Atık Suların Tarımsal Önemi ve Riskleri

Atık sular çeşitli kullanımlar sonucu fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan kirlenmiş, içeriği zaman, mekân ve deşarj sektörlerine göre değişmiş olan sulardır. Atık sular askıda, koloidal ve çözünmüş halde organik bileşikler, proteinler, karbonhidratlar, yağlar, deterjanlar, üre ve fenoller gibi birçok çeşitli sentetik ve organik maddeleri içermektedirler (Çay 2013). Ortalama olarak bir evsel atık su % 40-60 protein, % 25-30 karbonhidrat ve % 10 lipid ihtiva etmektedir. Atık suların içerikleri iklimsel etmenlerden, bölgenin beslenme alışkanlıkları ve yaşam düzeylerinden, arıtım proseslerinden büyük oranda etkilenmektedir (Tan 2006). Tipik bir evsel atık suyun % 99'unu aşan çok büyük bir kısmının sudan oluştuğu dikkate alındığında, atık suların kirli bir su kaynağı olarak değerlendirilmemesi gerektiği belirtilmektedir (Aslan 2008).

Dünyada tarım için kullanılan su miktarının 3100 km³ olduğu tahmin edilmektedir. 2030 yılında bu rakamın 4500 km³'ü aşacağı öngörülmektedir (Anonymous 2012). FAO (2020), dünyada tarım faaliyetleri için toplam tatlı suyun % 69'unun kullanıldığını belirtmiştir (Şekil 2). Türkiye'de ise evsel, endüstriyel ve tarımsal amaçlı yıllık su tüketiminin 2020 yılının sonu itibarıyla 57,44 milyar m³'e ulaştığı ve bu suyun % 77'sinin tarımsal amaçlar için kullanıldığı belirtilmektedir (DSİ 2020). Artan su talebinin yanı sıra tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerdeki rekabet artışına bağlı olarak temiz ve iyi kalitedeki suların ekonomik değerinin artması, marjinal sulardan olan atık suları güvenilir ve ekonomik bir kaynak haline dönüştürmüştür (Çakmakcı vd 2016).

Su kaynaklarının kıt olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde atık suyla sulama, daha yüksek verim sağlamanın yanı sıra ekonomik değeri yüksek olan ürünlerin yetiştirilmesini de olanaklı kılabilir (Qadir *et al.* 2015). Çünkü atık su mevsimselliğe bağlı olmadan tüm yıl boyunca üretilen ve besin içeriği yüksek olan bir su kaynağıdır (Angelakis and Snyder 2015). Ham bir atık su arıtıldığında bile kimyasal bir gübreden daha fazla makro ve mikro besin elementlerini içerebilmektedir (Barreto *et al.* 2013; Qin and Horvath 2020). Ortalama standartta bir evsel atık suyla 1000 m³/ha sulama yapıldığında, hektara ortalama 16-62 kg azot, 4-24 kg fosfor ve 2-96 kg potasyum katkısı sağlanabilmektedir (Qadir *et al.* 2007). Bu nedenle atık suların sulamada kullanılmasıyla kimyasal gübrelere olan ihtiyaç azalmakta hatta tamamen ortadan kalkabilmektedir. Bu durum kimyasal gübre girdisini de azaltarak daha ekonomik bir

Üretim olanağı sağlamaktadır. Yapılan bir çalışmada, atık suyla sulamada gübre maliyetinden hektar başına 135 dolar tasarruf edildiği bildirilmiştir (Jimenez *et al.* 2010a). Yüksek organik ve inorganik içerikleriyle potansiyel bir besin kaynağı olan atık sular, toprak yapısını iyileştirip geliştirerek, bitkisel üretimde verim ve kalite artışı sağlamaktadırlar (Tunç 2013; Demir Dogan 2016; akmakc 2018). Ayrıca atık suların sulamada kullanılmasıyla deşarj problemlerinin de çözülmesi ikincil bir avantaj olarak değerlendirilebilir (Zema *et al.* 2012).

Atık sular besleyici özellikleri yanında çözünmüş tuzların yüksek miktarları, ağır metaller ve diğer bazı zararlı kimyasallar ile patojenler gibi olumsuz unsurları da içermektedirler. Bu nedenle toprak kalite özellikleri, bitkisel üretim ve insan sağlığı açısından birçok soruna da neden olabilmektedirler (Li *et al.* 2008). Yine atık suların organik karbonu yüksek miktarlarda içermesi de, atık suları topraklardan sera gazlarının daha fazla salınımları için bir kaynak haline getirmektedir (Xue *et al.* 2012; Gonzalez-Mendez *et al.* 2015). Bütün bu risklerden dolayı atık suyla sulamada ancak bitki, toprak, sulama sistemi ve insan sağlığı etkileri birlikte yönetildiğinde srdrlebilirlik sağlanabilir (Tunç 2013).

Atık sularda yüksek tuzluluk, uzun dönemli sulamalarda toprakların tuzluluk seviyesinin artmasına, böylece verim ve kalitenin azalmasına, ilerleyen süreçte toprakların oraklaşmasına neden olabilmektedir (Wen *et al.* 2018). Özellikle yüksek sıcaklık ve düşük neme sahip olan kurak bölgelerde toprak suyunun hızlı buharlaşmasından dolayı atık sularla sulamada toprakta tuz birikimlerinin oluşması ve toprak geçirgenliğinin azalması da önemli bir konu olarak değerlendirilmektedir (zen 2014). Ayrıca tuzların yer altı ve yer şt sularına taşınarak bu suların kalitesinin olumsuz etkilemesiyle de çevresel bir risk kaynağı ortaya çıkabilmektedir (Pereira *et al.* 2012).

Ağır metaller, ABD evre Koruma Ajansı tarafından öncelikli evre kirleticiler arasında değerlendirilmektedir (Yerli vd 2020). Ağır metaller ve diğer zararlı kimyasallar topraklardan bitkilere geçerek bitkilerde toksik etki oluşturabildiği gibi, patojen veya kimyasalların bitkilerde birikmesi, gıda zinciri yoluyla insanlara veya hayvanlara ulaşarak veya topraklarla doğrudan temasla insan ve hayvan vücuduna dahil olarak canlı sağlığı için olumsuzluklar oluşurmaktadırlar (Mapanda *et al.* 2005). Atık su kaynaklı hastalıklar kronik veya akut olabilmekle birlikte, uzun süreli atık suyla temas halinde doğrudan bulaşı etkisi de dikkate alındığında, hastalıkların şiddeti artmaktadır. Genel olarak evsel atık sularda, sanayi ve endüstri atıkları bulunmadığından, doğrudan canlı sağlığı üzerine etkileri daha sınırlı kalmaktadır (Agyei and Ensink, 2016). Sulamada kullanılan arıtılmış atık sularda risk oluşturan başlıca patojenler ve kimyasallar Tablo 1’de verilmiştir (WHO 2006).

Tablo 1. Arıtılmış atık sularda risk unsuru bazı önemli patojen ve kimyasal maddeler (WHO 2006)

Risk Tipi	Risk	Patojen veya kimyasal madde
Biyolojik	Bakteri	<i>E. coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp.
	Virüs	Hepatit A ve E, Adenovirüs, Rotavirüs, Norovirüs
	Helmint	<i>Ascaris</i> , <i>Ancylostoma</i> , <i>Tenia</i> spp.
	Protozoa	<i>Intestinal Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Entamoeba</i> spp.
	Sistozoma	Kan parazitleri
Kimyasal	Ağır metal	Arsenik, Kadmiyum, Civa
	Hidrokarbon	Dioksinler, Furanlar, Poliklorlu bifenil
	Pestisit	Aldrin, Diklorodifenil trikloroetanin

Atık suların içeriğinde bulunan ve bitkilerde toksik etki oluşturarak bitkisel verimi azaltabildiği gibi doğrudan bitkinin ölümüne de neden olabilen başlıca toksik iyonlar B, Cl ve Na olup, bor evsel atık sularda daha çok deterjanlar, Cl ve Na ise yumuşatıcılardan kaynaklı olarak ortaya çıkmaktadırlar. Toksisite etkisiyle bitkilerin genç yapraklarında yanıklık ve sararmalar, olgun yapraklarında ise dökülmeler görülmekte ve böylece fotosentezin yavaşlaması hatta durması söz konusu olabilmektedir (Talipoğlu 2012). Ayrıca toksisite etkisi gösteren Na gibi bazı kimyasallar toprakların geçirgenliklerinin azalmasına da neden olabilmektedirler (Warrington *et al.* 2007).

Atık suların içeriğinde bulunabilen bazı organizmalar sulama sistemlerinde tıkanmalara da neden olmaktadır. Sucul bir kısım bitkisel organizmalar yeterli besin koşullarında bir araya gelerek kolonileşmekte ve kapalı sulama sistemlerinde borularda, vanalarda, filtrelerde, damlatıcılarda veya yağmurlama başlıklarında tıkanmalara ve aşınmalara neden olabilmektedirler. Ayrıca bazı bakteriler de beslenme veya mikrobiyolojik faaliyetleri sırasında oluşturdukları yapışkanimsı mineral veya organik maddelerle sulama sistemlerinde tıkanmalara yol açabilmektedirler (Sahin *et al.* 2005; Bozkurt ve Ödemiş, 2007; Tunç 2013).

Dünyada Atık Suların Kullanımı

Atık sular tarih boyunca sulama amacıyla kullanılmış, eski dönemlerde yönetimi ve kullanımı herhangi bir kalite standardına tabi tutulmamıştır (Angelakis and Snyder 2015). Özellikle Yunan ile Roma medeniyetlerinde farklı bitkisel ürünlerin ve meyve ağaçlarının atık sularla sulandığı bilinmektedir (Tzanakakis *et al.* 2007). Dört bin yıl önce Girit'in Knossos kentinde atık suların yeniden kullanılmak üzere depolandığına dair kanıtlar bulunmuştur (Angelakis *et al.* 2005). Yine eski kayıtlardan 1500 ile 1700'lü yıllar arasında atık suların birçok bölgede arıtılmadan tarımsal alanlarda sulama suyu olarak değerlendirildiği görülmüştür. 1800'lü yılların başında Avrupa ve Amerika'da hızla büyüyen birçok şehirde atık sular toplanarak tarımsal sulama alanlarına aktarılmış ve bu kapsamda Paris'in bazı alanları atık

sularla sulanan ilk bölge olarak kayıtlara geçmiştir. 1800'lerin sonuna gelindiğinde atık sularla sulama amaçlı oluşturulan ilk tarım bölgesi Melbourne olmuştur (Tzanakakis *et al.* 2014).

Atık su arıtma teknolojileri kullanılmadan önce, birçok ülkede kentsel atık suların tarımsal alanlarda sulama ve gübreleme amacıyla kullandığı ve bu durumun bir tür arıtma sistemi olarak değerlendirildiği bilinmektedir (Drechsel *et al.* 2010). 19. yüzyılda arıtılmamış atık suların kentsel alanlardan açık sistemlerle taşınması kolera ve tifo gibi atık su kaynaklı birçok salgını tetiklemiştir. Bu süreç atık suların kullanımını belli bir süre kısıtlamış olsa da aynı yüzyılın ortalarında, kapalı sistemlerin gelişmesiyle başta Avrupa şehirleri olmak üzere birçok bölgede atık suların tekrar kullanımı yaygınlaşmıştır (Drechsel *et al.* 2010). İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra arıtılmış atık suyun sulama ve diğer amaçlarla kullanımı, atık su arıtma prosesleri ve yüzey üstü su kaynaklarının korunmasıyla ilgili teknik çalışmalar artış göstermeye başlamıştır (Scheierling *et al.* 2011). 2000'li yılların başına gelindiğinde tarım başta olmak üzere diğer sektörlerde de artan su talebi dünyanın çoğu bölgesinde sadece arıtılmış değil arıtılmamış ham atık suya bile kullanım alanı oluşturmuştur (Kamizoulis 2008).

Artan nüfus ve küresel ısınma tehdidiyle dünya tatlı su kaynakları üzerindeki baskının artması, ülkelerin su kaynakları üzerindeki endişe ve sorunlarını artırdığı için arıtılmış veya arıtılmamış atık suların birçok ülkede sulama amacıyla kullanımı artış göstermiştir. Yapılan bir çalışmaya göre, atık suyun yeniden kullanımının sağlandığı tesis sayısının en fazla olduğu ülkeler sırasıyla Japonya, Amerika ve Avustralya olmuştur. 2000'li yılların başında Akdeniz ve Orta Doğu ülkelerinde, 100 atık su arıtma tesisi yer alırken, Latin Amerika'da 50, Afrika'da ise 20 tesis olduğu bildirilmiştir (Wintgens *et al.* 2006).

UNESCO (2017) kayıtlarına göre, dünya genelinde atık suların % 80'den daha fazlası herhangi bir arıtma prosesi uygulanmadan doğrudan deşarj edilmektedir. Birçok gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkede atık sular arıtılmadan doğrudan sulama amacıyla kullanılmaktadır (Wintgens *et al.* 2006). Avrupa kıtasında tarımsal faaliyetlerde yıllık 963 milyon m³ arıtılmamış atık suyun kullanıldığı bilinmektedir (Bixio and Wintgens 2006). Winpenny *et al.* (2010), dünya genelinde sulanan tarım arazilerinin % 10'nunda atık suların kullanıldığını ve 50 ülkede toplam 20 milyon hektar tarım arazisinin arıtılmamış veya kısmen arıtılmış atık sularla sulandığını bildirmişlerdir. Küresel ölçekte, tarım arazilerinde arıtılmamış atık su kullanımı, sulanan tüm alanların % 11'ini oluşturmaktadır (Thebo *et al.* 2017). Dünya nüfusunun sadece % 10'unun atık su bulaşmamış kaynak kullanılmadan üretilen gıdaları tükettiği tahmin edilmektedir (WHO 2006).

Yapılan tahminlere göre, dünyada sulama amacıyla arıtılmamış atık suyun kullanımı önemli bir farkla arıtılmış atık suyun kullanımından daha fazladır. Özellikle ekonomisi zayıf

düşük gelirli ülkelerde atık suyla sulama plansızdır. Sulamalar yüksek derecede kirlenmiş nehirler, dereler veya doğrudan arıtılmamış atık sularla yapılmaktadır (Scott *et al.* 2010). Dünyada sulu tarım alanlarında yetiştirilen ürünlerin % 10'unun ham ve arıtılmadan doğrudan kanalizasyon borularından tarlalara aktarılan sularla sulandığı tahmin edilmektedir (Pearce 2004).

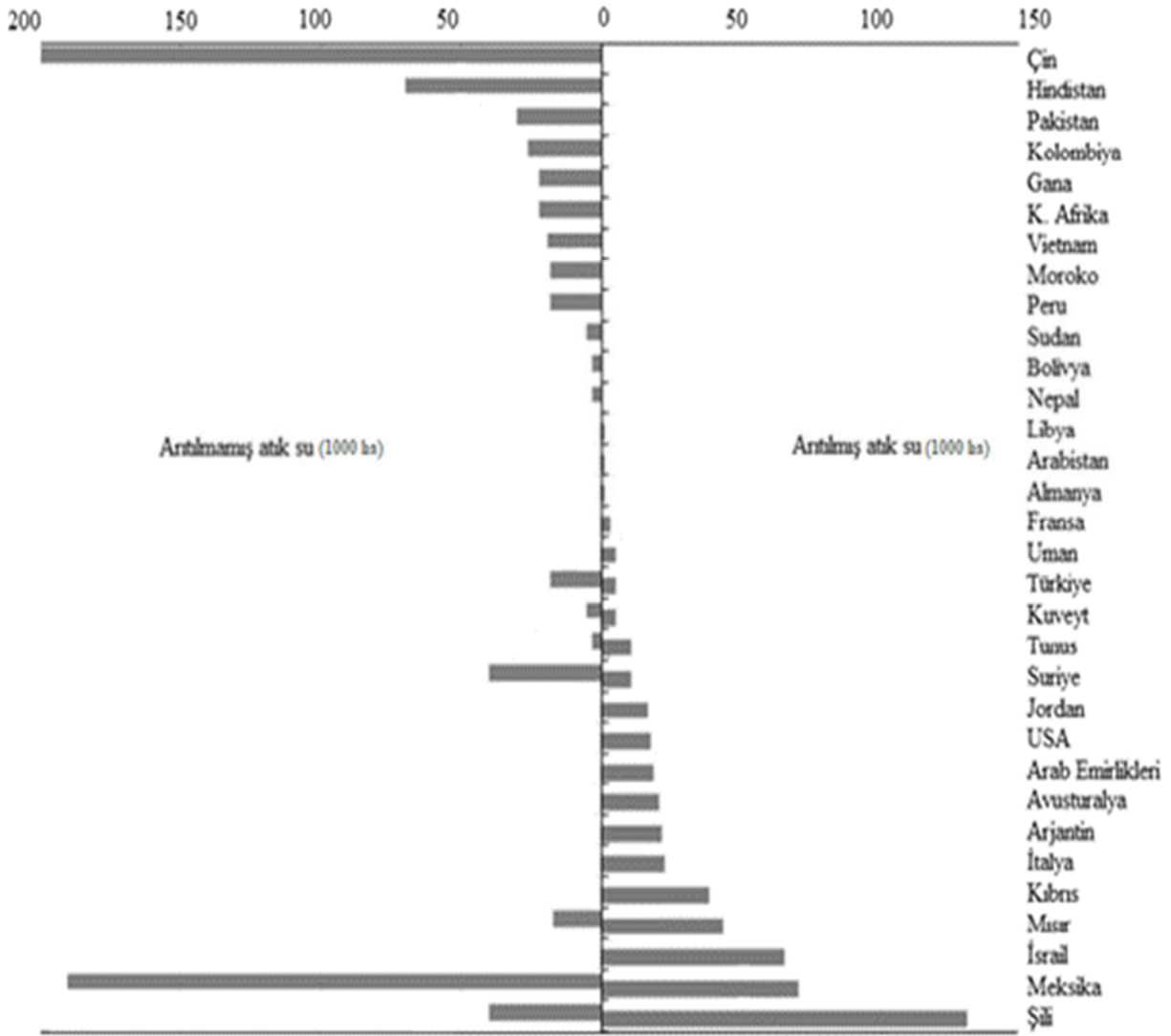
Çoğu ülkede arıtılmamış atık suyun sulamada kullanımı yasaklanmış olsa da düşük gelirli çiftçiler, yer altı suyu tuzluluk problemleri, suya ulaşım güçlüğü ve ekonomik sebeplerden dolayı arıtılmamış atık suyla sulama yapmaktadırlar (Wichelns *et al.* 2015). Bazı düşük gelirli ülkeler, kullanımı yasal olmamasına rağmen, ham atık suları sulama amacıyla kullanmaktadırlar (Huibers *et al.* 2005). Peru'da pamuk, sebze ve yem bitkileri gibi birçok bitkinin sulaması ham atık sularla yapılmaktadır (Jimenez and Asano 2008). Asya, Amerika ve Afrika'da da bazı düşük gelirli çiftçilerin arıtılmamış atık suyu sulama amacıyla kullandığı bilinmektedir (Drechsel *et al.* 2010). Asya, Latin Amerika ve Afrika'daki bazı az gelişmiş ve düşük gelirli ülkelerde, atık su herhangi bir arıtma yapılmadan sulamada kullanılmaktadır. Ancak genel olarak orta gelirli ülkelerde atık sular arıtıldıktan sonra değerlendirilmektedir (Jimenez 2006). Hindistan'da da atık sular temiz sularla çok az miktarda seyreltilerek ya da doğrudan sulama amacıyla kullanıldığı bilinmektedir (Kaur *et al.* 2012).

Su kıtlığı yaşayan bazı Afrika ülkelerinde atık su sadece sulama amacıyla değil gübreleme amacıyla da değerlendirilmektedir (Winpenny *et al.* 2010). Hindistan'ın bazı bölgelerinde yer altı suyu kullanımında yüksek maliyetler nedeniyle, arıtılmamış atık sular açık kanallardan alınarak tarım arazilerinde hem sulama ve hem de gübreleme amacıyla kullanılmaktadır (Cornish and Kielen 2004). Yine Hindistan'da, çiftçilerin kurak sezonlarda daha fazla verim sağladığı ve ekonomik kazançlarını artırdığı için özellikle arıtılmamış atık suyu tercih ettikleri bilinmektedir (Jimenez *et al.* 2010b). Gana'nın birçok bölgesinde de arıtılmamış atık sular hiçbir önlem ve tedbir alınmadan doğrudan sulama veya gübreleme amacıyla kullanılmaktadır (Drechsel *et al.* 2006). Pakistan'ın en büyük şehirlerinden biri olan Faisalabad'da 2000 ha'dan daha fazla bir alanın arıtılmamış atık sularla sulandığı, buradaki çiftçilerin arıtılmamış atık suyu zengin besin içeriği ve yüksek verim sağlamasından dolayı özellikle tercih ettikleri belirtilmiştir (Van der Hoek 2004). Pakistan'ın diğer bazı bölgelerinde de bitkisel üretimin % 30'u, yaklaşık 32 500 ha tarım arazisi atık sularla sulama yapılarak yönetilmektedir (Ensink *et al.* 2004).

Küresel ısınma etkisindeki Ortadoğu ülkelerinde, hızlı nüfus artışı ve kırsaldan kentlere artan göç, ekonomik güçlükleri de beraberinde getirmiş, dolayısıyla oluşan atık suların hiçbir arıtım sürecine maruz bırakılmadan doğrudan deşarjı zorunlu bir hale gelmiştir. Böylece bu

ülkelerde alıcı ortamlara aktarılan arıtılmamış atık sular doğrudan olmasa da dolaylı olarak tarım arazilerinin sulamasında kullanılmaktadır (Sato *et al.* 2013).

Jimenez and Asano (2008), bazı ülkelerin arıtılmış ve arıtılmamış atık suyla sulanan arazi miktarlarını inceledikleri çalışmada, en fazla ham atık suyla sulanan arazilerin sırasıyla Çin, Meksika ve Hindistan'da olduğunu, en fazla arıtılmış atık suyla sulama yapılan arazilerin ise Şili, Meksika ve İsrail'de yer aldığı bilgisini vermişlerdir (Şekil 4).



Şekil 4. Bazı ülkelerin arıtılmış ve arıtılmamış atık suyla sulanan arazi miktarları (Jimenez and Asano 2008)

Gelişmiş ülkelerde hem atık su arıtma tesisi sayısı ve hem de arıtılan atık suyun hacmi daha fazladır. Dünya genelindeki arıtma tesisi sayısının % 80'i Avrupa'da konumlanan ülkelerde yer almaktadır. Fransa'da 800 000 km uzunluğunda kanalizasyon şebekesi ve 17 000'den daha fazla atık su arıtma tesisi bulunmaktadır (Khalid *et al.* 2018).

ABD'nin Kaliforniya eyaletinde arıtılan atık suların % 75'ten fazlası sulamada kullanılmaktadır (Aziz and Farissi 2014). Kaliforniya'da sebzeler, tahıllar ve çilek başta olmak

üzere 20'den fazla bitkisel ürünün sulaması arıtılmış atık sularla yapılmaktadır (Hamilton *et al.* 2007). ABD, Çin ve Avrupa ülkelerinde arıtılmış atık suyun % 10-29'u, Avustralya'da % 40'dan fazlası peyzaj ve bazı bitkisel ürünlerin sulamasında değerlendirilmektedir (Aziz and Farissi 2014).

Dünyada en fazla atık su hacmine sahip Çin'de, 3272 arıtma tesisinde günde 140 milyon m³ su arıtma proseslerine tabi tutulmaktadır (Kaur *et al.* 2012). Atık suyun Çin'de fazla olması Çin'in atık suyu sulama için tekrar kullanma potansiyelini artırmaktadır. Ancak Çin kentsel atık suyun yeniden kullanım ilkelerini benimsemiş olsa da, ulusal düzeyde gelişim gösterememiştir. Çin'de 1,3 milyon ha alan arıtılmış atık sularla sulanmaktadır (Scott *et al.* 2004).

Kuraklık problemi yaşayan Umman'da 1990'lı yıllardan beri atık sularla sulama yapılmaktadır. Umman'da arıtılmış atık suyun % 90'ı sulama amacıyla değerlendirilmektedir (EPA 2004). Kuraklık problemi yaşayan başka bir ülke olan Ürdün'de atık sularının sulamada kullanımına yönelik birçok yatırım yapılmaktadır (Talipoğlu 2012). Ürdün'de, 11 000 ha alan arıtılmış atık sularla sulanmakta ve ayrıca As-Samra isimli arıtma tesisinin arıtılmış çıkış suyu ile de 19 000 ağaçlık ormanlık bir alanın sulaması yapılmaktadır. Yine Ürdün'de, Ürdün-JUST ve Wadi Hassan projelerinde arıtılmış atık sular rezervuarlarda toplandıktan sonra yer altı, yer üstü ve kuyu sularına karıştırılarak 9 500 ha alanda meyve ağaçları ve yem bitkilerinin sulamasında kullanılmaktadır (Nazzal 2005).

Su kıtlığı yaşayan Kuveyt'te, başta yonca olmak üzere yem bitkilerinin yetiştirildiği 1 600 ha'lık tarım alanının üçüncül arıtmadan geçmiş atık sularla sulandığı bildirilmiştir (Arar 2006). Kuveyt'te arıtılmış atık suların yaklaşık % 33'ü tarımsal alanların sulamasında kullanılmakla beraber (Winpenny *et al.* 2010) son zamanlarda arıtılmış atık suyun peyzaj sulamalarında ve sanayide soğutma suyu olarak kullanımına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Kaur *et al.* 2012). Suyu kıt bölgelerden Sardinya adasında kuraklığın artan şiddeti tarımsal üretimi önemli derecede etkilediğinden, alternatif su kaynaklarının sulamada kullanımı önemli bir hale gelmiş, bu nedenle adanın güney kısmında 8 000 ha'a yakın tarım arazisinin sulamasının arıtma tesisi çıkış suyu ile yapıldığı ifade edilmiştir. Ayrıca izleyen yıllarda bu rakamın önemli düzeyde artış göstereceği de belirtilmiştir (Botti *et al.* 2009).

İsrail, arıtılmış atık suların sulamada kullanılmasında dünya liderliğine sahiptir. 2012 yılında atık sularla yapılan sulamaların neredeyse temiz suyla yapılan sulamalara eşit olduğu tahmin edilmektedir (Schacht *et al.* 2016). İsrail'de tarla bitkileri, meyve ağaçları, sebze ve kesme çiçek yetiştiriciliği yapılan 16 000 ha alanda arıtılmış atık sularla sulama yapılmaktadır (Yurtseven vd 2010). İsrail genel olarak tarım alanlarının % 30'unu arıtılmış atık sularla sulama

yaparak yönetmekte ve atık sularla sulanan alanın 2025 yılında tüm sulanan alanın % 80'ine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Bozkurt ve Ödemiş 2007).

Kıbrıs'ta 38 500 ha alanda çeşitli ürünlerin sulamasında arıtılmış atık sular kullanılmaktadır (Jimenez and Asano, 2008). Mısır'da arıtılmış atık suların Nil Nehri'ne deşarj edildiği ve buradan da sulama amacıyla çiftçiler tarafından alınarak kullanıldığı bilinmektedir (Guardiola-Claramonte *et al.* 2012).

Atık suyu oldukça iyi değerlendiren ve Kuzey Afrika'da bu konuda öncü olan Tunus'da arıtılmış atık sular belli rezervuarlarda toplandıktan sonra peyzaj ve tarımsal alanların sulamasında kullanılmaktadır. Arıtılmış atık suyun % 80'i meyve ağaçları, yem bitkileri, hububat ve bağ sulamalarında değerlendirilmektedir (Winpenny *et al.* 2010; Qadir *et al.* 2010).

İspanya arıtılmış atık sularının % 71'ini tarımsal, % 17'sini ise peyzaj ve rekreasyon amaçlı kullanmaktadır (Sato *et al.* 2013). Fransa 3000 ha'dan fazla alanı, İtalya ise 29 000 ha'a yakın alanı arıtılmış atık sularla sulama yaparak yönetmektedir (Jimenez and Asano 2008). Ayrıca Avrupa ülkelerinde arıtılmış atık suyun yarısına yakını sulama amacıyla değerlendirilmekte ve son zamanlarda arıtılmış atık suyun farklı amaçlar için de değerlendirilmesine yönelik proje ve yatırımlar yönünden gelişmeler gerçekleşmiştir (Sato *et al.* 2013).

İsveç yüksek tatlı su miktarına sahip bir ülke olmasına rağmen yine de arıtılmış atık suyun sulamada kullanım amacına yönelik büyük yatırımlar yapmıştır (EPA 2004). Japonya'da artan nüfus ve kuraklık, peyzaj ile tarım alanlarının sulamasında, tuvaletlerde, rekreasyon ve sanayi-endüstri alanlarında arıtılmış atık suyun kullanımını zorunlu kılmıştır. Japonya'da atık suyun arıtım prosesleri üzerine çalışmalara ve atık suyun arazilere nakil ve dağıtım maliyetlerini azaltmaya yönelik projelere eğilim artmıştır (Suzuki *et al.* 2011). Brezilya Sao Paulo Havalimanı'nda da arıtılmış atık suların % 43'ü tuvaletlerde ve soğutma sistemlerinde, peyzaj sulama alanlarında, uçakların ve zeminlerin yıkanması işlemlerinde kullanılmaktadır (EPA 2004).

Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler artan nüfus ve küresel ısınmanın etkisiyle oluşan su kıtlığının farkında olup, önlem ve tedbirler geliştirme yönünde adımlar atmışlardır. Bu durum, temiz su kaynaklarının korunmasının, atık suyun tekrar değerlendirilmesinin ve çevresel sürdürülebilirliğin önemini göstermekle beraber atık suyun sulamada kullanılmasıyla gerçekleşen bitki ve toprak verimindeki yansımaların da birer etkisi olarak değerlendirilebilir.

Türkiye’de Atık Suların Arıtımı, Potansiyeli ve Kullanımı

Türkiye’de 2018 yılı verilerine göre 527 tanesi biyolojik, 206 tanesi doğal, 203 tanesi gelişmiş, 55 tanesi fiziksel olmak üzere toplam 991 arıtma tesisi bulunmaktadır. 2018 yılında toplam atık suyun % 88,3’ünün arıtıldıktan sonra deşarjı sağlanmış ve 4,2 milyar m³ arıtılmış atık suyun % 46,9’u akarsulara, % 40,7’si denizlere, % 12,4’ü göl, gölet, baraj, arazi ve diğer alanlara (fotoseptik, zerkemine vb.) deşarj edilmiştir. Belediyeler tarafından deşarj edilen kişi başı günlük ortalama atık su miktarı 188 litre olarak belirtilmiştir (TUİK 2018).

Türkiye’nin yıllık arıtılan atık su potansiyeli bakımından en büyük arıtılmış atık su hacmine sahip 15. ülke olması dikkate alındığında (Jimenez and Asano 2008), Türkiye’de arıtılmış atık sularla tarım alanlarının sulama ihtiyacının büyük bir kısmının karşılanmasını sağlayacak bir potansiyelden bahsedilebilir. Türkiye’nin tarımsal alanlarında atık suyun sulama amacıyla kullanımı konusunda sayısal verilerin yetersizliğiyle beraber geri kazanılan su miktarının doğrudan ve dolaylı yollardan % 72’sinin tarımsal alanlarda kullanıldığı tahmin edilmektedir (Aslan 2008). Dünya Sağlık Örgütü de, yakın gelecekte artan küresel su baskısından dolayı Türkiye’de atık suların yeniden kullanımının önemli bir konu haline geleceğini belirtmiştir (WHO 2006).

Türkiye’de arıtılmış atık suların bir su kaynağına deşarj edildikten sonra sulamada kullanımı yaygın olup, doğrudan atık suların sulamada kullanımı 2000’li yılların başında gündeme gelmiştir (Saraoğlu 2014). Eskişehir’de porsuk nehrine deşarj edilen arıtılmış atık sularla 50 000 ha alanın sulandığı, yine benzer şekilde İzmir’de Gediz Ova’sının ve Aksaray, Ankara, Kayseri, Adana, Konya-Ilgın, Nevşehir-Ürgüp’de de bir kısım alanların atık sularla sulandığı bilinmektedir. Ayrıca Gaziantep’de de 80 000 ha tarım arazisinin arıtılmış atık sularla sulandığı bildirilmiştir (Kaplan 2010).

Türkiye’nin turistik kıyı bölgelerinde, arıtılmış atık sular peyzaj alanlarının sulamasında kullanılmaktadır (Saraoğlu 2014). Aydın ve Balıkesir illerinin bazı turistik ilçelerinde oteller ve yazlık konutların peyzaj ile bahçe alanlarında yaz aylarında arıtılmış atık sularla sulama yaygın bir şekilde yapılmaktadır (Duman 2017).

Konya havzasında atık sular tarımsal sulama amacıyla kullanılmakla beraber yerel belediyeler tarafından da arıtılmış atık sular peyzaj alanlarının sulanması aşamasında değerlendirilmektedir. Konya’da her yıl 528 000 m³ arıtılmış su yeniden değerlendirilmekle beraber pilot ölçekte atık suların geri kazanım çalışmalarıyla ilgili birçok proje de hazırlanmıştır (Küçükhemek 2010, Duman 2017).

Türkiye’de şeker ve kağıt fabrikalarının çıkış suları da tarımsal sulamalarda kullanılmaktadır (Saraoğlu 2014). Ayrıca Aksaray’da sanayi ve endüstri çıkış sularının da sulamada kullanıldığı bilinmektedir. İstanbul’da her yıl 7,5 milyon m³ geri kazanılmış atık su park, bahçe, golf sahalarının sulaması ve sanayi sektöründe proses ve soğutma suyu olarak değerlendirilmektedir (Duman 2017).

Türkiye’de atık suların kullanımıyla ilgili yönetmelik ve tebliğler

Türkiye’de arıtılmış atık suların sulamada kullanımına yönelik birçok yasal düzenleme yapılmıştır. Bunların ilki 07.01.1991 tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmış olan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin Uygulanmasına Dair Teknik Usuller Tebliği”dir. Sonrasında 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmış olan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”dir. Bu yönetmeliğin 28. maddesinde su kıtlığı olan bölgelerde “Su Kirliliği Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği”ndeki sulama suyu kalite kriterlerine uyulduğu takdirde arıtılmış atık suların sulamada kullanımına izin verilmiştir. Yine bahsi geçen tebliğde evsel ve endüstriyel atık su deşarj usulleri, atık suların toplanması ve bertaraf edilmesi, kalite sınıflandırması, atık suların zararını azaltmada alınabilecek önlemler ve bunların izlenmesi, raporlanması ve denetlenmesiyle ilgili esas ve yasamalara da yer verilmiştir. 08.11.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmış olan “Kentsel Atık Su Arıtım Yönetmeliği”nde de atık suların arıtılması, deşarjı ve bunların izlenmesi, raporlanması ve denetlenmesiyle ilgili esas ve usuller belirtilmiştir. 13.02.2008 tarih ve 26786 sayılı Resmi Gazete’de de “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nde değişiklik yapılmış ve “Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri”ne yer verilmiştir (Tablo 2) (Anonim 2008).

Tablo 2. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Anonim 2008)

Su kalite parametreleri	Su kalite sınıfları			
A. Fiziksel-inorganik-kimyasal	I	II	III	IV
1. Sıcaklık	25	25	30	>30
2. pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6-9 dışında
3. Çözünmüş oksijen (mg O ₂ /l) ^a	8	6	3	<3
4. Oksijen doygunluğu (%) ^a	90	70	40	<40
5. Klorür iyonu (mg Cl/l)	25	200	400 ^b	>400
6. Sülfat iyonu (mg SO ₄ /l)	200	200	400	>400
7. Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/l)	0,2 ^c	1 ^c	2 ^c	>2
8. Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/l)	0,002	0,010	0,05	>0,05
9. Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/l)	5	10	20	>20
10. Toplam fosfor (mg PO ₄ ⁻³ -P/l)	0,02	0,16	0,65	>0,65
11. Toplam çözünmüş madde (mg/l)	500	1500	5000	>5000
12. Renk (Pt-Co birimi)	5	50	300	>300
13. Sodyum (mg Na ⁺ /l)	125	125	250	>250

Tablo 2. Kıtaiçi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (devam)

B. Organik parametreler				
1. KOİ (mg/l)	25	50	70	>70
2. BOİ (mg/l)	4	8	20	>20
3. Toplam organik karbon (mg/l)	5	8	12	>12
4. Toplam Kjeldahl-azotu (mg/l)	0,5	1,5	5	>5
5. Yağ ve gres (mg/l)	0,02	0,3	0,5	>0,5
6. Metilen mavisi aktif madde (mg/l)	0,05	0,2	1	>1,5
7. Fenolik maddeler (uçucu) (mg/l)	0,002	0,01	0,1	>0,1
8. Mineral yağlar ve türevleri (mg/l)	0,02	0,1	0,5	>0,5
9. Toplam pestisid (mg/l)	0,001	0,01	0,1	>0,1
C. İnorganik kirlenme parametreleri^d				
1. Civa (µg Hg/l)	0,1	0,5	2	>2
2. Kadmiyum (µg Cd/l)	3	5	10	>10
3. Kurşun (µg Pb/l)	10	20	50	>50
4. Arsenik (µg As/l)	20	50	100	>100
5. Bakır (µg Cu/l)	20	50	200	>200
6. Krom (toplam) (µg Cr/l)	20	50	200	>200
7. Krom (µg Cr ⁺⁶ /l)	*	20	50	>50
8. Kobalt (µg Co/l)	10	20	200	>200
9. Nikel (µg Ni/l)	20	50	200	>200
10. Çinko (µg Zn/l)	200	500	2000	>2000
11. Siyanür (toplam) (µg CN/l)	10	50	100	>100
12. Florür (µg F ⁻ /l)	1000	1500	2000	>2000
13. Serbest klor (µg Cl ₂ /l)	10	10	50	>50
14. Sülfür (µg S ⁻ /l)	2	2	10	>10
15. Demir (µg Fe/l)	300	1000	5000	>5000
16. Mangan (ug Mn/l)	10	200	3000	>3000
17. Bor (µg B/l)	1000 ^e	1000 ^e	1000 ^e	>1000
18. Selenyum (µg Se/l)	10	10	20	>20
19. Baryum (µg Ba/l)	1000	2000	2000	>2000
20. Alüminyum (µg Al/l)	0,3	0,3	1	>1
21. Radyoaktivite (pCi/l)				
Alfa-aktivitesi	1	10	10	>10
Beta-aktivitesi	10	100	100	>100
D. Bakteriyolojik parametreler				
1. Fekal koliform (EMS/100 ml)	10	200	2000	>2000
2. Toplam koliform (EMS/100 ml)	100	20 000	100 000	>100 000

(a)- Konsantrasyon veya doygunluk yüzdesi parametrelerinden sadece birisinin sağlanması yeterlidir.

(b)- Klorüre karşı hassas bitkilerin sulanmasında bu konsantrasyon limitini düşürmek gerekebilir.

(c)- pH değerine bağlı olarak serbest amanyok azotu konsantrasyonu 0,02 mg değerini geçmemelidir.

(d)- Bu gruptaki kriterler parametreleri oluşturan kimyasal türlerin toplam konsantrasyonlarını vermektedir.

(e)- Bora karşı hassas bitkilerin sulanmasında kriteri 300 µg/L'ye kadar düşürmek gerekebilir.

(*)- Ölçülemeyecek kadar az miktarda.

27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı Resmi Gazete’de ‘‘Kentsel Atık Su Arıtım Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği’’ yayınlanmış ve bu tebliğde su alanlarının hassasiyetlerine göre izlenmesi, raporlanması ve denetlenmesi ile atık suların deşarj edilme usul ve esasları yer almıştır. Daha sonrasında 20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete’de ‘‘Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’’ yayınlanmıştır (Anonim 2010a). Bu tebliğe göre arıtılmış atık suların sulama amaçlı kullanıma uygunluğunu belirlemek için arıtılmış atık sularda, toplam katı madde ve çözünmüş maddelerin miktarının, elektriksel iletkenliğin, sodyum miktarının ve sodyumun diğer katyonlara oranının, bor, ağır metal ve toksik diğer maddelerin, organik madde yükü ile yağ ve gres gibi yüzücü maddelerin miktarının, patojenlerin ve bazı durumlarda kalsiyum ile magnezyumun toplam miktarının incelenmesi gerektiği belirtilmiştir.

08.06.2010 tarih ve 27605 sayılı Resmi Gazete’de ‘‘Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik’’ yayınlanarak, daha önce 31.05.2005 tarihinde yayınlanmış olan 25831 sayılı ‘‘Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’’ yürürlükten kaldırılmıştır.

03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete’de ‘‘Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik’’te topraklarda izin verilebilir ağır metal içerikleri için sınır değerler yer almaktadır (Tablo 3) (Anonim 2010b).

Tablo 3. Toprakta izin verilebilir ağır metal miktarları (Anonim 2010b)

Ağır metal	6 ≤ pH < 7	pH ≥ 7
	Fırın kuru toprak (mg/kg)	Fırın kuru toprak (mg/kg)
Bakır	50	100
Cıva	0,5	1
Çinko	150	200
Kadmiyum	1	1,5
Krom	60	100
Kurşun	70	100
Nikel	50	70

Sulama sularının tuzluluk ve toprak geçirgenliği üzerine etkisi ve toksik etkisi açısından kalitesinin değerlendirilmesi için de Tablo 4’de sulama suyu kalitesi değerlendirme ölçütleri verilmiştir (Anonim 2010a).

Özellikle atık suların sulama amacıyla kullanımında ağır metal içeriklerinin mutlaka değerlendirilmesi gerekmektedir. Tablo 5’de sulama sularında izin verilebilir ağır metal içerikleri verilmiştir (Anonim 2010a).

Tablo 4. Sulama suyu kalitesi değerlendirme ölçütleri (Anonim 2010a)

Parametreler	Birim	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok (I. sınıf su)	Az-orta (II. sınıf su)	Tehlikeli (III. sınıf su)
		Tuzluluk		
İletkenlik	µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam çözünmüş madde	mg/l	< 500	500-2000	>2000
Geçirgenlik				
SAR _{Adj.}	0-3	EC ≥ 0,7	0,7-0,2	< 0,2
	3-6	≥ 1,2	1,2-0,3	< 0,3
	6-12	≥ 1,9	1,9-0,5	< 0,5
	12-20	≥ 2,9	2,9-1,3	< 1,3
	20-40	≥ 5,0	5,0-2,9	< 2,9
İyon toksisitesi				
Sodyum (Na)				
Yüzey sulama (SAR)	mg/l	< 3	3-9	> 9
Damla sulama	mg/l	< 70	> 70	
Klor (Cl)				
Yüzey sulama	mg/l	< 140	140-350	> 350
Damla sulama	mg/l	< 100	> 100	
Bor (B)	mg/l	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0

Tablo 5. Sulama sularında izin verilebilir ağır metal miktarları (Anonim 2010a)

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar (kg/ha)	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar (mg/l)	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapıldığında sınır değerler	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında sınır değerler
Alüminyum (Al)	4600	5,0	20,0
Arsenik (As)	90	0,1	2,0
Berilyum (Be)	90	0,1	0,5
Bor (B)	680	-	2,0
Kadmiyum (Cd)	9	0,01	0,05
Krom (Cr)	90	0,1	1,0
Kobalt (Co)	45	0,05	5,0
Bakır (Cu)	190	0,2	5,0
Florür (F)	920	1,0	15,0
Demir (Fe)	4600	5,0	20,0
Kurşun (Pb)	4600	5,0	10,0
Lityum (Li)	-	2,5	2,5
Manganez (Mn)	920	0,2	10,0
Molibden (Mo)	9	0,01	0,05
Nikel (Ni)	920	0,2	2,0
Selenyum (Se)	16	0,02	0,02
Vanadyum (V)	-	0,1	1,0
Çinko (Zn)	1840	2,0	10,0

Damla sulama yöntemi arıtılmış atık suyla sulamalarda bitki ve canlıyla teması azalttığı için en uygun sulama yöntemi olmakla birlikte, damlaticıların tıkanması önemli bir risk kaynağı olarak görülmektedir. Damla sulama yönteminde tıkanmayı etkileyen su kalitesiyle ilgili kriterler de Tablo 6'da verilmiştir (Anonim 2010a).

Tablo 6. Damla sulama yönteminde tıkanmayı etkileyen su kalite kriterleri (Anonim 2010a)

Parametreler	Birim	Kullanımında zarar derecesi		
		Yok	Az - orta	Tehlikeli
AKM	mg/l	< 50	50-100	> 100
pH	-	< 7	7-8	> 8
TDS	mg/l	< 500	500-2000	> 2000
Mangan	mg/l	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
Demir	mg/l	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
H ₂ S	mg/l	< 0,5	0,5-2,0	> 2,0
Bakteri sayısı	sayı/l	< 10 000	10 000-50 000	> 50 000

AKM: Askıda katı madde, TDS: Toplam çözünmüş katı madde

Atık Suların Sulamada Kullanımıyla İlgili Çalışmalar

Ghanbari *et al.* (2007), arıtılmış kentsel atık suyla sulamanın buğdayın verim ve kalitesi ile bazı toprak özellikleri üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın sulamanın temiz suyla sulamaya göre buğdayın bitki boyunu, yaprak büyüklüğünü, salkım başına tane sayısını, bin tane ağırlığını ve kardeşlenmeyi artırdığını, toprak ile bitkide ağır metal içeriği ve toprakta sodyumluluk, elektriksel iletkenlik ve organik madde bakımından istatistiksel olarak farklılık olmadığını belirtmişlerdir.

Kiziloglu *et al.* (2007), farklı işlemlerle arıtılmış atık suların toprakta besin element birikimi ve lahananın besin içeriği üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, atık su kullanımıyla toprağın elektriksel iletkenliğinin, organik madde içeriğinin, değişebilir katyonlarının ve lahananın verimi ile N, P, K, Fe, Mn, Zn, Cu, B ve Mo içeriklerinin artış gösterdiğini, toprak pH'sının ise azaldığını tespit etmişler ve sonuçta, atık suyla sulama koşullarında bitkide ağır metal birikiminin dikkatle izlenmesi gerektiğine dikkat çekmişlerdir.

Rusan *et al.* (2007), farklı sürelerle (2, 5 ve 10 yıl) atık sularla sulamanın toprak ve bitki üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada, 10 yıl süreyle atık su uygulamasının toprak tuzluluğunu, organik madde ve besin elementi içeriklerini artırdığını, atık suyla sulama sürecinin toprak ağır metal içeriğini önemli bir şekilde etkilemediğini, bitki biyokütlesinin atık suyla arttığını ancak uzun süreli atık su uygulamasında azaldığını, atık suyla sulanan bitkilerde, ağır metal içeriğinin de sulama süreci artışıyla arttığını belirtmişler ve sonuçta uzun vadeli atık su uygulamalarında toprak ile bitki parametrelerinin izlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Kiziloglu *et al.* (2008), arıtılmamış, ön arıtımı yapılmış ve birincil arıtıma yapılmış atık sularla sulanan karnabahar ve kırmızı lahana bitkileri ile toprakların özelliklerini inceledikleri çalışmada, en yüksek verimin arıtılmamış atık su uygulamasında elde edildiğini, tüm sulamalarda toprak pH'sı azalırken tuzluluğun, organik maddenin, değişebilir katyon ve besin

içeriklerinin arttığını, bitkilerde en yüksek N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd içeriklerinin artırılmamış atık su uygulamasında elde edildiğini belirtmişler ve sonuçta tarımsal sürdürülebilirlik için en iyi uygulamanın birincil arıtılmış atık sularla sulama olduğunu ve bu suların kısa süreli sulamalarda güvenle kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Maldonado *et al.* (2008), uzun ve kısa süreli atık sularla ve temiz sularla sulanmış tarlalar ile atık suların deşarj edildiği nehir yakınındaki tarlalarda üç farklı toprak tabakasını (0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm) ağır metal açısından değerlendirmişlerdir. Na, K, Cd, Pb, Ni, Cr, Cu ve Fe ile pH ve tuzluluk değerlerinin her alanda farklılık gösterdiğini, toprak derinlikleri arasında etkileşim görülmediğini, ağır metallerin toprağın doğal formlarından da kaynaklanabileceği ve antropojenik faaliyetlerle de artabileceğini ifade etmişlerdir.

Qishlaqi *et al.* (2008), arıtılmamış atık suyla sulamanın topraklara ve bazı bitkilerin ağır metal içeriğine olan etkilerini inceledikleri çalışmada, temiz suyla sulamaya göre atık suyla sulamada organik maddenin % 20-30 ve pH'nın 2-3 kat arttığını, yüzey toprak tabakasında kation değişim kapasitesinin yüksek olduğunu ve başta Pb ile Ni olmak üzere ağır metallerin orta düzeyde bir kontaminasyon oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ıspanak, marul ve buğdayda Cd, Pb ve Ni içeriklerinin yüksek olduğunu ve atık suyla sulamanın olumsuz etkilerini minimize etmek için atık suyun kesinlikle arıtılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Ahmed and Al-Hajri (2009), dört farklı arıtılmış atık su ve deniz suyu karışımını (1:0, 1:1, 3:1, 0:1) sorgum ve ayçiçeği bitkilerinin sulamasında kullandıkları çalışmada, atık suyla sulanan toprakların Cr, Mn ve Zn içeriklerinde artışlar olduğunu, Al, Fe, Ni, Co, Cu, As, Cd ve Pb içeriklerinin temiz suyla kıyaslandığında benzerlik gösterdiğini, ayçiçeğinde B, Co, Cu içeriğinin, sorgumda ise Mn ve Zn içeriğinin atık su uygulamasıyla önemli seviyede arttığını belirtmişlerdir.

Manas *et al.* (2009), arıtılmış atık suyla sulamanın toprak ve bitki üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada, atık suyla sulamanın toprağın organik madde ile N, P, Ca, Al, Fe, Pb ve Zn içeriğini artırdığını, bitki N, P, Pb ve Al içeriklerinin temiz suyla sulamaya göre daha yüksek olduğunu ve ayrıca bitkilerde önemli oranda patojen kalıntılarının tespit edildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, atık suyun mutlaka dezenfekte edildikten sonra ve ayrıca ağır metal içeriklerinin de incelenmesi koşuluyla sulamada kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Singh *et al.* (2009), atık suyla sulamanın toprağın besin ve ağır metal içeriklerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, atık suyun toprakta toplam ve fito kullanılabilir ağır metal konsantrasyonlarında artışlara yol açtığını, atık suyla sulanan topraklarda ağır metal içeriklerinin toprak pH'sıyla negatif, toprak organik karbonuyla pozitif korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, atık suyla sulamanın toprağın özelliklerini değiştirdiğini,

toprakta ve dolayısıyla da bitkide daha fazla ağır metal birikimine yol açtığı sonucuna ulaşmışlardır.

Galavi *et al.* (2010), arıtılmış atık suyla sulamanın sorgum bitkisine ve toprağa etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyun kullanım miktarının arttıkça toprakta N, P, K, Ca, Na, Mg, Zn, Fe, Mo, sodyum absorpsiyon oranı, elektriksel iletkenlik ve organik karbon, bitkide ise Cu ve Fe içeriklerinin arttığını, ancak bitki ve topraktaki ağır metal birikiminin toksisite etkisi gösterecek eşik değerleri aşmadığını belirtmişlerdir.

Gupta *et al.* (2010), atık suyla sulamanın bitkilerin yenilebilir kısımlarında ve toprakta ağır metal birikimi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık düşük miktarlarda ağır metal içeriğine sahip olmasına rağmen toprak ve bitkide yüksek ağır metal birikimine neden olduğunu ve toprakta ağır metal birikim sıralamasının $Fe > Pb > Mn > Cr > Cd$ şeklinde sonuçlandığı, bitkilerin toplam klorofil ve amino asit seviyelerinde azalma, askorbik asit ve fenol miktarlarında ise artış belirlendiğini bildirmişlerdir.

Khan *et al.* (2010), arıtılmış atık suyun sorgum bitkisinde büyüme, verim ve besin kalitesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, arıtılmış atık suyla sulanan sorgumda bitki boyunun, gövde kalınlığının, tane salkım oranının, bin tane ağırlığının istatistik olarak önemli olduğunu ve besin kalitesi parametreleri arasında sadece toplam şeker içeriğinin temiz su uygulanan parsellere göre daha yüksek belirlendiğini ifade etmişlerdir.

Alkhamisi *et al.* (2011), farklı ET_0 değerlerine göre arıtılmış atık su ve temiz suyla sulamaların mısırın verim ve kalitesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, arıtılmış atık suyun bitki boyu, klorofil ve silajlık ot verimini olumlu etkilediği, ancak yaprak alan indeksi ve yaprak uzunluğuna etkisinin önemli bulunmadığı bildirilmiştir. En yüksek silajlık ot veriminin arıtılmış atık su uygulanan 1,4 ET_0 ve 1,0 ET_0 (72,1 t/ha ve 59,4 t/ha) konularından elde edildiğini, atık su kullanımıyla erkek ve dişi çiçeklenmesinin daha erken gerçekleştiği için hasat süresinin kısaldığını ve kalite üzerinde önemli etkisinin olduğunu ayrıca su kullanım etkinliğinin de arttığını ifade etmişlerdir.

Moraetis *et al.* (2011), mısır yetiştiriciliğinde 5 yıl boyunca atık suyla sulamanın etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın topraklara yıllık 11,8 t/ha karbon, 1033 kg/ha toplam azot, 23,8 kg/ha fosfor ve 4161 kg/ha potasyum katkısı sağlandığını, azot, fosfor ve potasyum katkısının mısır için önerilen gübreleme dozları dikkate alındığında sırasıyla 6, 2 ve 50 kat daha fazla olduğunu, atık suyla sulamanın toprakta ağır metal birikimine ve tuzluluğuna önemli seviyede etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Morugan-Coronado *et al.* (2011), ikincil ve üçüncül arıtmadan geçmiş atık suyun iki yıl süreyle uygulanmasının temiz suyla kıyaslanarak toprak özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamada toprak elektriksel iletkenlik, organik karbon ve ağır metal içeriklerinde artış, agregat stabilitesinde ise azalış gözlemlenmiştir, ikincil arıtılmış suyla sulamada organik karbon içeriğindeki artışın üçüncül arıtmaya göre daha düşük seviyelerde olduğunu belirlemişler ve atık suyun yeniden kullanımının fizibilitesini değerlendirmek için uzun süreli çalışmaların yapılmasını önermişlerdir.

Lado *et al.* (2012), iki farklı toprakta (kumlu-kireçsiz ve killi- kireçli) ikincil arıtmadan geçmiş atık su ve kontrol grubu olarak da temiz suyla sulamanın toprak özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, iki toprakta da atık suyun toplam organik madde, çözülmüş organik madde, Cu, Ni ve Zn içerikleri üzerinde önemsiz etkiye sahip olduğunu, ancak B içeriğinin eşik değeri aştığı için bor toksisitesine dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Singh *et al.* (2012), buğday, gram, palak, methi ve berseem bitkilerinde temiz ve arıtılmış atık suyla sulamanın verim ve toprak özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamada bitki verimlerinde artışlar yanında toprakta sadece elektriksel iletkenlik ve Na içeriğinde önemli artışın olduğunu, diğer toprak parametrelerinde istatistiksel bir fark gerçekleşmediğini ifade etmişlerdir.

Zema *et al.* (2012), arıtılmış atık suyun toprak özellikleri ve *Typha latifolia*, *Arundo donax* ve *Phragmites australis* bitkilerinin biyokütle ve enerji verimlerine olan etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyun bitkilerin biyokütle ve enerji verimlerini önemli düzeyde etkilediğini ancak toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkinin istatistiksel olarak önemsiz bulunduğunu belirtmişlerdir.

Avcı and Deveci (2013), Gaziantep’de uzun süreli atık suyla sulanan tarım arazilerinde toprak ve bitkilerdeki çeşitli elementleri analiz ettikleri çalışmada, mısır, nane, patlıcan, biber ve domatesin yenilebilir kısımlarındaki Co, Mo ve Zn konsantrasyonlarının sırasıyla 0,03 mg/kg ile 0,66 mg/kg, 0,1 mg/kg ile 3,2 mg/kg ve 8 mg/kg ile 148 mg/kg aralığında olduğunu, bazı bitki ve toprak örneklerinde ağır metal içeriklerinin ulusal ve uluslararası standartlardaki eşik değerleri aştığını bildirmişlerdir.

El-Nahhal *et al.* (2013), atık suyla sulamanın lahanaya ve mısırın verimi ile ağır metal birikimine ve toprak özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın bitki verimini ve topraklarda organik madde, azot, fosfor, potasyumu arttırdığını ancak bitki yaprakları ile toprak yüzey tabakasında ağır metal birikimine neden olduğunu belirtmişlerdir.

Farahat and Linderholm (2013), arıtılmış atık suyla sulamanın toprak ve bitki üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, verimin arttığını ancak bitki sürgünlerinde yüksek konsantrasyonlarda N, P, K, Mn, Zn, Ni, Cu, Cd ve Pb içeriklerinin elde edildiği, özellikle Cd ve Ni içeriklerinin izin verilebilir eşik değerlerin 13 ve 500 kat üzerinde olduğu ve yine toprakta da Cd, Cu, Mn, Ni ve Pb içeriklerinde önemli artışlar kaydedildiği sonucuna varmışlardır.

Bedbabis *et al.* (2014), Tunus'ta arıtılmış atık suyla sulamanın etkisini dört yıl süreyle inceledikleri çalışmada, arıtılmış atık suyla sulanan toprakların sodyum adsorpsiyon oranı, organik madde miktarı ve elektriksel iletkenlik değerlerinde önemli artışlar gerçekleştiğini, toprak pH'sının ve infiltrasyon hızının ise önemli düzeyde azaldığını belirlemişler, atık suyun toprak özelliklerine etkisinin su kalitesiyle doğrudan ilişkili olduğu sonucunu vurgulamışlardır.

Christou *et al.* (2014), Kıbrıs'ta uzun süre atık suyla sulanan farklı tarım alanlarının toprak özellikleri ile ağır metal içeriklerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulanan alanlarda toprak tuzluluğu ve ağır metal içeriklerinin daha yüksek, pH'nın ise daha düşük olduğu ve ayrıca atık suyla sulanan toprakların kireç ve demir içeriklerinin temiz suyla sulamayla kıyaslandığında benzerlik gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Kudal ve Müftüoğlu (2014), Denizli'de arıtılmış kentsel atık suyla sulanan ve sulanmayan tarım arazilerinde bazı toprak verimlilik parametrelerinin incelenmesi amacıyla yürüttükleri çalışmada, arıtılmış atık suyun kullanıldığı arazilerde toprak tuzluluğunun ve organik karbon içeriğinin arttığını, organik karbon azot oranının yükseldiğini, alınabilir fosfor değerlerinde de artış gerçekleştiğini, toprak pH'sının ve toplam azot içeriğinin ise azaldığını bildirmişlerdir.

Akın (2015), sulama suyu olarak kullanılan Nilüfer çayı ve Ayvalı deresi ile Buski ve Penguen arıtma tesisi çıkış sularının toprak özelliklerine ve mısır bitkisinin gelişimine etkisini incelediği çalışmada, atık suyun toprakta elektriksel iletkenlik, NH_4 , NO_3 , P_2O_5 ve değişebilir kanyonları artırdığını, ağır ağır metal içeriklerinde önemli farklılıklar görülmediğini ve atık suyun verimi artırma yönünde önemli katkısının olduğunu belirtmiştir.

Lu *et al.* (2015), atık suyla sulamanın mısır bitkisinde ve toprakta ağır metal birikimine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulanan topraklarda temiz suyla sulanan topraklara göre Cr, Pb, Ni ve Zn içeriklerinin daha fazla, bitkide ağır metal birikim sıralamasının $\text{Pb} < \text{Ni} < \text{Zn} < \text{Cr}$ şeklinde olduğunu, Cr, Pb ve Ni'nin mısırın köklerinde, Zn'nin ise mısırın tanelerinde daha fazla biriktiğini bildirmişlerdir.

Tunc and Sahin (2015), filtrelenmiş atık su, filtrelenmiş ve havalandırılmış atık su, temiz su ve filtrelenmiş atık su karışımı (1:1) ve temiz suyla sulama uygulamalarının toprak özellikleri

üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın temiz suya göre tuzluluğu, poroziteyi ve organik karbon miktarını artırdığı, temiz su ve filtrelenmiş atık su karışımıyla sulamanın toprakta agregasyonu ve böylece toprakta nem tutulumunu iyileştirdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Chunfang *et al.* (2016), sera koşullarında domates yetiştiriciliğinde arıtılmış atık su kullanımının toprak enzimleri ile besin maddeleri üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, arıtılmış atık suyun üreaz ve katalaz aktivitesini, toplam azot ve fosfor içeriğini artırdığını ve ayrıca arıtılmış atık suların kontrollü şartlar altında sera koşullarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Tunc and Sahin (2016), kırmızı lahana bitkisinin filtrelenmiş atık su, filtrelenmiş ve havalandırılmış atık su, temiz su ve filtrelenmiş atık su karışımı (1:1) ve temiz suyla sulanmasının toprak, bitki ve su kullanımı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suların uygulandığı konularda bitki su tüketiminin azaldığını, su kullanım etkinliğinin arttığını, en yüksek su kullanım etkinliğinin filtrelenmiş atık su uygulamasından elde edildiğini, atık suyla sulamanın toprak ve kırmızı lahana verimliliği üzerinde olumlu katkılar sağladığını, ayrıca temiz su ve filtrelenmiş atık su karışımının (1:1) toprak ve kırmızı lahanada daha az ağır metal birikimine neden olduğunu, temiz suya göre yüksek verimi ile tarımsal sulamalarda kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Uzen *et al.* (2016), Diyarbakır koşullarında arıtılmış atık suyla sulamanın pamuğun verimi ve toprak özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın kontrol uygulamasına göre tohum verimini 1,9 kat artırdığını, toprağın pH değerlerinde önemli bir değişim olmadığını fakat atık suyla sulamada toprak elektriksel iletkenliğinin 0,9'dan 1,8 dS/m'e yükseldiğini ve ayrıca arıtılmış atık suyun düşük ağır metal içeriğine bağlı olarak toprakta ve bitkide ağır metal kirliliğinin oluşmadığını bildirmişler, atık suyun doğrudan insan beslenmesinde kullanılmayan pamuğun sulanması için değerlendirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Biswas *et al.* (2017), temiz su, atık su ve temiz suyla seyreltilmiş atık suyun sulamada kullanıldığı koşullarda toprak özelliklerindeki değişimleri inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın diğer sulama uygulamalarına göre toprak toprakta gözenekliliği, hidrolik iletkenliği, su tutma kapasitesini, pH'yı, tuzluluğu, organik karbonu, makro besin içerikleri ile değişebilir katyonları artırdığını, kütle yoğunluğunu ise azalttığını bildirmişler, atık suyun etkisinin özellikle toprağın 0-20 cm'lik yüzey tabakasında daha yoğun olduğunu vurgulamışlardır.

Demir Dogan and Sahin (2017), arıtılmış atık su ve temiz su kullanılarak tam, kısıntılı ve kısmi kök bölgesi kuruluğu sulama uygulamalarında domates bitkisinin verim-kalite

parametrelerini ve toprakta ağır metal birikimini inceledikleri çalışmada, arıtılmış atık suyun domatesin verimini, titrasyon asitliğini, C vitamini ve mineral içeriğini artırdığını, su tüketimini azalttığını bildirmişler, topraklarda ağır metal birikiminin sınır değerleri aşmadığını ancak meyvede Cd ve Pb içeriklerinin sınır değerleri aştığını belirtmişlerdir.

Tunc and Sahin (2017), filtrelenmiş, havalandırılmış ve temiz suyla seyreltilmiş kentsel atık sularla sulamanın toprağın kimyasal özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, filtrelenmiş atık su uygulamasında en yüksek verim, su kullanım etkinliği ve ağır metal içeriği değerlerinin elde edildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, filtrelenmiş ve havalandırılmış atık su uygulamalarının daha yüksek toprak tuzluluğu, organik madde ve makro besin içerikleri sağladığını, yüzey toprak tabakasında Cu, Fe ve Mn içeriklerinin daha yüksek bulunduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda, yüksek ağır metal kontaminasyonunun risk teşkil edebileceğini dikkate alarak seyreltilmiş atık su uygulamasının tercih edilmesini önermişlerdir.

Farhadkhani *et al.* (2018), karık sulama yöntemiyle ikincil arıtılmış atık su kullanılarak sulanan farklı bitki ve toprakların özelliklerindeki değişimleri inceledikleri çalışmada, ikincil arıtılmış atık suyla sulanan toprak ve bitkilerde *E. Coli* O157, *Salmonella* ve *Shigella* gibi riskli patojenlerle karşılaştığını, marul ve taze soğanda *E. Coli* kontaminasyonun daha yüksek olduğunu ve ayrıca atık suyla sulamada tuzluluk ve sodyumluluğun temiz suyla sulanan topraklara göre arttığını, diğer toprak özelliklerinde ise önemli bir değişim olmadığını belirtmişlerdir.

Paudel *et al.* (2018), arıtılmış atık suyun narenciye ağaçlarının büyümesi ve verimi ile toprağın fiziksel ile kimyasal özelliklerine olan etkisini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın toprak tuzluluğunu, sodyumluluğunu, agregat stabilitesini ve toprakta nem tutulumunu önemli ölçüde artırdığını, meyve verimini, sürgün ve kök gelişimini, yaprak alanını olumlu yönde etkilediğini ancak kök ve yapraklarda Na ile Cl birikimine neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Yazdani *et al.* (2018), arıtılmış atık su, temiz su ve 1:1 oranında arıtılmış atık suyla seyreltilmiş temiz suyla sulama uygulamalarının ayçiçeği bitkisinin verimine ve ağır metal birikimine etkilerini incelendikleri çalışmada, en yüksek bitki boyunun ve baş çapının atık suyla sulama uygulamasından elde edildiğini ve verimin atık suyla sulamada temiz suya göre % 10,7 daha fazla olduğunu, atık su uygulamalarında bitkide Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb ve As içeriklerinin arttığını ancak Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen eşik değerleri aşmadığını bildirmişlerdir.

Abd-Elwahed (2019), uzun süreli atık suyla sulanan toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelediği çalışmada, atık suyla sulanan toprakların tuzluluğunun, sodyum

yüzdesinin ve sodyum adsorpsiyon oranının temiz suyla sulanan topraklara göre sırasıyla % 62 ile % 107, % 17 ile % 52 ve % 31 ile % 80 seviyelerinde arttığını ve ağır metal içeriğinin atık suyla sulanan topraklarda en yüksek seviyelere ulaştığını, özellikle 42 yıldan daha fazla atık suyla sulanan topraklarda ağır metal açısından olumsuz etkilerin gözlemlendiğini bildirmiştir. Araştırmacı, organik madde, azot, fosfor, potasyum ve katyon değişim kapasitesi artışının atık suyla sulama süresinin artışıyla paralellik gösterdiği ve atık suyun toprak yapısını önemli oranda iyileştirdiği sonuçlarına dikkat çekmiştir.

Chaoua *et al.* (2019), atık suyla sulanan topraklarda toksik metallerin birikimlerini inceledikleri çalışmada, toprakta ağır metal birikiminin sırasıyla Zn (112,71 mg/kg), Pb (57,36 mg/kg), Cu (17,70 mg/kg) ve Cd (11,22 mg/kg) şeklinde sonuçlandığını ve Cd ile Pb'nin canlı sağlığı için günlük alım sınırlarını aştığı için büyük bir risk oluşturduğunu belirtmişler, canlı sağlığını korumak için mutlaka tedbirlerin alınması gerektiğini bildirmişlerdir.

Nzediegwu *et al.* (2019), atık suyla sulamanın patates bitkisi ve toprak özellikleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, her sulamadan iki gün sonra 10 cm'lik toprak tabakasından alınan toprak örneklerinde en yüksek Fe, Pb ve Zn içeriği değerlerinin elde edildiğini, 30 cm'lik toprak tabakasında ise sadece Fe içeriğinin yüksek miktarlarda olduğunu ve patates bitkisinin yumru eti, kabuğu, yaprağı, gövdesi ve kökünün arıtılmış atık suyla sulamanın etkisiyle yüksek miktarda ağır metal birikimine neden olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar, atık suyla sulamanın etkisinin toprak yüzey tabakasında yüksek olduğuna, diğer toprak tabakalarında ise daha sınırlı seviyelerde kaldığına dikkat çekmişlerdir.

Demir Dogan and Sahin (2020), arıtılmış atık su ve temiz su kullanılarak tam, kısıntılı ve kısmi kök bölgesi kuruluğu sulama uygulamalarının toprağa etkilerini inceledikleri çalışmada, toprak tuzluluğu, değişebilir sodyum yüzdesi ve organik madde içeriğinin önemli ölçüde değişmediğini, en yüksek makro besin içeriklerinin atık suyla tam sulanan konularının 0-30 cm'lik toprak tabakasından elde edildiğini, atık suyla sulanan konularda mikro ve eser mineral içeriklerinin artmış olduğunu ancak FAO/WHO ve ulusal standartlar dikkate alındığında güvenli sınırlar içerisinde kaldığını belirtmişlerdir.

Hajhashemi *et al.* (2020), temiz suyla farklı seviyelerde seyreltilmiş atık suyla (% 0, % 25, % 50 ve % 100) sulanan buğdayın verim ve kalitesini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın artan seviyesiyle buğdayın veriminde artış olduğu fakat atık suda bulunan toksik mineral elementlerin bitkilerin yapraklarında K, P, Si ve Zn içeriğini artırdığını atık suyun yüksek tuzluluk içeriğine bağlı olarak buğdayın fotosentez özelliklerinde ise önemli azalışlar gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Ugulu *et al.* (2020), atık suyla sulanan ıspanak bitkisinde ağır metal içeriklerini inceledikleri çalışmada, bitkide Cd, Cr, Cu, Fe, Ni ve Zn birikiminin sırasıyla 0,29 ile 0,37, 0,14 ile 1,25, 0,07 ile 0,67, 1,12 ile 2,48, 0,33 ile 0,38, 1,92 ile 2,90 ve 0,51 ile 0,63 mg/kg arasında değişiklik gösterdiğini, Cd haricindeki tüm ağır metallerin izin verilebilir eşik değerlerin altında olduğunu ve atık suyla sulamada gerekli izleme ve değerlendirme çalışmalarının mutlaka yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Cakmakci and Sahin (2021a) farklı sulama yöntemleriyle (karık sulama, yüzey üstü damla ve yüzey altı damla sulama) silajlık mısır yetiştiriciliğinde atık su ve temiz suyu değişen seviyelerde sulama suyu olarak kullandıkları çalışmada, temiz suyla sulamaya göre atık suyla sulama koşullarında toprakta ağır metal içeriğinin, tuzluluğun, makro besin maddelerinin, organik maddenin, kation değişim kapasitesinin, gözeneklilik ve agregat stabilitesinin daha yüksek, pH, kireç, kütle ve parçacık yoğunluğu değerlerinin ise daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Damla sulama yöntemlerinin toprak tuzluluğunu ve ağır metal içeriğini önemli ölçüde azalttığını, ağır metal kirlilik indekslerine göre de bu yöntemlerin topraktaki metal kirliliğini azaltmada daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, tüm sulama yöntemlerinde önemli miktarlarda Cd ve Ni birikimleri tespit ederken, kısıntılı sulamanın bu birikimleri önemli seviyede azalttığını da ifade etmişlerdir.

Ma *et al.* (2021), Batı Çin'de 50 yılı aşkın süreyle atık sularla sulanan toprakların özelliklerini ve burada yetiştirilen buğdayın Cd alımı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, 1960'lara göre 2018'de toprak pH'sının ve CaCO₃ içeriğinin sırasıyla 0,80 birim ve % 35 daha düşük olduğunu, toprak organik madde, fosfor ve Cd içeriğinin sırasıyla 1,54, 13,05 ve 164 kat arttığını, uzun süreli atık suyla sulamanın, toprağın tamponlama kapasitesinde geri dönüşümü olmayan bir hasara neden olduğunu ve bunun da buğdayda Cd alımının artmasıyla sonuçlandığını belirtmişlerdir.

Nawaz *et al.* (2021), Faysalabad'daki Chakara arıtma tesisinden elde edilen arıtılmış atık suyun temiz suyla farklı seviyelerde kullanımının (% 100 temiz su, % 25 atık su + % 75 temiz su, % 50 atık su + % 50 temiz su, % 75 atık su + % 25 temiz su ve % 100 atık su) buğdayın verim parametrelerine etkilerini inceledikleri çalışmada, en düşük bitki boyunun (50,33 cm), tane ağırlığının (1,47 g/bitki), başak uzunluğunun (7 cm), ozmotik potansiyelin (423) ve SPAD değerlerinin (38,91) % 100 atık suyla sulama uygulamasından elde edildiğini ve bu uygulamada buğdayda ağır metal birikiminin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir.

Xi *et al.* (2021), 30 yılı aşkın süreyle arıtılmış evsel ve endüstriyel atık sularla sulanan toprakların özelliklerini inceledikleri çalışmada, endüstriyel atık sularla sulanan toprakların özellikle yüzey toprak tabakalarında inorganik N ile organik karbon miktarının ve Cd, Cr, Cu,

Pb, Zn ve Ni içeriklerinin daha yüksek olduğunu, endüstriyel atık sularla uzun süreli sulamalarda toprak yüzey tabakasında denitrifikasyon kapasitesinin artmasına bağlı olarak toprağın alt tabakalarında amonyak oksitleme kapasitesinin artışıyla azot kayıplarının gerçekleşebileceğini belirtmişlerdir.

Literatür bilgilerinin toplu analizinden, temiz su kaynaklarına kıyasla atık suların sulamada kullanımıyla bitkisel verimin arttığı ve toprakların özelliklerinin ve verimliliğinin iyileştiği ve geliştiği görülmektedir. Atık suyun sulamada kullanımıyla temiz su kaynakları üzerindeki baskının hafifletilmesi, kimyasal gübrelemlere olan ihtiyacın azalması, atık suların deşarj problemlerinin çözülmesiyle çevresel katkı da sağlanması mümkün görülmüştür. Ancak atık suların tuzluluk, ağır metal, patojen ve sera gazı salınımı gibi risklerinin de göz önünde bulundurulması ve tüm bu risklerin birlikte yönetilmesiyle tarımda atık suların yeniden kullanımında sürdürülebilirliğin sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

Kısıntılı Sulamayla İlgili Çalışmalar

Vural (2007), Aydın’da farklı sulama suyu seviyeleriyle sulanan (% 0, % 40, % 60, % 80, % 100 ve % 120) mısırın verim ve kalite parametrelerini araştırdığı çalışmada, artan sulama suyu seviyesiyle bitki boyunun, koçan uzunluğunun, koçan çapının, tane sayısının, tane veriminin ve bin tane ağırlığının arttığını ancak yaprak sayısının önemli düzeyde değişmediğini belirtmiştir.

Aritürk (2008), Tekirdağ’da damla sulama ve karık sulama yöntemlerinde farklı sulama suyu seviyelerinin (% 100, % 50 ve % 0) silajlık mısırın verimine etkilerini incelediği çalışmada, kısıntı seviyesinin artmasıyla iki sulama yönteminde de yeşil ot veriminin azaldığını ancak sulama yöntemleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılığın olmadığını, karık sulama yönteminde yeşil ot veriminin 98,96 ile 24,92 t/ha, damla sulama yönteminde ise 92,91 ile 24,92 t/ha aralığında olduğunu bildirmiştir. Çalışmada, iki sulama yönteminde de en yüksek sulama suyu kullanım etkinliği (27,0 ile 31,7 kg/m³) ve su kullanım etkinliği değerleri (21,9 ile 29,5 kg/m³) % 50 su kısıntısı uygulanan konudan elde edilmiştir.

Shehata *et al.* (2009), karık sulama, yüzey altı damla sulama ve yüzey üstü damla sulama yöntemleri kullanılarak % 100, % 80 ve % 60 seviyelerinde sulamanın mısır bitkisinin verim ve kalitesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, en yüksek su tüketiminin tam sulama (% 100) koşullarında karık sulama yönteminden (474,4 mm), en düşük su tüketiminin ise % 60 su kısıntısı uygulanan yüzey altı damla sulama yönteminden (352,0 mm) elde edildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, çalışmada, en yüksek su kullanım etkinliğinin karık sulama yöntemiyle tam sulama koşullarından (2,44 kg/m³), en düşük su kullanım etkinliğinin ise yüzey altı damla

sulama yöntemiyle % 80 kısıntı uygulanan konudan ($0,97 \text{ kg/m}^3$) elde edildiği belirtilmiştir. Çalışma bulgularına göre, sulama suyu seviyelerine bağlı olarak bitki başına koçan sayısı ile yaprak sayısının önemli derecede farklılık göstermediği fakat koçan ağırlığının artan su stresine bağlı olarak olumsuz etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Mansouri-Far *et al.* (2010), mısırın farklı gelişim evrelerinde uygulanan su kısıntılarının etkilerini değerlendirdikleri çalışmada, artan su stresine bağlı olarak bitkide prolin üretiminin arttığını, bağıl su içeriğinin, klorofil değerlerinin, bin tane ağırlığının ve tane veriminin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar, mısırın tozlaşma döneminde kısıntılı sulama uygulamasının vejetatif dönemdeki kısıntılı sulamaya göre daha fazla verim azalışına neden olduğunu ancak bu dönemde uygulanacak azot takviyesiyle verim azalışının engellenebileceğini vurgulamışlardır.

Bozkurt and Yazar (2011), farklı sulama suyu seviyelerinin (% 20, % 40, % 80, % 100 ve % 120) mısırın verim ve kalitesine olan etkilerini inceledikleri çalışmada, mevsimlik sulama suyunun 55 mm ile 381 mm, tane veriminin 1,93 t/ha ile 10,40 t/ha arasında olduğunu ve en yüksek verim ile kalite parametrelerinin % 120 ile sulanan konudan, en düşük verim ile kalite değerlerinin ise % 20 ile kısıntılı sulama uygulanan konudan elde edildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, sulama suyu seviyesi ile mısırın verim ve kalite parametrelerinin paralellik gösterdiğine dikkat çekmişlerdir.

Bouazzama *et al.* (2012), Fas'da, yarı kurak koşullarda, tam (% 100) ve kısıntılı sulama uygulamaları altında (% 80, % 60, % 40 ve % 20) yetiştirilen mısırın verim ve kalitesini inceledikleri çalışmada, su kısıntısının artışıyla bitki büyümesinin olumsuz etkilendiğini, yaprak alan indeksi ve bitki boyunun artan stres koşullarıyla ters orantılı olduğunu, özellikle su stresi koşullarında kuru madde veriminde önemli kayıpların yaşandığını bildirmişlerdir.

Aydinsakir *et al.* (2013), iki farklı mısır çeşidinin verim ve kalite parametrelerini beş farklı sulama suyu seviyesi altında (% 100, % 75, % 50, % 25 ve % 0) inceledikleri çalışmada, iki çeşitte de artan su stresine bağlı olarak glikoz, fruktoz ve sukroz içeriklerinin arttığını, ham protein içeriğinin ise azaldığını, en yüksek su kullanımının 738,1 mm ile Şafak çeşidinin % 100 sulama uygulamasından, en düşük su kullanımının ise 260,0 mm ile Ant-I90 çeşidinin sulanmayan uygulamasından (% 0) elde edildiğini ve ayrıca en yüksek verimi sağlayan Şafak çeşidinde % 100, % 75, % 50, % 25 ve % 0 sulama suyu kısıntılarına göre tane veriminin sırasıyla 9,35 t/ha, 8,34 t/ha, 7,89 t/ha 5,56 t/ha ve 3,63 t/ha olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, çalışma sonucunda, su stresinin iki çeşitte de yüksek verim ve kalite kayıplarına neden olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Yaseen *et al.* (2014), malçlamayla silajlık mısır yetiştiriciliğinde kısıntılı ve tam sulama uygulamalarının verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, artan sulama suyu miktarıyla bitki boyunun % 11,4, bitki koçan uzunluğunun % 3,4, bin tane ağırlığının % 12,5, biyolojik verimin % 29,6 ve tane veriminin % 35,5 arttığını ancak su kullanım etkinliğinin kısıntılı sulamada tam sulamaya göre % 17,5 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Karasu *et al.* (2015), Bursa koşullarında damla sulama yöntemiyle farklı seviyelerde sulanan (% 125, % 100 % 75 % 50, % 25 ve % 0) silajlık mısırın verim ve kalitesini inceledikleri çalışmada, en yüksek su kullanım etkinliğinin % 25 sulama suyu kısıntısı uygulamasından elde edildiğini, sulama suyu kısıntısının artmasıyla bitki boyunun, koçan uzunluğunun, bin tane ağırlığının ve tane veriminin azaldığını, bu parametrelerin sırasıyla 323,3 ile 267,3 cm, 20,6 ile 16,0 cm, 309,3 ile 261,2 g ve 1827 ile 712 kg/ha aralığında yer aldığını ve ayrıca artan sulama suyu seviyesiyle ham protein oranının da önemli seviyede değişiklik gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Ucak *et al.* (2016), farklı sulama suyu seviyelerinin (% 100, % 70 ve % 35) silajlık mısırın verim parametrelerine etkilerini yarı kurak iklimde sahip Siirt’de iki yıllık bir çalışmayla değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, en düşük kuru madde veriminin % 35 kısıntılı sulama uygulamasından elde edildiği (15,0 ile 14,1 t/ha), tam sulama koşullarında (% 100) kuru madde veriminin 34,1 ile 32,4 t/ha seviyelerine ulaştığı, benzer şekilde silajlık verimin de tam sulama koşullarında en yüksek değere sahip olduğu (106 t/ha), iki yıllık ortalamada bitki boyunun % 100, % 70 ve % 35 sulama suyu seviyeleri için sırasıyla 352 cm, 331 cm ve 279 cm, yaprak alan indeksinin ise aynı sırayla 4,65, 3,98 ve 3,22 olduğu ve ayrıca asit deterjan lif-nötr deterjan lif değerlerinin sulama suyu seviyesinden önemli seviyede etkilenmediği belirtilmiştir.

Tabatabaei *et al.* (2017), mısır bitkisinin su ihtiyacının tamamının (% 100), % 80’inin ve 60’ının farklı su kaliteleri ile (atık su, temiz su ve 1:1 oranında atık su+temiz su) karşılandığı durumda, bitki gelişimini ve verimle ilgili bazı parametreleri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, artan sulama suyu kısıntısıyla beraber bitki boyunun, bitki ağırlığının, yaprak alanın, koçan uzunluğunun ve silajlık ot veriminin önemli şekilde azalış gösterdiği ancak bu azalışın atık su kullanımıyla daha düşük seviyelerde gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde, mısır yetiştiriciliğinde, verim-kalite ve çevresel riskler de dikkate alındığında, 1:1 oranında atık su+temiz su karışımıyla kısıntılı sulamanın tercih edilebileceğini bildirmişlerdir.

Zare *et al.* (2018), % 100 (tam sulama), % 80 % 60 ve % 40 sulama seviyeleri altında arıtılmış atık su ve temiz suyla sulamanın mısırın bazı verim parametrelerine etkilerini araştırdıkları çalışmada, artan su stresine bağlı olarak bitki boyunun, gövde çapının, koçan uzunluğunun ve kuru madde veriminin önemli düzeyde azalış gösterdiğini, % 40 kısıntılı sulama konusunda sürgün yaş ve kuru ağırlıklarının tam sulamaya göre sırasıyla % 45,5 ve 59,2 daha düşük olduğunu ancak arıtılmış atık suyla kısıntılı sulama koşullarında bu verim ve kalite kayıplarının temiz suyla kısıntılı sulamaya göre daha düşük seviyelerde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Gönülal ve Soylu (2019), Konya’da (Karapınar) farklı fenolojik dönemlerde (vejetatif, tepe püskülü, tozlaşma ve süt olum dönemi) % 100, % 70 ve % 40 sulama suyu seviyeleri altında yetiştirilen mısırın verim ve kalite değerlerini inceledikleri çalışmada, artan su stresineyle beraber mısırın bin tane ağırlığının, tane sayısının, koçan boyunun ve koçan ağırlığının azaldığını ancak bu azalışların vejetatif dönemdeki kısıntılı sulamalarda daha düşük seviyelerde gerçekleştiğini, vejetatif dönemde yapılan % 30 sulama suyu kısıntısında mısırın verim ve kalite değerlerinin tam sulama suyu seviyesine (% 100) yakın değerlere sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Bhattarai (2020), 5 farklı sulama suyu seviyesi altında (% 100, % 80, % 60, % 40 ve % 20) silajlık mısır ve sorgum bitkilerinin verim ve kalite değerlerini incelediği çalışmada, hem silajlık mısır hem de sorgumda en yüksek yeşil ot veriminin, bitki boyunun, gövde çapının, yaprak sayısının, klorofil ve protein içeriğinin tam sulama (% 100), en düşük değerlerin ise % 20 kısıntılı sulama uygulamalarından elde edildiğini bildirmiştir. Araştırmacı, yüksek verim ve kalite değerleri için bitki su ihtiyacının tamamının karşılanması gerektiğine dikkat çekmiş ancak su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde silajlık mısır ve sorgum yetiştiriciliğinde % 60 kısıntılı sulama uygulamasının kullanılmasını önermiştir.

Zou *et al.* (2021), Çin'in Shaanxi eyaleti Yangling'de, silajlık mısır yetiştiriciliğinde, mısırın farklı büyüme evrelerinde değişen sulama suyu seviyelerinin (% 100, % 80 ve % 60) su kullanımına ve mısırın verimine etkilerini inceledikleri çalışmada, sulama uygulamaları arasında tane veriminin 6392 kg/ha ile 9362 kg/ha, su kullanım etkinliğinin 3 kg/ha/mm ile 34,9 kg/ha/mm, sulama suyu kullanım etkinliğinin ise 32,0 kg/ha/mm ile 58,1 kg/ha/mm aralıklarında değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda, araştırmacılar, azalan su arzıyla başa çıkmanın ancak kısıntılı sulama uygulamalarıyla sağlanabileceğine dikkat çekmişlerdir.

Literatür bilgileri kısıntılı sulama uygulamalarıyla verim ve kalite kayıplarının yaşandığını göstermektedir. Ancak su kaynaklarının yetersiz olduğu kurak ve yarı bölgelerde

farklı yaklaşımlarla kısıntılı sulama pratiğinin kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu kapsamda toprakta nem tutulumunu artıran doğrudan ekim uygulaması altında kısıntılı sulama yaklaşımlarının kullanılmasıyla verim kayıpları azaltılabildiği gibi su kaynaklarının etkin kullanımı da sağlanarak etkili bir tarımsal üretim yapılabileceği değerlendirilmiştir.

Toprak İşlemeyle İlgili Çalışmalar

De Vita *et al.* (2007), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında yetiştirilen buğdayın verim ve kalitesini inceledikleri çalışmada, bin tane ağırlığının doğrudan ekim uygulamasında, nişasta içeriğinin ise geleneksel toprak işleme uygulamasında daha yüksek olduğunu ve doğrudan ekim uygulamasında topraktan daha az buharlaşma gerçekleşmesiyle artan toprak su içeriğinin su tasarrufu yanında verime de pozitif katkılar sunduğunu bildirmişlerdir.

Martínez *et al.* (2008), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarının toprak ve verim üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, iki toprak işleme uygulamasında da toprağın 0-15 cm'lik tabakasında hacim ağırlığı, özgül ağırlık, infiltrasyon, toprak agregatlarının büyüklüğü ve bitki kök uzunluklarının benzer olduğunu, doğrudan ekim uygulamasının toprak özellikleri üzerindeki olumlu etkisinin daha çok toprağın ilk 5 cm'lik kısmında gerçekleştiğini, doğrudan ekim uygulamasının agregat stabilitesini artırdığını ancak toprağın diğer fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir.

Tabaglio *et al.* (2009), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında toprağın kimyasal özelliklerindeki değişimleri inceledikleri çalışmada, geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasının toprak organik karbonunu % 15,8, toplam azotu % 9,6, karbon azot oranını % 5,3 ve değişebilir potasyumu ise % 37,1 artırdığını, toprak verimliliğine pozitif katkılar sunan doğrudan ekim uygulamasının tarımsal uygulamalarda kullanımını önermişlerdir.

Sessiz *et al.* (2010), Diyarbakır koşullarında 6 farklı toprak işleme uygulamasının (geleneksel toprak işleme, doğrudan ekim ve 4 farklı azaltılmış toprak işleme uygulamaları) mısır bitkisinin verim ve kalitesi ile toprak özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, en düşük bitki boyunun ve koçan uzunluğunun doğrudan ekim uygulamasında, en yüksek ve en düşük verimin sırasıyla geleneksel toprak işleme ve azaltılmış toprak işleme uygulamalarında, en düşük koçan kalınlığının ise azaltılmış toprak işlemede elde edildiğini, fide çıkışları açısından toprak işleme uygulamaları arasında önemli bir fark olmadığını, doğrudan ekim uygulamasının 0-10 cm, 10-20 cm ve 20-30 cm toprak tabakalarında poroziteyi artırdığı ve kütle yoğunluğunu azalttığını belirlemişlerdir.

He *et al.* (2011), 11 yılı aşan bir süreyle geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamaları kullanılarak kışın buğday ve yazın mısır üretimi gerçekleştirilen alanlarda toprak özellikleri ile bitki verimlerini inceledikleri çalışmada, doğrudan ekimin geleneksel toprak işlemeye kıyasla toprağın 10 cm'lik tabakasında organik madde, azot ve fosforu sırasıyla % 16,1, % 31,0 ve % 29,6, buğday ile mısır bitkilerinin verimlerini ise sırasıyla % 3,5 ve % 1,4 artırdığını bildirmişler, sürekli üretim yapılan topraklarda doğrudan ekimin gıda güvenliği, sürdürülebilir tarım ve karbon sekestrasyonu için büyük önem taşıdığına dikkat çekmişlerdir.

Aikins *et al.* (2012), farklı toprak işleme uygulamalarının (diskli toprak işleme, diskli toprak işleme+diskli tırmık, diskli tırmık ve doğrudan ekim) mısır bitkisinin verim ve kalitesine etkilerini inceledikleri çalışmada, bitki boyu, gövde çapı, bitki başına yaprak sayısı, kuru madde verimi, bin tane ağırlığı, kök uzunluğu, koçan ağırlığı ve yaprak alan indeksi parametrelerinden en yüksek değerlerin diskli tırmık uygulamasından, en düşük değerlerin ise doğrudan ekim uygulamasından elde edildiğini belirtmişler, mısır tarımında en ideal toprak işlemenin diskli tırmık uygulaması olduğunu bildirmişlerdir.

Ozturkmen (2013), iki yıl boyunca farklı toprak işleme uygulamalarının silajlık mısırın verimine ve toprak özelliklerine etkilerini incelediği çalışmada, en düşük silajlık verimin doğrudan ekim uygulamasından elde edildiğini, doğrudan ekimin toprağın kütle yoğunluğunu ve kireç içeriğini azalttığını, agregat stabilitesini, poroziteyi, makro besin ve organik madde içeriklerini ise artırdığını belirtmiştir.

Wang *et al.* (2014), 1999-2011 yılları arasında geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim ile yönetilmiş arazilerin toprak özelliklerini inceledikleri çalışmada, doğrudan ekimin toprağın 0-30 cm'lik tabakasında hacim ağırlığını azalttığını, agregat stabilitesi ve porozitesini artırdığını, doğrudan ekimin toprak tuzluluğunun azaltılmasına % 20,3 ile % 73,4 oranlarında katkıda bulunduğunu ayrıca doğrudan ekimde toprağın 0-5 cm'lik kısmında N, P ve K miktarının daha yüksek belirlendiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, doğrudan ekimin geleneksel toprak işlemeye göre daha sürdürülebilir bir yaklaşım sağladığına dikkat çekmişlerdir.

Salem *et al.* (2015), farklı toprak işleme uygulamalarının toprak özellikleri ve mısır verimine etkilerini inceledikleri çalışmada, doğrudan ekim uygulamasının genel olarak tüm toprak tabakalarında daha yüksek su potansiyeli, daha düşük toprak sıcaklığı sağladığını, geleneksel toprak işlemede tane veriminin doğrudan ekime göre % 15,4 daha fazla olduğunu bildirmişler, doğrudan ekim uygulamasında verim azalmasının nedenini toprak sıkışıklığındaki artış ve toprak sıcaklığındaki azalışla açıklamışlardır.

Shao *et al.* (2016), 2004-2012 yılları arasında farklı koruma amaçlı toprak işleme uygulamalarının toprak özellikleri ile buğday ve mısırın su kullanım verimliliği üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, geleneksel toprak işlemeye göre korumalı toprak işleme uygulamalarında toprağın üst tabakalarında toplam azotta % 2,3, % 4,2 ve % 1,7 oranlarında, fosforda % 3,8, % 37,8 ve % 36,9 oranlarında, potasyumda % 13,6, % 37,5 ve % 25,0 oranlarında ve organik maddede ise % 0,2, % 5,7, ve % 4,8 oranlarında artış sağlandığını bildirmişler, korumalı toprak işlemenin su kullanım verimliliğini ve bitkisel verimi buğdayda sırasıyla % 24,6 ve % 10,3, mısırdaki da % 15,9 ve % 17,4 oranında artırdığını belirlemişlerdir.

Buah *et al.* (2017), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında mısır ve soya fasulyesinin verimi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, doğrudan ekimde soya fasulyesinin tane veriminin geleneksel toprak işlemeye göre % 51, mısırdaki ise % 68 daha fazla olduğunu, hem mısır hemde soya fasulyesi için doğrudan ekim uygulamasının daha ekonomik ve verimi artırmaya yönelik bir üretim stratejisi sağladığını ifade etmişlerdir.

Si *et al.* (2018), saman malçı ile doğrudan ekim uygulamasının (NTSM) ve geleneksel toprak işlemenin (CT) mısırın verimi ve toprak özellikleri üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, NTSM uygulamasının yüzey toprağında (0-10 cm) partikül organik madde ve karbon, çözülmüş organik karbon ve mikrobiyal biyokütle karbon seviyelerini geleneksel işlemeye göre sırasıyla % 28,5, % 26,1 ve % 51,0 artırdığını, ancak geleneksel işlemeye göre NTSM uygulamasının mısır verimini önemli ölçüde azalttığını belirlemişlerdir.

Denardin *et al.* (2019), uzun süre farklı uygulamalarla işlenmiş toprakların özelliklerini inceledikleri çalışmada, verimin doğrudan ekim uygulamasında % 3,4 artış gösterdiğini ve bu artışın doğrudan ekim yönteminde organik madde içeriğindeki artışla ilişkili olduğunu, doğrudan ekim uygulamasının toprağın kütle yoğunluğunu, organik karbon, makro besin içeriği ile katyon değişim kapasitesini artırdığını bildirmişlerdir.

Thomas *et al.* (2019), 21 yıl boyunca geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarıyla yetiştirilen silajlık mısırdaki verim ve toprak özelliklerini inceledikleri çalışmada, doğrudan ekim koşullarında daha yüksek silajlık verim değerlerinin elde edildiğini, geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekimde agregat stabilitesinin, yarayışlı su miktarının, organik madde ve organik karbonun, pH'nın, N, P, K ve Mg içeriklerinin daha yüksek, Fe, Mn ve Cu içeriklerinin ise daha düşük olduğunu, silajlık mısır yetiştiriciliğinde hem bitki hem de toprak veriminin artırılmasına katkı sağlayan doğrudan ekim uygulamasının önemini ifade etmişlerdir.

da Silva *et al.* (2020), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamaları altında yetiştirilen soya fasulyesi, sorgum ve mısırın verimleri ile toprak özelliklerindeki değişimleri

inceledikleri çalışmada, geleneksel toprak işlemeyle kıyasla doğrudan ekim uygulamasında soya fasulyesinde % 6, sorgumda % 100 ve mısırdaki % 17 daha fazla verim alındığını, doğrudan ekimde organik madde ile organik karbonun ve toplam azot ile inorganik azotun daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Gozubuyuk *et al.* (2020), geleneksel toprak işleme, azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamaları altında dört farklı sulama suyu seviyesinin (tam ve tam sulamanın % 75, % 50 ve % 25'i) silajlık mısırın enerji kullanımı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, doğrudan ekim ve azaltılmış toprak işleme uygulamalarında geleneksel toprak işleme uygulamasına göre girdi enerjisinden sırasıyla % 17,4 ve % 9,1 oranlarında tasarruf sağlandığını bildirmişler, tüm sulama suyu seviyelerinde en yüksek silajlık verimin doğrudan ekim uygulamasından elde edilmesiyle en yüksek enerji oranı, enerji verimliliği ve net enerji ile en düşük özgül enerji değerlerinin doğrudan ekim uygulamasında olduğunu belirlemişlerdir. % 50'ye kadar daha az su miktarıyla sulanan doğrudan ekim uygulamasını, sağlamış olduğu yakıt tasarrufu ve enerji kullanım oranıyla etkili bir toprak işleme-ekim uygulaması olarak önerilebilir bulmuşlardır.

Alijani *et al.* (2021), buğday anızına doğrudan ekim, geleneksel toprak işleme ve azaltılmış toprak işleme uygulamaları altında farklı seviyelerde azot oranlarının (0 kg/ha, 69 kg/ha, 138 kg/ha ve 207 kg/ha) toprak özellikleri ile mısır bitkisinin verimine etkilerini inceledikleri çalışmada, doğrudan ekim ve azaltılmış toprak işleme uygulamalarında toprak organik karbon ve toplam azot içeriğinin geleneksel toprak işlemeyle göre daha yüksek olduğunu, en yüksek hacim ağırlığı ile en düşük pH değerlerinin elde edildiği doğrudan ekim uygulamasında, en düşük bitkisel verim ve kalite değerlerinin belirlendiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, en yüksek verim ve kalite değerlerinin azaltılmış toprak işleme uygulamasından elde edildiğini ancak doğrudan ekim uygulamasının da 207 kg/ha N dozuyla verim kayıplarını telafi edebildiğini belirtmişlerdir.

Mousavi-Boogar *et al.* (2021), kurak koşullarda doğrudan ekim, azaltılmış toprak işleme ve geleneksel toprak işleme uygulamalarının arpanın verimine ve toprak özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, doğrudan ekim yönteminde en yüksek tane ve biyolojik verim değerlerinin elde edildiğini, doğrudan ekim, azaltılmış toprak işleme ve geleneksel toprak işlemede tane verimlerin sırasıyla 5971,2 kg/ha, 5880,0 kg/ha ve 5852,4 kg/ha olduğunu, azaltılmış toprak işleme ve geleneksel toprak işlemeyle göre doğrudan ekim uygulamasında organik karbon, N, P, Mg ve Ca içeriklerinin arttığını bildirmişlerdir.

Literatür bilgilerinden, doğrudan ekim uygulamasının kullanılmasıyla toprak özelliklerinde genel iyileşmeyle verimin olumlu yönde etkilendiği, ayrıca doğrudan ekim

uygulamasıyla topraklarda karbon stoku ve nem tutulumunun da artırılarak sera gazı salımları azaltılmasına ve su kaynaklarının daha etkin kullanımına katkı sunulabileceği değerlendirilmiştir.

Küresel Isınma ve Tarımsal CO₂ Salınımı

Küresel ısınma, güneşten gelerek yüzeyden geriye yansıyan ışınların atmosferde ısıyı soğuran gazlar tarafından tutulması olarak tanımlanabilir. Atmosferde ısıyı soğuran gazlara sera gazları, oluşan etkiye ise bir seranın faaliyetine benzetildiği için sera etkisi denilmektedir. Kyoto Protokolüne göre, sera gazları başta karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitrozoksit (N₂O) olmak üzere hidroflorür karbon (HFCs), perfloro karbon (PFCs) ve sülfürhekza florid (SF₆) gazlarından oluşmaktadır (UNFCCC 1997).

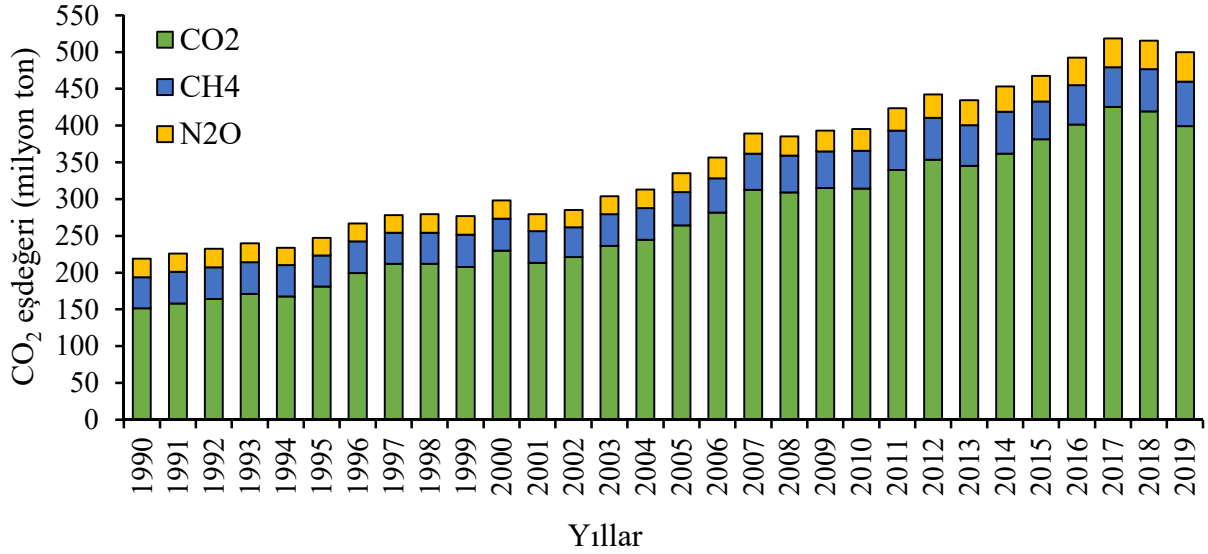
Sera gazlarının atmosferde doğal olarak var olan miktarları küresel ısınmaya neden olmazken, bu gazların artan miktarları tehlike oluşturmaktadır (Vurarak ve Bilgili 2015). CH₄ ve N₂O sırasıyla CO₂'den 21 kat ve 310 kat daha fazla küresel ısınmaya neden olmasına rağmen (Forster *et al.* 2007), CO₂'nin sera gazları arasındaki % 82'lik payı onu en önemli sera gazı olarak ele almaktadır (Thangarajan *et al.* 2012). CO₂ gazında yıllık artış miktarının % 0,2 ile % 0,8 arasında değişiklik gösterdiği ifade edilmektedir (Aksay vd 2005). 1700'lü yıllarda atmosferde 280 ppm civarında bulunan CO₂'in sanayi devrimiyle birlikte artmaya başladığı, 2004 yılında 378 ppm'e, 2005 yılında 379 ppm'e, 2007 yılında 383 ppm'e ve 2017 yılında ise 406 ppm seviyelerine kadar ulaştığı belirtilmiştir (Casper 2010; WMO 2019). Artışın bu hızla devam etmesi durumunda, 2050 yılında 450 ppm'e ulaşarak tarımsal üretimde önemli problemlere neden olacağı tahmin edilmektedir (Aksay vd 2005).

Uluslararası iklim değişikliği panelinde, CO₂ salınımı açısından dünyayı en çok kirleten üç ülkenin sırasıyla 5,5 milyar ton, 2,8 milyar ton ve 1,3 milyar ton ile ABD, Rusya ve Japonya olduğu ifade edilmiştir. Türkiye'nin bu raporda 13. sırada yer aldığı fakat son yıllarda % 73'lük bir artış oranıyla (Vurarak ve Bilgili 2015) en hızlı artış kaydeden ülkeler arasında olmasının endişe verici olduğu değerlendirilmektedir (Anonim 2018). Türkiye'nin temel sera gazı salınımı miktarları incelendiğinde, CO₂ salınımlarının sürekli artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 5) (TÜİK (2019)).

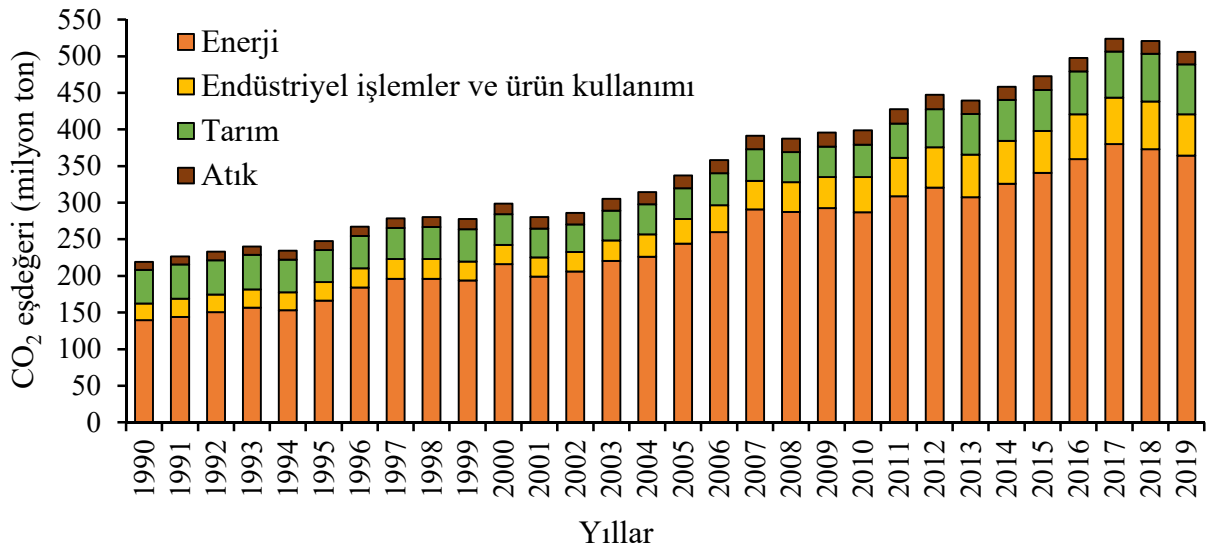
Fosil yakıtların tüketilmesi sera gazlarının dolayısıyla da küresel ısınmanın % 75'lik kısmını oluşturmaktadır. Geriye kalan % 25'lik kısmı ise tarımsal faaliyetler kaynaklanmaktadır (Houghton 2005; Pathak and Wassmann 2007; Tubiello *et al.* 2015; Vurarak ve Bilgili 2015). Tarım sektöründe sera gazı salınımı yaratan kaynaklar arasında; hayvansal faaliyetler, yanlış arazi kullanımı, bilinçsiz sulama ve gübreleme, çeltik tarlaları,

ormanlık alanların tahrip edilmesi, yoğun toprak işleme, tarım makinalarının egzoz gazları ve topraktaki organik karbon sıralanabilir (Denman *et al.* 2007; Kayıkçıoğlu ve Okur 2012; Tubiello *et al.* 2015; Vurarak ve Bilgili 2015; Biswas and Mojid 2018).

Türkiye'nin sektörlere göre sera gazı salınım değerleri incelendiğinde, tüm dünyada olduğu gibi enerji sektöründen kaynaklanan salınım değerlerinin daha fazla olduğu, ikinci sırada tarım sektörünün bulunduğu, salınımların özellikle 2005 yılından itibaren önemli artışlar gösterdiği görülmektedir (Şekil 6) (TÜİK 2019).



Şekil 5. Türkiye'nin temel sera gazı salınımı miktarları (TÜİK 2019)



Şekil 6. Türkiye'nin sektörlere göre sera gazı salınımı miktarları (TÜİK 2019)

Topraktan CO₂ salınımı toprak nemi ve sıcaklığı ile toprak işleme başta olmak üzere (Evans and Burke 2013) toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerindeki değişimlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Haddaway *et al.* 2016). Toprağın nemli tutulması bitki

gelişimini artırarak köklerden ve ölü bitki artıklarından toprağa daha fazla karbon kazanımı sağlamaktadır (Entry *et al.* 2008). Sulama veya yağışlarla artan toprak nemi mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek organik maddenin bozulmasıyla CO₂ salınımını artırmaktadır (Liu *et al.* 2008; Jabro *et al.* 2008). Dolayısıyla kısıntılı sulama uygulamalarında salınım miktarı önemli ölçüde azalmaktadır (Zornoza *et al.* 2016). Toprak sıcaklığı da mikroorganizma faaliyetini etkilediği için CO₂ salınımında önemli bir faktördür. Sainju *et al.* (2008), Chen *et al.* (2018), Du *et al.* (2019) ile Zhao *et al.* (2020), CO₂ salınımı ve toprak sıcaklığı arasında pozitif lineer bir ilişkinin olduğunu bildirmişlerdir. Fakat toprağa su girişiyle yüzey toprağın serinletilmesi etkisiyle CO₂ salınımında ortam sıcaklığı değişkenliğine bağlı olarak artma veya azalma eğilimleri görülebilmektedir (Mancinelli *et al.* 2015).

Toprak işleme hem toprağın O₂ seviyesini artırdığı hem de yüzey artıklarının toprak partikülleri ile daha fazla temasını sağladığı için mikrobiyal faaliyetlere daha uygun ortam oluşturarak bu faaliyetlerin hızını artırmaktadır (Vurarak ve Bilgili, 2015). Yine toprak işleme, toprağın fiziksel özelliklerini de etkilediği için CO₂ salınımına neden olabilmektedir (De Oliveira Silva *et al.* 2019). Yoğun toprak işleme organik maddenin parçalanmasını da artırdığından atmosferdeki CO₂ için kaynak oluşturan önemli bir tarımsal uygulama olarak değerlendirilmektedir. Tersine doğrudan ekim uygulaması CO₂ salınımını azaltan bir uygulama olmasının yanı sıra toprakta nem ve karbon tutulumunu artırarak toprak ve bitki verimliliğine de önemli katkılar sağlamaktadır (Koçyiğit 2008).

Atık sularla yapılan sulamalarda atık suyun organik bileşiminden dolayı toprakların organik karbon miktarı artmaktadır. Bir çalışmada Biswas and Mojid (2018), atık sularla sulanan toprakların organik karbon içeriğinin temiz suyla sulanan topraklara göre % 24 daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Topraklarda organik karbonun artması bitki ve toprak verimliliği açısından arzu edilen bir durum olmasına rağmen, bu durum yönetilemediğinde artan karbon CO₂ salınımlarının da kaynağını oluşturmaktadır. Bu nedenle atık sularla sulamada toprakta karbon tutulumunu artırıcı veya salınımı azaltıcı uygulamalara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu uygulamalar toprak işlemenin azaltılması, kontrollü ve kısıntılı sulama uygulamaları, aşırı gübre kullanımından kaçınma ve tarımsal artıkların tekrar değerlendirilmesi olarak belirtilebilir (Six *et al.* 2004; Entry *et al.* 2008; Sainju *et al.* 2008; Mancinelli *et al.* 2010; Mancinelli *et al.* 2015; Zornoza *et al.* 2016). Dolayısıyla, koruyucu toprak işleme ve kısıntılı sulama uygulamaları gibi kolay ve pratik yaklaşımlarla toprağın organik karbon için bir hazne (yutak) olarak kullanılması sağlanabilir ve böylece hem CO₂ salınımının azaltılması hem de bitki-toprak verimliliğinin artırılması mümkün hale getirilmiş olur.

Tarımsal CO₂ Salınımıyla İlgili Çalışmalar

Akbolat vd (2007), Isparta’da elma bahçelerinde yabancı ot kontrolü için rototiller ve diskaro kullanımının topraktan CO₂ salınımı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, rototiller ve diskaro için CO₂ salınımının sırasıyla 0,768 umol/m²/s ve 0,811 umol/m²/s olduğunu belirtmişler, CO₂ salınımının toprak işlemeden sonra giderek azaldığını ve 144 saat sonra sabit seviyelere ulaştığını bildirmişlerdir.

Ding *et al.* (2007), mısır yetiştiriciliğinde farklı miktarlarda azotlu gübre uygulamalarının topraktan CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, 0 kg/ha, 150 kg/ha ve 250 kg/ha azot uygulamalarında sezonluk CO₂ değerlerinin sırasıyla 598, 541 ve 539 g CO/m² olduğunu ve azot gübrelemesinin CO₂ salınımını % 10,5 seviyesinde azalttığını belirtmişler, CO₂ salınımının toprak neminden etkilenmediğini ancak CO₂ salınımıyla toprak sıcaklığı arasında önemli bir ilişkinin olduğunu ifade etmişlerdir.

Haile-Mariam *et al.* (2008), mısır ve patates yetiştiriciliğinde geleneksel ve azaltılmış toprak işleme uygulamalarından kaynaklı topraktan CO₂ salınımlarını inceledikleri çalışmada, mısırın vejetasyon periyodu süresince geleneksel ve azaltılmış toprak işlemede CO₂ salınımının sırasıyla 2071 ve 1684 kg/CO₂-C/ha, patates için ise aynı sıra ile 1571 ve 1256 kg/CO₂-C/ha olduğunu ve CO₂ salınımlarının azaltılmasında azaltılmış toprak işlemenin önemli katkılar sağladığını belirtmişlerdir.

Jabro *et al.* (2008), kuru ve sulu tarım koşullarında, toprak işlemenin yapıldığı ve yapılmadığı (doğrudan ekim) durumda, azotlu gübre kullanımının (0 ve 134 kg/ha N) topraktardan CO₂ salınımı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, gübrelemenin gübre uygulanmayan koşullara göre CO₂ salınımını % 14 artırdığını, toprak işlemenin yapılmadığı şartlarda CO₂ salınımının % 62 ile % 118 oranlarında azaldığını ve sulamanın kuru tarım koşullarına göre CO₂ salınımını % 13 artırdığını belirlemişlerdir.

Akbolat (2009), tohum yatağı hazırlığında farklı ağırlıklardaki tapanların topraktan CO₂ salınımı üzerine etkisini incelediği çalışmada, CO₂ salınımının tapan kullanılmayan ve 45 ile 60 kg ağırlığında tapanların kullanıldığı koşullarda sırasıyla 0,104 g/m²/h, 0,043 g/m²/h ve 0,037 g/m²/h olduğunu ve artan tapan ağırlığıyla toprakta artan sıkışmaya bağlı olarak CO₂ salınımının azalma eğilimi gösterdiğini bildirmiştir.

Akbolat *et al.* (2009), Isparta koşullarında buğday hasadından sonra nadasa bırakılan bir tarlada bıçaklı pulluk, keski pulluk, döner yeke, diskaro ve doğrudan ekim uygulamalarından kaynaklı topraktan CO₂ salınımını inceledikleri çalışmada, en düşük ortalama CO₂ salınımlarının sırasıyla doğrudan ekim (0,3 g/m²/h) ve diskaro (0,7 g/m²/h) uygulamalarından

elde edildiğini, toprak işlemeden sonraki 12. günde gerçekleşen yüksek yağış miktarına bağlı olarak tüm uygulamalarda CO₂ salınımlarının arttığını ancak doğrudan ekimde bu artışın daha düşük seviyelerde olduğunu ve ayrıca CO₂ salınımını ile toprak nemi ve sıcaklığı arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu belirtmişlerdir.

Fernández-Luqueño *et al.* (2010), mısır yetiştiriciliğinde temiz su ve atık suyla sulamanın CO₂, CH₄ ve N₂O salınımları üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın sadece CO₂ salınımına neden olduğunu, CH₄ ve N₂O salınımlarında önemli bir etkiye sahip olmadığını bildirmiş, temiz suyla sulanan parsellere göre atık suyla sulanan parsellerde CO₂ salınımının 3,2 kat arttığını ifade etmişlerdir.

Şenyiğit ve Akbolat (2010), farklı sulama yöntemlerinin CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, damla, yağmurlama ve salma sulama yöntemlerinde CO₂ salınımlarının sırasıyla 0,065 g/m²/h, 0,071 g/m²/h ve 0,084 g/m²/h olduğunu, damla sulama yönteminde yüzey sulamaya göre % 29, yağmurlama sulama yöntemine göre ise % 9 daha az CO₂ salınımı gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Chen *et al.* (2011), hayvancılık işletmesi atık suyu, endüstriyel atık su ve kentsel atık suyun topraklardan salınan N₂O ve CO₂ değerlerine etkisini inceledikleri çalışmada, en yüksek N₂O salınımının endüstriyel atık suyla sulama uygulamasında, en yüksek CO₂ salınımının ise kentsel atık suyla sulama uygulamasında elde edildiğini, sulamadan 4 saat önce salınım değerlerinin makul seviyelere ulaştığını, ancak sulamayla beraber salınım değerlerinin önemli seviyelerde artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Moussadek *et al.* (2011), çizel, diskli pulluk ve doğrudan ekim uygulamalarının CO₂ salınımlarına etkisini inceledikleri çalışmada, çizel, diskli pulluk ve doğrudan ekim uygulamalarında CO₂ salınımlarının sırasıyla 2,1 g/m²/h, 4,9 g/m²/h ve 0,7 g/m²/h olduğunu, artan toprak işleme derinliğiyle CO₂ salınımının arttığını ve ayrıca toprak sıcaklığı ve toprak neminin CO₂ salınımıyla düşük seviyede korelasyon gösterdiğini belirtmişlerdir.

Cheng-Fang *et al.* (2012), Çin'de geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında 0 ve 210 kg/ha azotlu gübre kullanımının CO₂ ve CH₄ salınımı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, azotlu gübrelemenin CH₄ salınımını % 13 ile % 66 oranında artırdığını ancak her iki yılda da azotlu gübre kullanımının CO₂ salınımı üzerindeki etkisinin önemsiz olduğunu, doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeye göre CO₂ salınımının % 22 ile % 40 aralığında azalış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Xue *et al.* (2012), farklı seviyelerde temiz suyla seyreltilmiş atık suların ve azotlu gübre kullanımının topraktan CO₂ salınımı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, temiz suyla %

% 40, % 60 ve % 80 seviyelerinde seyreltilmiş atık sularla sulamada salınım değerlerinin azotlu gübre kullanımında 2,40 mg/kg, 3,66 mg/kg ve 2,93 mg/kg, kullanılmadığında ise 1,47 mg/kg, 1,94 mg/kg ve 2,26 mg/kg seviyelerinde yer aldığını, atık suların temiz sularla seyreltme seviyesinin artmasıyla salınım değerlerinin azaldığını ve azotlu gübre kullanımının artmasıyla CO₂ salınımının da arttığını bildirilmişler, atık su kullanımıyla artan CO₂ salınımının atık suyla sulanan topraklarda artan karbon içeriğinin bir yansıması olarak değerlendirmişlerdir

Liu *et al.* (2013), toprağın döndürülerek işlendiği (PT), yüzeysel işlendiği (RT) ve doğrudan ekimin yapıldığı (NT) uygulamalarda, bitki artıklarının arazi yüzeyinde bırakıldığı (SR) ve bırakılmadığı (NS) koşulların CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, vejetasyon periyodu boyunca en düşük salınımın NT-SR uygulamasında, en yüksek salınımın ise PT-NS uygulamasında elde edildiğini belirtmişler, CO₂ salınımı ile toprak sıcaklığı arasında pozitif, CO₂ salınımı ile toprak nemi arasında ise negatif korelasyonun olduğunu bildirmişler, CO₂ salınımının azaltılması için bitkisel atık yönetiminin etkili olduğunu sonucunu vurgulamışlardır.

Nosalewicz *et al.* (2013), arıtılmış atık su, temiz su ve temiz su + atık su karışımıyla (1:1) sulama uygulamalarının topraktan CO₂ salınımı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, arıtılmış atık suyun yüksek besin içeriğinden kaynaklı olarak topraktan CO₂ salınımını önemli seviyede artırdığını, özellikle toprağın 10-30 cm'lik tabakasında artan toprak sıcaklığı ve toprak nemiyle CO₂ salınım değerlerinin artış gösterdiğini ve aralarında yüksek korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Křištof *et al.* (2014), pullukla geleneksel toprak işleme, diskle azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında topraktan CO₂ salınımlarını inceledikleri çalışmada, azalan toprak işleme derinliğiyle CO₂ salınımının da azaldığını, doğrudan ekime göre (2,014 µmol/m²/s) azaltılmış (2,889 µmol/m²/s) ve geleneksel toprak işleme (4,318 µmol/m²/s) uygulamalarında ortalama CO₂ salınımlarının sırasıyla % 43 ve % 114 arttığını belirtmişlerdir.

Talantimur (2014), farklı toprak işleme uygulamalarında CO₂ salınımlarını araştırdığı çalışmada, artan toprak işleme yoğunluğu ve derinliğine bağlı olarak sezonluk CO₂ salınımlarının arttığını, yatay milli L tipi rototiller, yatay milli I tipi rototiller ve dikey milli rototiller olmak üzere üç farklı azaltılmış toprak işleme ve geleneksel toprak işleme uygulamaları için sezonluk CO₂ salınım değerlerinin sırasıyla 21 940 kg CO₂/ha, 21 490 kg CO₂/ha, 21 980 kg CO₂/ha ve 23 010 kg CO₂/ha olduğunu bildirmiştir.

Maris *et al.* (2015), yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemleriyle % 100 ve % 50 seviyelerinde sulamaların topraktan CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, kısıntılı sulama yaklaşımlarıyla CO₂ salınımlarının azaltılabileceğini belirtmişler, sezonluk

CO₂ salınım değerlerinin yüzey üstü damla sulamada % 100 ve % 50 sulama seviyeleri için sırasıyla 771 kg/ha ve 681 kg/ha, yüzey altı damla sulamada ise aynı sulama suyu seviyeleri için sırasıyla 801 kg/ha ve 645 kg/ha olduğunu belirtmişlerdir.

Mancinelli *et al.* (2015), çeşitli organik malçların, azotlu gübrelemenin (0 ve 100 kg/ha) ve farklı sulama suyu seviyelerinin (% 100, % 75 ve % 50) CO₂ salınımı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, CO₂ salınımının zamana bağlı olarak ve su kısıntısıyla azaldığını, toprağa su girişinin yüzey toprağını serinletmesiyle CO₂ salınımının ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiğini ifade etmişlerdir.

Akbolat *et al.* (2016), Adana koşullarında soya fasulyesi yetiştiriciliğinde farklı toprak işleme uygulamalarının CO₂ ve H₂O salınımı ile toprak sıcaklığı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, anız yakma, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ortalama CO₂ salınımının sırasıyla 0,028 g/m²/h, 0,036 g/m²/h ve 0,025 g/m²/h, ortalama toprak buharlaşmasının (H₂O) sırasıyla 4,37 g/m²/h, 4,38 g/m²/h ve 3,50 g/m²/h, ortalama toprak sıcaklığının ise sırasıyla 28,7 °C, 28,8 °C ve 28,9 °C olduğunu fakat H₂O dışında diğer parametrelerde uygulamalar arasında istatistiksel açıdan farklılık olmadığını bildirmişlerdir.

Bilandžija *et al.* (2016), farklı toprak işleme uygulamaları altında mısır ve buğdayın yetiştirme sezonlarında topraktan CO₂ salınımlarını inceledikleri çalışmada, mısır ve buğday için ortalama aylık CO₂ salınımlarının sırasıyla 6,2 kg/ha ile 33,6 kg/ha ve 22,1 kg/ha ile 36,2 kg/ha aralığında değişiklik gösterdiği ve salınım değerlerinin mevsimlere göre yaz>ilkbahar>sonbahar şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, CO₂ salınımını azaltıcı en ideal toprak işleme uygulamasının azaltılmış toprak işleme olduğunu ancak CO₂ salınımının sadece toprak işlemeye bağlı olarak da değerlendirilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Fares *et al.* (2017), damla sulama yöntemiyle % 75, % 100 ve % 125 seviyelerinde sulanan mısır tarlasına farklı dozlarda azot uygulanmasının (0, 168, 336 ve 672 kg/ha) topraktan CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, artan azot dozlarıyla toprak biyolojisindeki artışa bağlı olarak CO₂ salınımlarının da artış gösterdiğini, sulama suyu seviyesinin artmasıyla CO₂ salınımlarının arttığını ancak bu artışın önemli olmadığını, toprak nemi ile CO₂ salınımı arasında da pozitif bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Törö *et al.* (2017), farklı miktarlarda azotlu gübre dozlarının (0 kg/ha, 80 kg/ha ve 160 kg/ha) ve toprak işleme uygulamalarının (kulaklı pulluk, şeritsel işleme ve çizel) CO₂ salınımı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada, en yüksek CO₂ salınımını ilk yıl kulaklı pulluk uygulamasından, ikinci yıl ise çizel uygulamasından elde edildiğini, azotlu gübrelerden kaynaklanan en yüksek salınımın 80 kg/ha uygulamasında olduğunu, 160 kg/ha azotlu gübre

uygulamasında CO₂ salınımının 0 kg/ha uygulamasına göre daha düşük bulunduğunu ve bu durumun da artan azotlu gübreleme miktarıyla toprak mikrobiyal faaliyet hızının azalmasıyla ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Al-Azzawi (2018), 15 cm, 25 cm ve 35 cm toprak derinliklerinde çizel kullanılarak tohum yatağı hazırlığının CO₂ salınımına etkilerini incelediği çalışmada, 15 cm, 25 cm, 35 cm ve kontrol uygulamalarının CO₂ salınım değerlerini sırasıyla 0,148 g/m²/h, 0,172 g/m²/h, 0,213 g/m²/h ve 0,165 g/m²/h, H₂O salınım değerlerini sırasıyla 4,51 g/m²/h, 5,27 g/m²/h, 5,76 g/m²/h ve 5,26 g/m²/h olarak belirlemiş, CO₂ salınımıyla toprak buharlaşması (H₂O) arasında pozitif bir korelasyon olduğunu, yoğun toprak işlemenin CO₂ salınımını artırmanın yanı sıra topraktan nem kaybını da artırdığını ifade etmişlerdir.

Behnke *et al.* (2018), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında yetiştirilen farklı bitki rotasyonlarının (silajlık mısır, soya fasulyesi ve buğday) CO₂, CH₄ ve N₂O salınımlarına etkilerini inceledikleri çalışmada, CO₂ salınımının rotasyon ve toprak işleme uygulamalarından önemli seviyede etkilendiğini ve geleneksel toprak işlemenin doğrudan ekim yöntemine göre % 10 daha fazla CO₂ salınımına neden olduğunu, ayrıca doğrudan ekim uygulamasının silajlık mısır, soya fasulyesi ve buğdayın verimini de artırdığını belirlemişlerdir.

Buragiene *et al.* (2019), farklı toprak işleme uygulamalarının CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, pullukla derin ve yüzeysel toprak işleme, kültivatörle toprak işleme, diskli tırmık ile toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarından salınan CO₂ miktarlarının sırasıyla 6,05 umol/m²/s, 4,25 umol/m²/s, 4,97 umol/m²/s, 4,42 umol/m²/s ve 3,94 umol/m²/s olduğunu belirtmişler, CO₂ salınımı ile toprak gözenekliliği arasında güçlü bir negatif korelasyonun olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Oliveira Silva *et al.* (2019), farklı toprak işleme uygulamalarının (yoğun toprak işleme: döner çapa + geleneksel tesviye tırmığı, azaltılmış toprak işleme: diskli tırmık + tesviye tırmığı ve doğrudan ekim: toprak işlemesiz) CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, toprak işlemeyen bir gün sonra yoğun toprak işlemede CO₂ salınımının (3,86 umol/m²/s) azaltılmış toprak işlemeye göre (2,06 umol/m²/s) % 87, doğrudan ekim uygulamasına göre (1,56 umol/m²/s) % 147 daha yüksek olduğunu belirtmişler, CO₂ salınımının 12. günden itibaren azaldığını bildirmişlerdir.

Guo *et al.* (2019), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında mısır yetiştiriciliğinde CO₂ salınımını inceledikleri çalışmada, doğrudan ekimin geleneksel toprak işlemeye göre karbon emisyonlarını ve su tüketimini önemli ölçüde azalttığını, birinci ve ikinci yılda mısırın tane verimini de sırasıyla % 11,3 ve % 7,4 oranlarında artırdığını belirlemişlerdir.

Akhtar *et al.* (2020), buğday üretiminde farklı dozlarda azotlu gübre kullanımının (N1: 0 kg/ha N2: 192 kg/ha ve N3: 240 kg/ha) ve farklı miktarlarda mısır samanı malçlama uygulamalarının (S1: 0 kg/ha, S2: 4500 kg/ha, S3: 9000 kg/ha) CO₂ ve N₂O salınımına etkilerini araştırdıkları çalışmada, buğdayın vejetasyon periyodu boyunca salınan CO₂ ve N₂O miktarlarının S3N2 uygulamasında S3N3 uygulamasına göre sırasıyla % 0,7 ve % 33,7 azaldığını, 0-10 cm toprak derinliğinde ortalama toprak nem içeriğinin S1N1'e kıyasla, S3N2 ve S3N3 uygulamalarında sırasıyla % 10,0 ve % 10,6 daha fazla olduğunu bulmuşlar. N2S3 uygulamasının bitkisel verimi artırmak ve topraktan CO₂ ile N₂O salınımlarını azaltmak için önerilebilir bir uygulama olduğunu belirtmişlerdir.

Franco-Luesma *et al.* (2020), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında salma ve yağmurlama sulama yöntemleriyle mısır yetiştirilen topraklardan salınan CO₂ ve CH₄ salınımlarını inceledikleri çalışmada, toprak işleme ve sulama yöntemlerinin CO₂ salınımını önemli ölçüde etkilediğini, üç yıl boyunca en yüksek CO₂ salınımını geleneksel toprak işleme uygulanan ve yağmurlama sulama yöntemiyle sulanan koşullarda (3,28 mg CO₂-C/ha) elde edildiğini, doğrudan ekim uygulamasında CO₂ salınımının geleneksel toprak işlemeye göre % 42 daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.

Hou *et al.* (2020), farklı sulama suyu seviyeleriyle (% 100, % 40 ve % 20) sulanan mısır tarlasında CO₂ salınımlarını inceledikleri çalışmada, % 20 ve % 40 seviyelerinde kısıntılı sulama uygulamalarında CO₂ salınımlarının tam sulama uygulamasına göre sırasıyla % 9,8 ve % 14,3 azaldığını, CO₂ salınımının toprak nemi ve toprak sıcaklığı ile önemli korelasyonlar gösterdiğini, % 20 seviyesinde kısıntılı sulama uygulamasının mısırın verimini ve kalitesini önemli ölçüde etkilemeden topraktan CO₂ salınımlarında önemli bir azalışa yol açtığını bildirmişlerdir.

Shakeel *et al.* (2021), arıtılmış atık su, ham atık su ve temiz suyla sulamanın mısırın biyolojik verimi, toprak özellikleri ve topraktan CO₂ salınımları üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, atık suyla sulamanın bitki büyümesi için gerekli olan toprak organik maddesini ve makro besinleri önemli ölçüde artırdığını, ancak atık suyla sulamanın önemli oranda CO₂ salınımlarına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Wei *et al.* (2021), salma ve damla sulama yöntemleri altında farklı sulama suyu tuzluluklarının (1,1 g/L, 2,0 g/L, 3,5 g/L ve 5,0 g/L) CO₂ salınımına etkilerini inceledikleri çalışmada, salma sulama yöntemine göre damla sulama yönteminde salınım değerlerinin azaldığını ve tuzluluk seviyesindeki azalma ile CO₂ salınımının arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca, yıllık CO₂ salınımlarının % 84'ünün bitki büyüme döneminde gerçekleştiğine, nadasa bırakılan

dönemde konular arasında salınım açısından önemli bir farklılık oluşmadığına dikkat çekmişlerdir.

Zhong *et al.* (2021), farklı sulama suyu seviyelerinin (% 10, % 20, % 30, % 40, % 50 ve % 100) CO₂ ve N₂O salınımı üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, CO₂ salınımlarının tam sulamaya göre % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 50 sulama suyu kısıntılarında sırasıyla % 8,6, % 5,7, % 14,3, % 14,1 ve % 19,3 azaldığını, farklı sulama suyu seviyelerinde CO₂ salınımının toprak sıcaklığıyla doğrusal bir ilişki gösterdiğini ve % 30 sulama suyu kısıntısının buğday veriminin korunması ve sera gazı salınımlarının azaltılması için en ideal uygulama olduğunu belirtmişlerdir.

Literatür bilgilerinden, yoğun toprak işleme ve aşırı sulamaların topraklardan CO₂ salınımlarını artırdığı, bu nedenle daha az salınımına sebep olan ve toprakta nem ile karbon tutulumunu artıran doğrudan ekim uygulamasının kısıntılı sulama teknikleriyle kullanılmasının hem çevreci bir üretim hem de verim ve toprak üretkenliğinin artırılması için önemli bir seçenek olarak değerlendirilebileceği ifade edilebilir. Ayrıca doğrudan ekim uygulamasıyla yakıt tasarrufu yanında fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı salınımlarının da azaltılabileceği dikkate alındığında, tarımsal uygulamalarda doğrudan ekim pratiğinin ön planda olması gerektiği değerlendirilmiştir.

Silajlık Mısırın Önemi ve Verim-Kalitesiyle İlgili Çalışmalar

Buğdaygiller (Poaceae) familyasının Maydeae oymağında yer alan mısır (*Zea mays* L.), yüksek kuru madde üreten ve güneş enerjisini çok iyi değerlendiren bir C4 bitkisidir (Karaşahin 2008). Kuru madde içeriğinin ve yeşil ot veriminin yüksek olması yanında katkı maddesi gerektirmeden silaj yapımına uygun olması nedeniyle de, mısır bitkisi hayvan beslenmesinde önemli bir yem kaynağı olarak tercih edilmektedir (Keskin vd 2018). Özellikle son yıllarda kaba yem talebinin artmasıyla, mısırın et ve süt hayvancılığında verimi artırmaya yönelik kullanım talebi de artış göstermiştir (Erdal vd 2009).

Mısır özel aroması ve kimyasal yapısıyla silaj yapımına en uygun bitkilerden birisidir. Bir araştırmada mısır, ayçiçeği, koca darı ve sudan otunun silaj kalitesi incelenmiş ve en iyi kalitede silajın mısırdan elde edildiği bildirilmiştir (Güney 2005). Silajlık mısır katkı maddesine gerek duymadan fermente olma özelliğiyle tek başına silolanabilme avantajına sahiptir (Denek vd 2004). Ayrıca saklama ve kullanım kolaylığı, kayıp oranının az olması, yüksek enerji değeri ve kolay sindirilebilmesi mısırın yem değerini daha da artırmaktadır (Olgun vd 2012; Özata vd 2012).

Mısırın anavatanının Amerika kıtası olduğu, buradan dünyanın diğer bölgelerine yayıldığı, Amerika kıtasında keşfedildikten sonra gemilerle ilk olarak İspanya'ya oradan da Afrika ve Asya kıtalarına taşındığı bilinmektedir. Türkiye'ye ilk girişinin 1600'lü yıllarda olduğu tahmin edilmektedir. Bu bitkiye mısır adı verilmesinin nedeninin Türkiye'ye girişinin Suriye ve Mısır üzerinden olmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Kırtok 1998). Geniş yelpazede iklim ve toprak koşullarına adapte olabilme özelliğine sahip olan mısır, dünya üzerinde Antartika hariç her bölgede sıklıkla yetiştirilmektedir. (Babaoğlu 2015).

Mısır, tahıllar arasında dünyada toplam ekiliş alanı bakımından buğday ve çeltikten sonra gelmekte, toplam üretim açısından da ilk sırada yer almaktadır (Karaşahin 2008). Dünyada 2019 yılı verilerine göre 197 204 250 ha alanda 1 148 487 291 ton mısır üretimi yapılmaktadır (Anonymous 2019). Üretilen mısırın % 65-70'i hayvan beslenmesinde, % 20-25'i insan beslenmesinde geriye kalan kısmı ise sanayi sektöründe değerlendirilmektedir. Gelişmiş ülkelerde mısırın hayvan beslenmesinde kullanım oranı % 90'lara kadar çıkabilmektedir (Babaoğlu 2015). Türkiye'de 2020 yılı verilerine göre 520 589 ha alanda 27 186 949 ton mısır üretimi yapılmaktadır (TÜİK 2020). Türkiye'de üretilen mısırın % 70'i hayvan yemi olarak % 20'si nişasta üretiminde geri kalan kısmı ise mısır yağı, glikol ve etanol üretiminde kullanılmaktadır (Çevik 2012).

Erdal vd (2009), Antalya ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, silajlık verimin 2074 kg/da ile 8070 kg/da, kuru madde veriminin 1877 kg/da ile 2922 kg/da, bitki boyunun 226 cm ile 303 cm ve ham protein oranının % 7,3 ile % 8,2 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir. OSSK 644 çeşidinin bitki boyunu, ham protein oranını, ham yağ oranını, ham selüloz oranını, silajlık verim ve kuru madde oranını sırasıyla 275,0 cm, % 7,4, % 3,6, % 17,8, 5534 kg/da ve 1877 kg/da olarak belirlemişlerdir.

Güney vd (2010), Erzurum ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, silajlık verimin 5038 kg/da ile 7032 kg/da, kuru madde oranının % 25,3 ile % 31,6, bitki boyunun 218,7 cm ile 276,3 cm, ham protein oranının % 8,3 ile % 10,3 ve NDF oranının % 46,8 ile % 56,9 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir. OSSK 644 çeşidinin bitki boyunu, ham protein oranını, NDF oranını, kuru madde oranını ve silajlık verimini sırasıyla 276,3 cm, % 8,8, % 49,4, % 26,1 ve 6682 kg/da olarak belirtmişlerdir.

Küçük (2011), Ankara ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini incelediği çalışmada, silajlık veriminin 4078 kg/da ile 6537 kg/da, kuru madde veriminin 1375 kg/da ile 2153 kg/da, bitki boyunun 254 cm ile 293 cm, ilk koçan yüksekliğinin

113,3 cm ile 152,0 cm, ham protein oranının % 7,9 ile % 9,1 ve ham protein veriminin 119,8 kg/da ile 174,2 kg/da arasında değişiklik gösterdiğini bildirmiştir.

Özata vd (2012), Samsun ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, silajlık veriminin 3340 kg/da ile 6297 kg/da, kuru madde veriminin 1104 kg/da ile 1815 kg/da, bitki boyunun 280 cm ile 324 cm, ham protein oranının % 5,2 ile % 9,1, ADF oranının % 24,1 ile % 40,9, NDF oranının % 47,5 ile % 58,9, Ca içeriğinin % 0,17 ile % 0,35, Mg içeriğinin % 0,17 ile % 0,34, P içeriğinin % 0,11 ile % 0,21 ve K içeriğinin % 0,88 ile % 1,40 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Koca (2013), Kayseri ekolojisinde ikinci ürün olarak yetiştirilen farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini incelediğı çalışmada, silajlık verimin 3207 kg/da ile 5577 kg/da, kuru madde oranının % 15,4 ile % 47,2, bitki boyunun 94,1 cm ile 252,7 cm, bitki gövde çapının 21,5 mm ile 28,3 mm ve ham protein oranının % 4,8 ile % 9,5 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmiştir.

Kabakçı (2014), Iğdır ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini incelediğı çalışmada, silajlık verimin 4674 kg/da ile 8754 kg/da, kuru madde veriminin 1118 kg/da ile 2570 kg/da, bitki boyunun 256,0 cm ile 319,0 cm, ilk koçan yüksekliğinin 138,3 cm ile 177,7 cm, bitkide yaprak sayısının 9,8 adet ile 11,6 adet ve ham protein oranının % 4,8 ile % 7,0 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmiştir.

Kuşvuran vd (2015), Kızılırmak Havzası'nda farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, kuru madde açısından en yüksek değerin 4163 kg/da ile Donana, 2575 kg/da ile NK-Arma, 2523 kg/da ile Larigal ve 2495 kg/da ile Cadiz çeşitlerinden elde edildiğini bildirmişlerdir. OSSK 644 çeşidinin bitki boyunu, ham protein oranını, silajlık ve kuru madde verimini sırasıyla 260 cm, % 5,4, 9913 kg/da ve 3093 kg/da olarak belirtmişlerdir.

Günen (2016), Tokat-Zile ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini incelediğı çalışmada, ADF oranının % 31,8 ile % 36,9, NDF oranının % 48,7 ile % 59,4, kuru madde veriminin 850 kg/da ile 1534 kg/da, bitki boyunun 239,4 cm ile 299,4 cm arasında değişiklik gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca, çalışma sonucunda, çeşitler arasında ham protein oranı bakımından önemli farklılıkların bulunmadığı belirtilmiştir.

Aydın ve Kahraman (2017), Diyarbakır ekolojisinde ana ve ikinci ürün olarak yetiştirilen farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, ana ürün ve ikinci ürün olarak sırasıyla bitki boyunun 257,2 cm ile 271,2 cm, klorofil

miktarının 52,1 ile 56,6 ve ham protein oranının % 8,3 ile % 9,1 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Yıldız ve Erdoğan (2018), Van ekolojisinde OSSK 644 silajlık mısır çeşidinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, silajlık ve kuru madde veriminin, bitki boyunun, ham protein oranının ve ADF ile NDF oranının sırasıyla 6587 kg/da, 1796 kg/da, 275 cm, % 4,8, % 30,5 ve % 50,9 olduğunu bildirmişlerdir.

Güney ve Tan (2019), Erzurum ekolojisinde farklı olgunlaşma süresine sahip silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, bitki boyu, kuru madde oranı, silajlık verim, ham protein, ADF ve NDF değerlerinin sırasıyla 179,0 cm ile 211,0 cm, % 24,0 ile % 24,8, 7000 kg/da ile 7857 kg/da, % 9,6 ile % 9,8, % 34,0 ile % 34,2, % 39,8 ile % 40,2 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir. OSSK 644 çeşidinin bitki boyu, kuru madde oranı, silajlık verim, ham protein, ADF ve NDF değerlerinin sırasıyla 211,0 cm, % 30,1, 7556 kg/da, % 9,6, % 34,2, % 40,2 olduğunu bildirmişlerdir.

Topaloğlu ve Soylu (2019), Antalya ve Mersin ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, Antalya ve Mersin için silajlık verimin OSSK644, BURAK, PR31A34 ve HİDO çeşitleri için sırasıyla 5462 kg/da ve 6564 kg/da, 6998 kg/da ve 8128 kg/da, 6579 kg/da ve 6866 kg/da, 7337 kg/da ve 8111 kg/da olduğunu bildirmişlerdir.

Öner and Güneş (2019), Ordu ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, bitki boyunun 309,9 cm ile 365,2 cm, ilk koçan yüksekliğinin 99,8 cm ile 150,0 cm, bitki gövde çapının 23,5 mm ile 27,8 mm, silajlık verimin 6736 kg/da ile 9476 kg/da, kuru madde veriminin 2166 kg/da ile 3569 kg/da, ham protein oranının % 7,6 ile % 9,3, ADF oranının % 25,6 ile % 30,8 ve NDF oranının % 50,6 ile % 57,4 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir. OSSK 644 çeşidinin bitki boyu, ilk koçan yüksekliği, bitki gövde çapı, silajlık verim, kuru madde verimi, ham protein oranı, ADF ve NDF değerlerini sırasıyla 365,2 cm, 150,6 cm, 24,13 mm, 7128 kg/da, 2603 kg/da, % 8,4, % 27,2 ve % 52,0 olarak bildirmişlerdir.

Alagöz ve Türk (2020), Isparta ekolojisinde farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, kuru ot veriminin 2096 kg/da ile 2566 kg/da, ham protein oranının % 7,3 ile % 9,2, ADF oranının % 38,2 ile % 41,8, NDF oranının % 52,7 ile % 59,8 ve toplam sindirilebilir besin maddesinin % 47,4 ile % 52,1 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir

Tanrikulu vd (2020), Kahramanmaraş ekolojisinde ikinci ürün olarak yetiştirilen farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, bitki boyunun 229 cm ile 244,4 cm, bitki gövde çapının 23,2 mm ile 24,0 mm, silajlık verimin 3615 kg/da ile 3893 kg/da, kuru madde veriminin 1608 kg/da ile 1821 kg/da, ADF oranının % 30,2 ile % 30,8 ve NDF oranının % 47,8 ile % 48,2 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir. OSSK 644 çeşidinin bitki boyu, bitki gövde çapı, silajlık verim, kuru madde verimi, ADF ve NDF değerlerinin sırasıyla 244,4 cm, 23,2 mm, 3615 kg/da, 1609 kg/da, % 30,3 ve % 47,8 olduğunu bildirmişlerdir.

Yılmaz vd (2020), Samsun-Çarşamba ekolojisinde ikinci ürün olarak yetiştirilen farklı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, bitki boyunun 269,3 ile 322,1 cm, ilk koçan yüksekliğinin 100 cm ile 156 cm, yaprak sayısının 10,6 adet ile 14,2 adet, bitki gövde çapının 23,7 mm ile 27,2 mm ve koçan ağırlığının 424,8 g ile 848,5 g arasında değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Cakmakci ve Sahin (2021b), Van ekolojisinde atık ve temiz suyla sulamada yüzey üstü damla, yüzey altı damla ve karık sulama yöntemleriyle silajlık mısır yetiştiriciliğini inceledikleri çalışmada, en yüksek taze biyokütle veriminin yüzey altı damla sulamada atık suyla tam sulanan konuda 7760 kg/da olarak belirlendiğini ve bu değer yüzey üstü damla ve karık sulama yöntemlerine göre % 5 ve % 13 daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Klorofil ve yaprak su içeriği, yaprak alan indeksi ve elektrolit sızıntısının, verim ve evapotranspirasyon değerleri ile güçlü doğrusal korelasyonlar gösterdiğini, en yüksek su verimliliğinin de yine yüzey altı damla sulama yönteminde atık suyla tam sulanan konuda 21,5 kg/m³ olarak belirlendiğini ve bu değer yüzey üstü damla ve karık sulama yöntemlerine göre sırasıyla % 28,2 ve % 99,4 daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Çelebi ve Türk (2021), Isparta ekolojisinde yüzey altı damla sulama yöntemiyle altı farklı sulama suyu seviyesi uygulanarak (% 150, % 125, % 100, % 75, % 50 ve % 25) yetiştirilen silajlık mısırın verim ve kalite parametrelerini inceledikleri çalışmada, bitki boyunun 311,2 cm ile 237,5 cm, sap kalınlığının 30,2 mm ile 24,7 mm, ilk koçan yüksekliğinin 118,8 cm ile 95,7 cm, sap oranının % 41,8 ile % 35,8, yaprak oranının % 41,1 ile % 40,6, koçan oranının % 23,1 ile % 17,6, koçan uzunluğunun 20,2 cm ile 16,3 cm, yeşil ot veriminin 10 316 kg/da ile 5509 kg/da, kuru madde veriminin 2507 kg/da ile 1666 kg/da, ham protein oranının % 9,2 ile % 8,2, ADF oranının % 42,5 ile % 37,3 ve NDF oranının % 56,6 ile % 51,2 arasında değişiklik gösterdiğini ve sulama suyu miktarının arttıkça verimin de arttığını, koçan oranı ve ham protein oranının ise azaldığını bildirmişlerdir.

Kobak ve Taş (2021), Balıkesir-Manyas ekolojisinde dinamik sulama programıyla sulanan ikinci ürün silajlık mısırın verim ve morfolojik özelliklerine farklı sulama aralıkları (3, 6 ve 9 gün) ve evapotranspirasyona dayalı sulama seviyelerinin (% 75, % 100 ve % 125) etkilerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, silajlık mısırın mevsimlik evapotranspirasyon değerinin 320 mm ile 582 mm, yeşil ot veriminin 6088 kg/da ile 11 063 kg/da, bitki boyunun 223 cm ile 283 cm ve gövde çapının 17,2 mm ile 27,3 mm arasında değişiklik gösterdiğini, en yüksek yeşil ot veriminin altı günlük sulama aralığında hesaplanan yığılımlı ET_c değerinin % 75'nin uygulandığı konudan elde edildiğini ifade etmişlerdir.

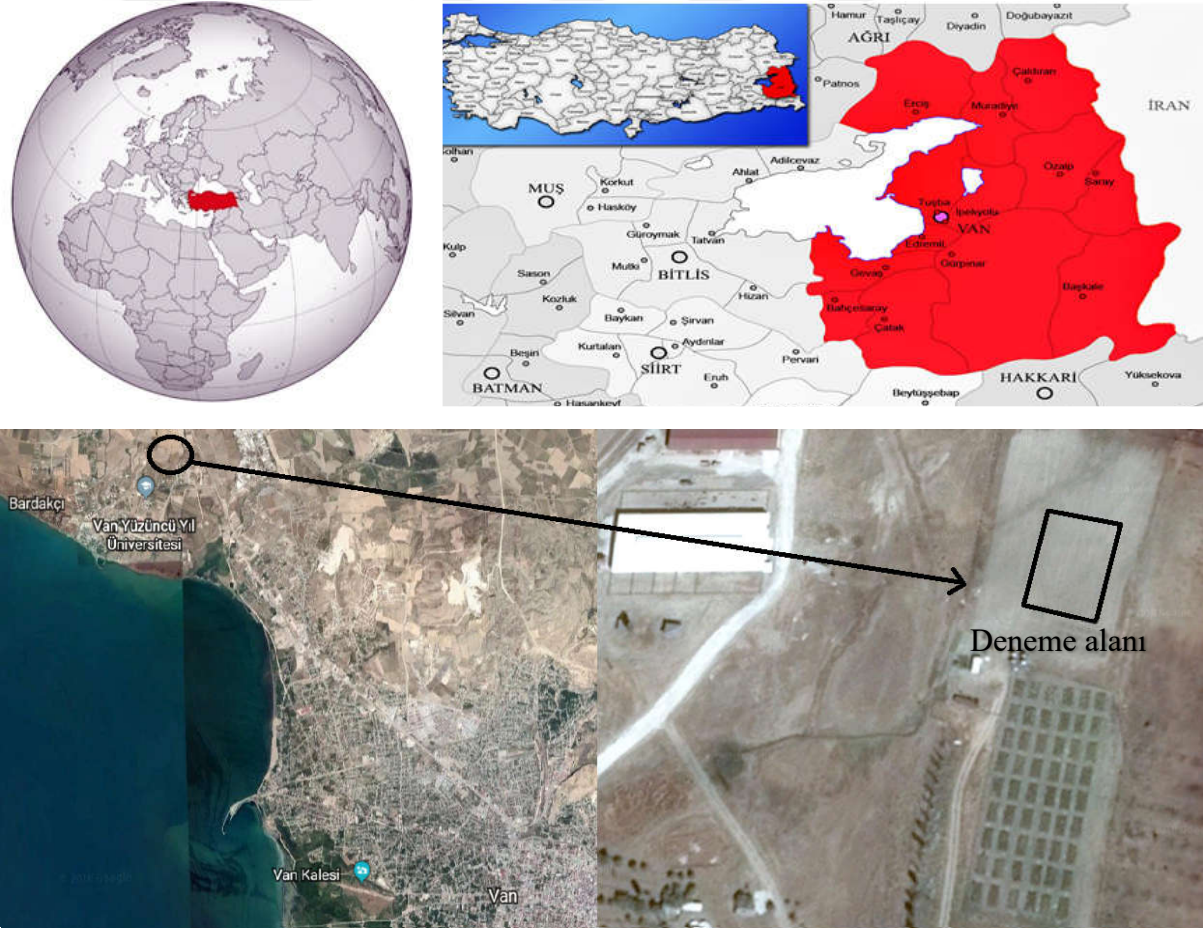
Literatür bilgilerinden, silajlık mısırın verim ve kalitesinin, iklim, rakım, topografya, toprak özellikleri, toprağın işlenme durumu, su kaynağı, sulama miktarı ve yöntemi, gübreleme uygulamaları, ekim sıklığı, ana ve ikinci ürün olma durumu ve bitki genotipi gibi birçok faktöre bağımlı olarak değişkenlik gösterdiği değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Deneme alanı

Tarla çalışmaları, 38° 34' 35" kuzey enlem ile 43° 17' 26" doğu boylamında ve 1670 m yükseltide yer alan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında, 2020 ve 2021 yıllarında Mayıs ile Eylül arası dönemi kapsayan vejetasyon periyodunda yürütülmüştür. Deneme alanının mevcut konumu ve deneme tarlasının yetiştirme öncesi ile yetiştirme dönemi uydru ve drone görüntüleri Şekil 7 ile Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Deneme alanının konumu ve deneme tarlasının yetiştirme öncesi uydu görüntüsü



Şekil 8. Deneme tarlasının yetiştirme dönemi uydu ve drone görüntüsü

Deneme alanı iklim özellikleri

Deneme alanına yaklaşık 2 km uzaklıkta bulunan Van Gölü'nün mikroklima etkisi altındaki deneme bölgesinde karasal iklim yaşanmaktadır. Deneme tarlasının hemen yanında kurulu olan iklim istasyonu (İmetos 2) ölçülen (Şekil 9), 2020 ve 2021 yılları silajlık mısır vejetasyon periyotlarını kapsayan dönemdeki (Mayıs-Eylül) iklim verilerinin aylık ortalama değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Ayrıca tablodaki güneşlenme süreleri CROPWAT programı (Ver. 8.0) ile hesaplanmış, uzun yıllar iklim verileri ise Van Meteoroloji İstasyonu kayıtlarından alınmıştır.



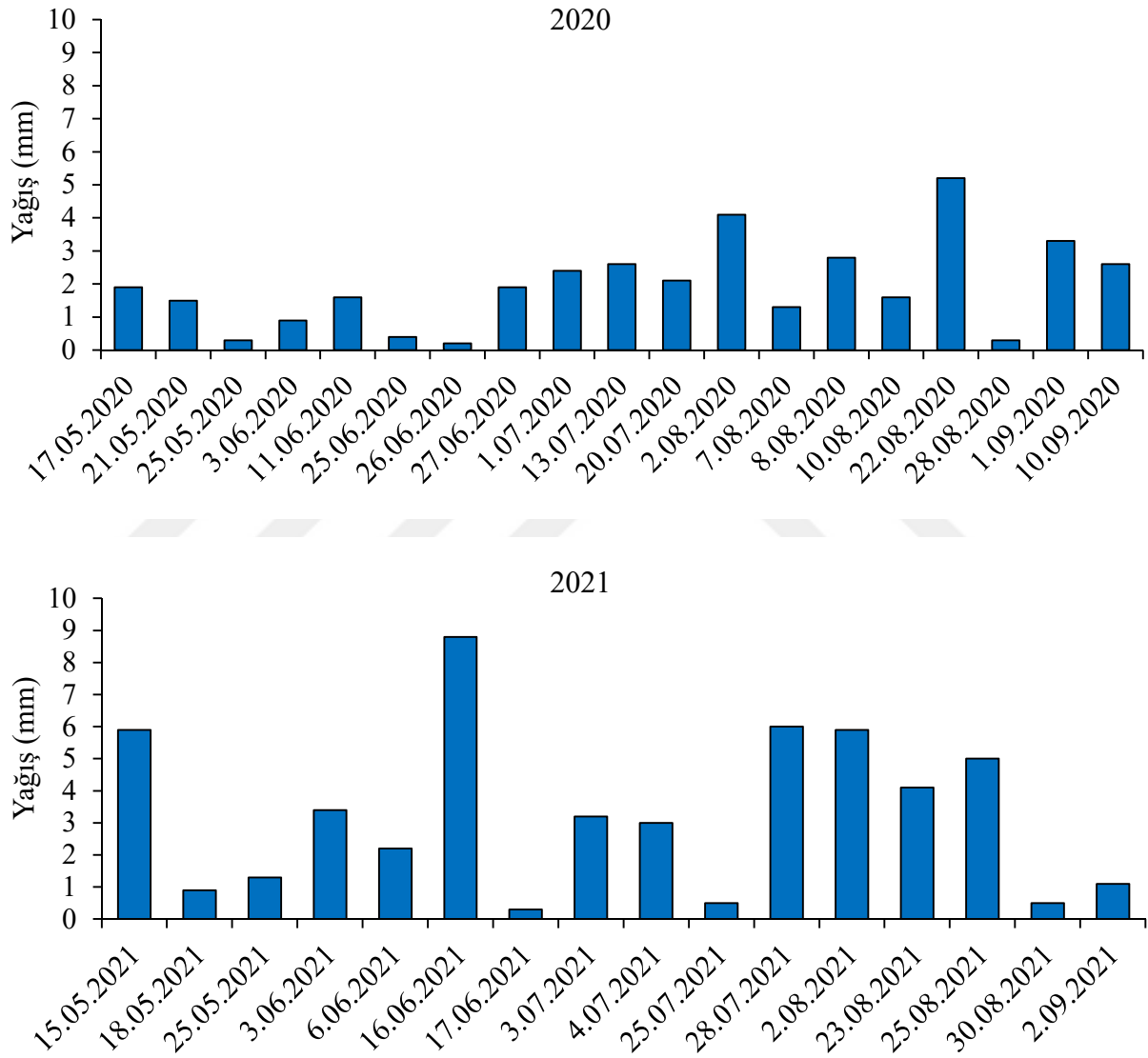
Şekil 9. İklim istasyonu (İmetos 2)

Tablo 7. Van ili uzun yıllar (Anonim 2021) ve deneme alanı 2020 ile 2021 yılları vejetasyon periyodu iklim verileri

Yıllar	Parametreler	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
2020*	Ortalama sıcaklık (°C)	20,8	21,8	24,7	24,5	20,3
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	26,7	28,3	32,5	31,1	26,8
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	14,9	15,2	16,9	17,9	13,7
	Güneşlenme süresi (h)	11,8	12,4	12,2	12,1	10,9
	Yağış (mm)	3,7	5,0	7,1	15,3	5,9
	Rüzgâr hızı (m/s)	2,8	2,3	2,4	2,1	2,1
	Bağıl nem (%)	39,5	45,3	35,9	32,6	34,7
	Buharlaşma (mm)	75,3	199,3	218,1	203,8	74,6
2021*	Ortalama sıcaklık (°C)	19,2	21,1	24,5	26,4	22,8
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	27,8	27,9	31,8	33,2	29,1
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	10,5	14,3	17,1	19,6	16,5
	Güneşlenme süresi (h)	11,9	12,7	12,5	12,6	11,8
	Yağış (mm)	8,1	14,7	12,7	15,5	1,1
	Rüzgâr hızı (m/s)	3,1	2,7	2,1	2,3	2,1
	Bağıl nem (%)	41,8	48,3	34,2	30,9	35,8
	Buharlaşma (mm)	65,2	188,5	199,4	213,4	25,0
Uzun yıllar (1976-2021)	Ortalama sıcaklık (°C)	13,2	18,0	21,9	22,0	17,6
	Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	18,6	24,1	28,3	28,5	23,9
	Ort. en düşük sıcaklık (°C)	7,7	11,8	15,5	15,5	11,3
	Güneşlenme süresi (h)	9,3	11,6	12,0	11,3	10,2
	Yağış (mm)	45,7	18,6	6,4	5,9	15,6
	Rüzgâr hızı (m/s)	2,3	2,2	2,3	2,3	2,4
	Bağıl nem (%)	55,9	48,2	43,1	41,4	42,6
	Buharlaşma (mm)	134,5	188,0	236,9	229,5	191,7

*İklim verileri vejetasyon periyodunu kapsamaktadır.

Silajlık mısırın vejetasyon periyodunda, aylık ortalama en yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları 2020 yılında Temmuz (32,5°C) ve Eylül (13,7°C), 2021 yılında ise Ağustos (33,2°C) ve Mayıs (10,5°C) aylarında belirlenmiştir (Tablo 7). Uzun yıllar ortalama yıllık yağış miktarına göre (391,9 mm) deneme bölgesi kuraklık sınırına (360 mm) yaklaşmış olan yarı kurak iklime sahip bir bölgedir (Anonim 2021). 2020 ve 2021 yıllarında silajlık mısırın vejetasyon periyodunda deneme alanında ölçülmüş toplam yağış miktarları sırasıyla 37,0 mm ve 52,1 mm olarak belirlenmiştir (Tablo 7 ve Şekil 10).



Şekil 10. 2020 ve 2021 yılları vejetasyon periyodunda deneme alanında ölçülmüş günlük yağış miktarları

Deneme tarlası toprak özellikleri

Deneme öncesi başlangıç toprak özelliklerini belirlemek için tüm tarlayı temsil edecek şekilde 3 farklı noktada açılan profillerde 90 cm derinliğe kadar 30'ar cm'lik üç farklı tabakadan (0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm) bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 11). Alınan örneklerde tane büyüklük dağılımı, tane yoğunluğu, kütle yoğunluğu, agregat stabilitesi, pH, elektriksel iletkenlik (EC), tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları, CaCO_3 içeriği, organik madde, toplam azot (TN), alınabilir fosfor (P_2O_5) ve potasyum (K_2O), değişebilir katyonlar (Ca, Mg, Na, K), mikro element ve ağır metal içerikleri (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) analizlerle, porozite, yarayışlı su miktarı, organik karbon, katyon değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ise hesaplamalarla belirlenmiştir. Deneme alanındaki toprağın tane büyüklük dağılımı tüm toprak tabakalarında kumlu killi tın olarak belirlenmiş ve kütle yoğunluğu 1,31 ile 1,40 g/cm^3 , tarla kapasitesi % 29,1 ile 30,6 ve solma noktası % 17,1 ile % 17,7 arasında değişmiştir (Tablo 8). Tarla toprağının 90 cm etkili kök derinliğindeki yarayışlı su 148,8 mm olarak belirlenmiştir. Toprakların EC değerleri 0,335 dS/m ile 0,390 dS/m, pH değerleri 8,17 ile 8,50, CaCO_3 içerikleri % 10,7 ile % 15,2 ve organik madde içerikleri % 1,03 ile 1,36 arasında değişiklik göstermiştir (Tablo 9). Bu verilere göre deneme tarlasının tuzluluk sorunu bulunmayan, orta alkalın, organik madde içeriği düşük ve kireç içeriği de orta sınıfta olan topraklardan oluştuğu tespit edilmiştir (Sezen 1991). Ayrıca deneme öncesi tarla toprağının mikro element ve ağır metal içerikleri de Tablo 10'da verilmiştir.



Şekil 11. Toprak örnekleme profili

Tablo 8. Tarla toprağının deneme öncesi fiziksel ve hidrolik özellikleri

Derinlik (cm)	Tane büyüklük dağılımı (%)			Bünye sınıfı	Tarla kapasitesi (Pw)	Solma noktası (Pw)	Yarayırlı su (mm)	Tane yoğunluğu	Kütle yoğunluğu (g/cm ³)	Porozite (%)	Agregat stabilitesi (%)
	Kum	Silt	Kil								
0-30	45,6	24,6	29,8	Kumlu killi tın	29,3	17,2	47,7	2,71	1,31	51,8	43,8
30-60	44,5	23,8	31,8	Kumlu killi tın	30,6	17,7	54,3	2,72	1,40	48,0	44,3
60-90	46,7	24,7	28,6	Kumlu killi tın	29,1	17,1	46,8	2,68	1,31	51,3	44,8

Tablo 9. Tarla toprağının deneme öncesi kimyasal özellikleri

Derinlik (cm)	EC (dS/m)	pH	OM (%)	OC (%)	CaCO ₃ (%)	TN (%)	P ₂ O ₅ (kg/da)	K ₂ O (kg/da)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	KDK (cmol/kg)	ESP (%)
0-30	0,335	8,17	1,36	0,79	10,66	0,081	8,86	88,0	14,91	5,11	0,32	1,14	21,49	1,48
30-60	0,363	8,20	1,23	0,71	12,03	0,078	8,62	89,0	15,23	5,21	0,35	0,97	21,77	1,62
60-90	0,390	8,50	1,03	0,60	15,21	0,079	7,76	90,9	14,99	5,21	0,33	1,09	21,62	1,53

Tablo 10. Tarla toprağının deneme öncesi mikro element ve ağır metal içerikleri

Derinlik (cm)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)
0-30	0,193	4,25	2,10	7,45	50,7	3,35	0,022	0,165	0,112
30-60	0,189	3,96	1,98	6,93	45,9	3,20	0,023	0,145	0,088
60-90	0,190	3,25	1,63	5,11	34,2	2,86	0,019	0,131	0,073

Sulama suyu kaynakları

Temiz su kaynağı olarak Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Çiftçi Eğitim ve Uygulama Merkezi şebeke suyu kullanılmıştır. Arıtılmış atık su ise Van ili merkez Edremit ilçesinde bulunan, 10 400 m³/gün kapasiteli Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisi deşarj noktasından alınmış (Şekil 12) ve her sulama öncesinde sulama tankeri ile deneme alanına taşınarak polietilen su depolarına aktarılmış ve sulamada kullanılmıştır (Şekil 13 ve 14). Arıtma tesisi giriş suyu yaklaşık 125 000 nüfuslu bir yerleşim alanından gelen evsel kaynaklı kirlilik unsurlarını içermektedir. Yörede önemli bir sanayi ve endüstri tesisi bulunmadığından atık suda sanayi ve endüstri atıkları da bulunmamaktadır. Kanalizasyon şebekesinden gelen atık sular tesise girişte kum tutucu, kaba ve ince ızgaradan geçirildikten sonra sırasıyla ön çökeltim ve havalandırma havuzuna aktarılmaktadır (Şekil 15). Havalandırılıp bakteri havuzundan geçirilen atık sular son çökeltim ünitesinden sonra tesisi terkederek Van gölüne deşarj deşarj edilmektedir.



Şekil 12. Van ili merkez Edremit ilçesi atık su arıtma tesisi



Şekil 13. Arıtılmış atık suyun deneme alanına taşınması



Şekil 14. Arıtılmış atık suyun deneme alanına taşınıp sulama öncesi depolanması



Şekil 15. Atık su arıtma tesisinin ön çökeltim ve havalandırma havuzları

Sulama sistemi

Sulamalar yüzey üstü damla sulama sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Lateraller 70 cm aralıklı olarak her bitki sırasına yerleştirilmiştir. Deneme tarlasında ölçülmüş infiltrasyon hızı değeri (≈ 15 mm/h) dikkate alınarak 33 cm aralıklı ve 1 atm'lik işletme basıncında 2,3 L/h debili in-line damlatıcılı lateral borular kullanılmıştır. Lateral borular, manifold ($\varnothing 32$) ve ana boru (atık su için $\varnothing 63$, temiz su için $\varnothing 50$) hatlarıyla su depolarına bağlanmış, elek filtre, basınç düzenleyici ve manometreyle de sistemde denetimler gerçekleştirilmiştir. Sistemin işletilmesinde gereksinilen basınç santrifüj pompayla sağlanmıştır. Uygulanan sulama suyu miktarlarının denetlenebilmesi için de her parselde 1 adet olmak üzere toplamda 24 adet su sayacı manifold borulara monte edilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Damla sulama sistemi ve su depolama tankları

Bitki materyali

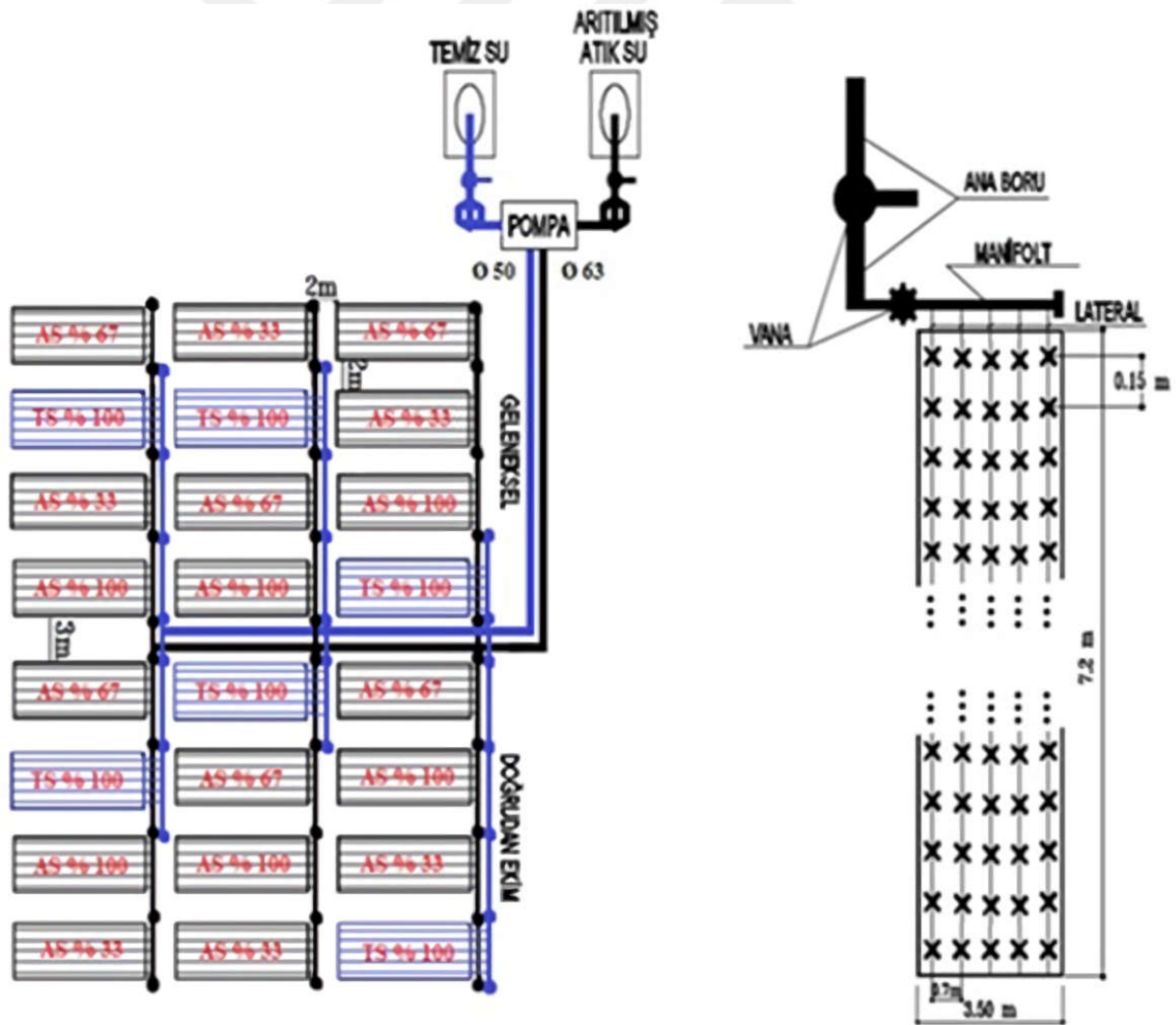
Bitki materyali olarak silajlık mısırın bölgeye adapte olmuş yazlık, orta erkenci, yeşil ot ve kuru madde verimi yüksek olan OSSK 644 çeşidi kullanılmıştır. OSSK 644 Türkiye’de silajlık mısır olarak tescil edilen ilk çeşitlerden olup, FAO 650 grubu melez hibrit mısırdır. Bölgelere göre farklılık göstermekle beraber silajlık olarak olum süresi çoğunlukla 90-100 gün arasında değişmektedir (Anonim 2020). Seçilen çeşidin tohumları Tarım Ürünleri Araç Gereç İthalat İhracat ve Ticaret Anonim Şirketin (TAREKS)’den temin edilmiştir.

Metot

Deneme düzeni ve konuları

Deneme, bölünmüş parseller deneme deseni şans blokları deneme planına göre 3 tekrerrürlü olarak yürütülmüştür. Ana konuları 2 farklı toprak işleme-ekim uygulaması (geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim), alt konuları ise arıtılmış atık suyla % 100 (AS % 100), % 67 (AS % 67), % 33 (AS % 33) ve kontrol grubu olarak da temiz suyla % 100 (TS % 100) düzeyinde sulamalar olmak üzere 4 farklı sulama uygulaması oluşturmuştur. Böylece deneme alanında toplam parsel sayısı $2 \times 4 \times 3 = 24$ olmuş, deneme öncesi konuların parsellere dağılımı kura ile rastgele yapılmıştır (Şekil 17).

Her deneme parseli 5 sıralı, 70 cm x 15 cm sıra aralıklı ve sıra üzeri mesafeli olmak üzere $3,5 \text{ m} \times 7,2 \text{ m} = 25,2 \text{ m}^2$ boyutlarında planlanmıştır (Şekil 17). Su geçişlerini engellemek için parseller ve bloklar arasında 2 m, toprak işleme konuları arasında ise 3 m boşluk bırakılmıştır.



Şekil 17. Deneme planı

Toprak işleme-ekim ve kültürel işlemler

Geleneksel toprak işleme uygulamasında tarla 2020 yılında 15 Mayıs ve 2021 yılında 11 Mayıs tarihlerinde, 25-30 cm derinliğinde kulaklı pullukla sürülmüş, devamında kültivatör-döner tırmık kullanılarak toprakta oluşan kesekler parçalanarak tarla yüzeyi düzeltilmiştir (Gözübüyük vd 2012a; Talantimur 2014; Kuş ve Yıldırım 2017). Aynı gün tohumlar 70 cm x 15 cm sıra aralıklı ve sıra üzeri mesafeli olacak şekilde pünomatik mibzerle ekilmiştir (Şekil 18). Yabancı ot kontrolü için bitki boyu 15-20 cm olduğunda birinci çapalama, bitki boyu 40-50 cm olduğunda boğaz doldurma şeklinde ikinci çapalama yapılmıştır (Çiğdem ve Uzun 2006).

Doğrudan ekim uygulamasında ise toprak işleme yapılmamış, doğrudan ekim makinesiyle her iki yılda da geleneksel toprak işlemeyle aynı günde ekim gerçekleştirilmiştir (Şekil 18). Doğrudan ekim uygulamasında yabancı ot kontrolü için çapalama yapılmadığından, yabancı ota mücadele Linuron ve 2,4-D Florosulan aktif madde içerikli herbisit kullanılmıştır.

Birinci deneme yılında tohum ekim döneminde üre (% 45-46 N) ve triple süper fosfat (% 43-46 P₂O₅) gübreleri sırasıyla 10 kg/da ve 15 kg/da dozlarında elle serpmeye şeklinde tüm parsel yüzeylerine homojen bir şekilde uygulanmıştır (Çelebi vd 2010). Bitkilerin 4-6 yapraklı döneme (40-50 cm boya) ulaştığı boğaz doldurma döneminde de tüm parsellere fertigasyon yoluyla 10 kg/da dozunda ikinci üre gübrelemesi yapılmıştır (Kuşvuran vd 2015). İkinci deneme yılında ise ilk yıl atık suyun topraktaki besin bakiye etkisini değerlendirmek için sadece temiz su uygulanan parsellerde gübreleme gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ikinci yıl ekim öncesi dönemde, temiz su parsellerinin yüzey tabakasında TN ve P₂O₅ analizleri yapılmış, analiz sonuçlarına göre geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarının temiz su parsellerine sırasıyla 6,65 kg/da ve 5,60 kg/da üre (% 45-46 N) ile 6,5 kg/da ve 6,0 kg/da triple süper fosfat (% 43-46 P₂O₅) gübreleri tohum ekim döneminde elle serpmeye şeklinde homojen olarak uygulanmıştır (Çelebi vd 2010; Tan 2021). Denemenin ilk yılında olduğu gibi ikinci yılda da bitkilerin 4-6 yapraklı döneme (40-50 cm boya) ulaştığı boğaz doldurma aşamasında yine temiz su parsellerinde ikinci üre gübrelemesi ilk doza eşit miktarda fertigasyon yoluyla yapılmıştır. Silajlık mısır süt-hamur olum evresine ulaştığında (2020 yılında 13 Eylül, 2021 yılında 4 Eylül) hasat işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 19).



Şekil 18. Toprak işleme-ekim uygulamaları

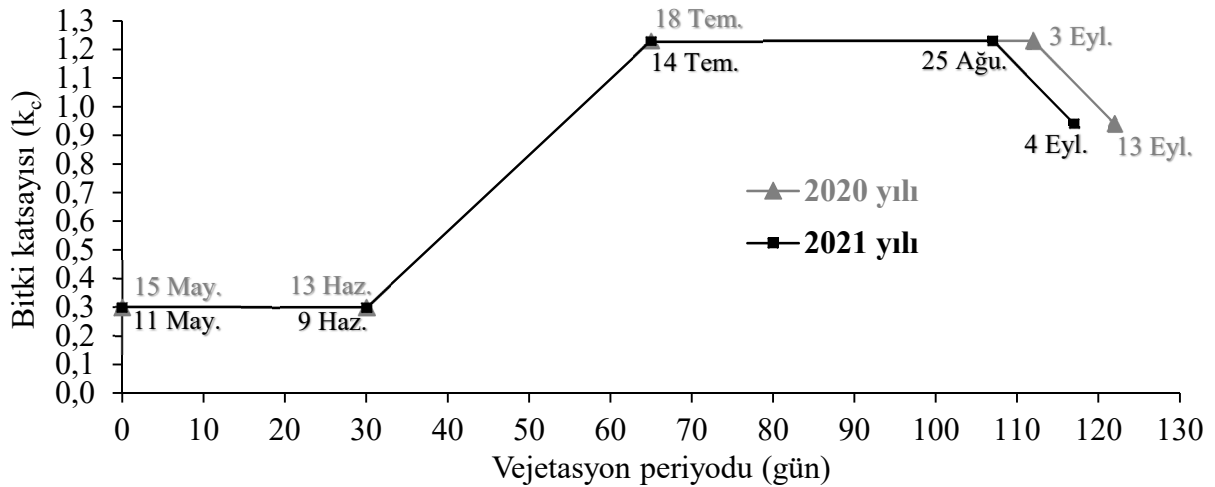


Şekil 19. Hasat olgunluğuna gelmiş silajlık mısırlar

Sulama uygulamaları

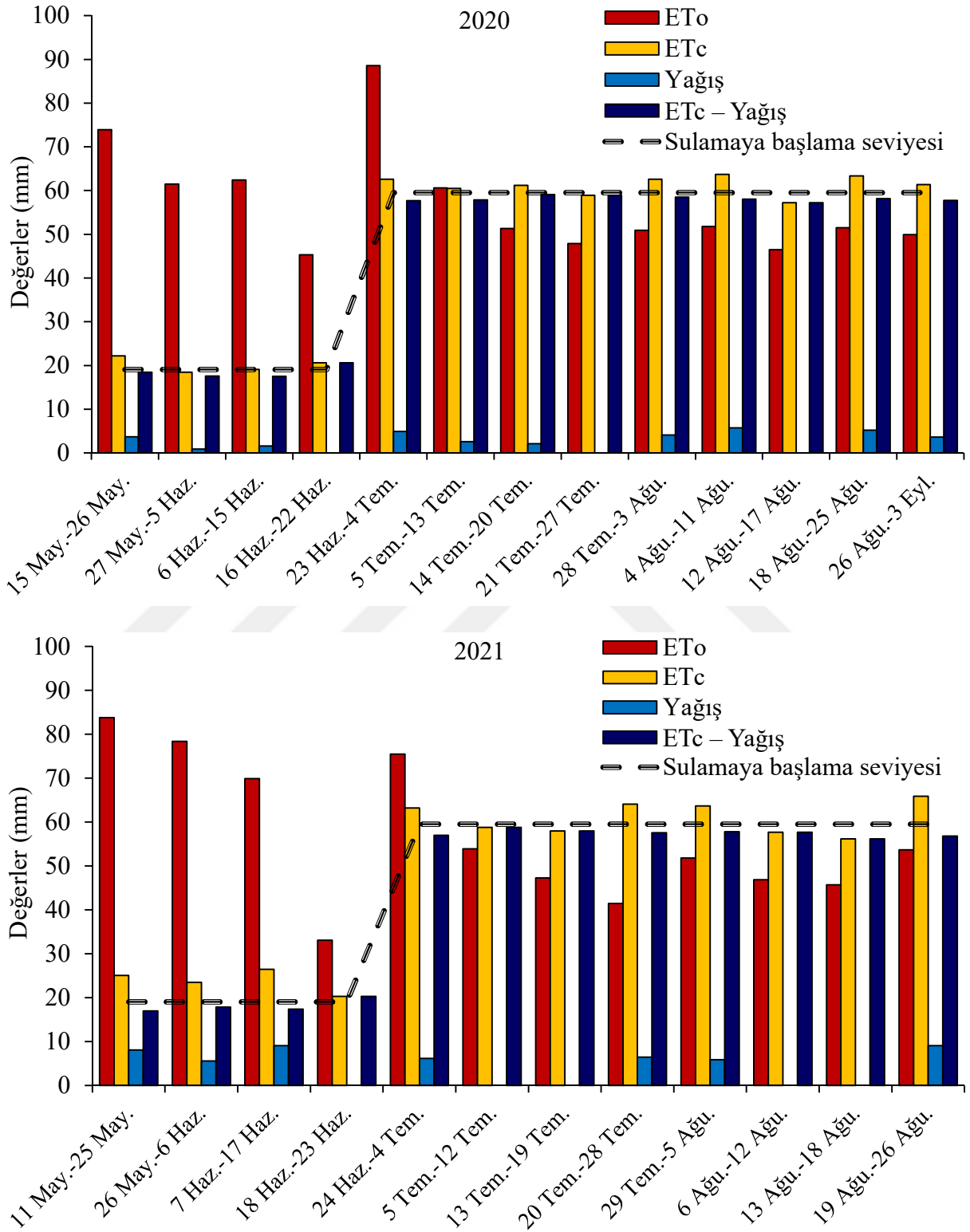
Konulu sulama öncesi dönem olarak tanımlanan vejetatif aksamın 40-50 cm boya (4-6 yapraklı dönem) ulaşmasına kadar geçen süreçte, temiz su parsellerinde 30 cm derinlikte eksilen nem miktarı tarla kapasitesine getirilecek şekilde % 30 ıslatma yüzdesiyle tüm parseller eşit miktarda temiz suyla sulanmıştır. Bu dönemde sulama zamanının belirlenmesinde $\Sigma (ET_c - \text{yağış})$ miktarının 30 cm derinlikteki yarıyıslı suyun % 40'ına karşılık gelen değere ulaşması ($\approx 19,1$ mm) dikkate alınmıştır. Vejetatif aksam 40-50 cm boya ulaştıktan sonra konulu sulama dönemi olarak tanımlanan konular bazında sulamalara geçilmiştir. Bu dönemde iki toprak işleme-ekim uygulaması için ayrı ayrı olmak üzere, temiz su parsellerinde tarla kapasitesine göre eksilen nemler hesaplanarak temiz (% 100) ve atık su (% 100, % 67 ve % 33) parsellerine belirlenen seviyelerde % 65 ıslatma yüzdesiyle (Çakmakçı 2018) sulamalar gerçekleştirilmiştir. Konulu sulama döneminde sulama zamanının belirlenmesinde $\Sigma (ET_c - \text{yağış})$ miktarının 90 cm derinlikteki yarıyıslı suyun % 40'ına (Allen *et al.* 1998) karşılık gelen değere ulaşması ($\approx 59,5$ mm) dikkate alınmıştır.

Sulama suyu zamanının belirlenmesinde kullanılan bitki su tüketiminin (ET_c) tahmininde $ET_c = ET_o \times k_c$ eşitliği kullanılmıştır. Van bölgesi koşullarında silajlık mısır için bitki katsayısı (k_c) değerleri Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) bünyesinde 2017 yılında yayınlanmış “Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi”nden alınmıştır (Şekil 20). Referans bitki su tüketimi (ET_o) değerleri Penman-Monteith (FAO) eşitliği ile CROPWAT (Ver. 8.0) programında hesaplanmıştır. ET_o hesaplamalarında gereksinilen iklim verileri deneme alanında kurulu olan iklim istasyonundan (İmetos 2) günlük olarak temin edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 20. Silajlık mısır için bitki katsayıları (k_c)

2020 yılı vejetasyon periyodunda toplam ET_o , ET_c ve yağış değerleri sırasıyla 801,1 mm, 695,0 mm ve 37,0 mm, 2021 yılında ise aynı sırayla 739,8 mm, 639,7 mm ve 52,1 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 21).



Şekil 21. Sulama periyotlarında ET_o , ET_c ve yağış değerleri

Sulama suyu miktarları ve hacimlerinin hesaplanmasında eşitlik 1 ve 2 kullanılmıştır (Kanber 2010). Sulama suyu hacimlerinin uygulama aşamasındaki teyidi de parsel başlarındaki sayaç okumalarıyla ve zaman hesabı yaklaşımıyla yapılmıştır.

$$I = \frac{(TK-MN) \times \gamma_t \times D \times P}{100} \quad (1)$$

$$V = I \times A \quad (2)$$

Eşitliklerde;

- I : Her sulamada uygulanan sulama suyu miktarı (mm),
- TK : Tarla kapasitesinde tutulan nem (Pw),
- MN : Sulama öncesi mevcut nem (Pw),
- γ_t : Kütle yoğunluğu (g/cm³),
- D : Toprak derinliği (konulu sulama öncesi: 30 cm ve konulu sulama dönemi: 90 cm),
- P : Islatma oranı (konulu sulama öncesi: % 30 ve konulu sulama dönemi % 65),
- V : Her sulamada uygulanan sulama suyu hacmi (L) ve
- A : Parsel alanı (m²)’dir.

Gerçek bitki su tüketiminin (Evapotranspirasyon) belirlenmesi

Silajlık mısırın gerçek bitki su tüketiminin (Evapotranspirasyon) hesaplanmasında eşitlik 3 kullanılmıştır (Allen *et al.* 1998; Rana and Katerji 2000).

$$ET_a = I + P + C_r - D_w - R_f \pm \Delta S \quad (3)$$

Eşitlikte;

- ET_a : Gerçek bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon) (mm),
- I : Sulama suyu miktarı (mm),
- P : Yağış (mm),
- C_r : Kapılar yükselme (mm),
- D_w : Derine sızma (mm),
- R_f : Yüzey akış (mm) ve
- ΔS : Toprak nem içeriğindeki değişim (mm)’dir.

Deneme alanında taban suyu problemi olmadığından kapılar yükselme dikkate alınmamıştır. Yağış için deneme alanında kurulu iklim istasyonu (İmetos 2) verileri kullanılmıştır (Şekil 9). 90-120 cm’deki nem ölçümlerinden derine sızma olmadığı belirlenmiştir. Toprağın infiltrasyon hızına uygun damlatıcı debisi seçildiği için yüzey akışla

su kaybı da olmamıştır. Toprak nem içeriğindeki değişimler ise etkili kök derinliğinde yapılan nem ölçümleriyle belirlenmiştir.

Nem ölçümleri deneme parsellerinin orta tekerrürlerinde parsel ortasında iki bitki arasına denk gelecek şekilde damlatıcıdan yaklaşık 15-20 cm uzaklıkta her sulama öncesi ile ekim ve hasat dönemlerinde gerçekleştirilmiştir. 30 cm toprak derinliğindeki ölçümlerde araziye kalibrasyonu sağlanmış HD2 mobil toprak nem ölçer (TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) kullanılmıştır (Loewer *et al.* 2016; Niether *et al.* 2017; Badewa *et al.* 2018; IMKO 2018; Pornon *et al.* 2019). 30-60 ve 60-90 cm derinliklerdeki nem örneklemeleri ise gravimetrik yolla gerçekleştirilmiştir. 30 cm yüzey tabakasında nem ölçümünde her sulamada kontrol amaçlı gravimetrik örnekleme de yapılmıştır. Yine derine sızmayı belirlemek için 90-120 cm'deki nem değerleri de gravimetrik yolla takip edilmiştir.

Su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliğinin (WP_{irrig}) belirlenmesi

Su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliğinin (WP_{irrig}) belirlenmesinde eşitlik 4 ve 5 kullanılmıştır (Howell *et al.* 2001; Cakmakci and Sahin 2021b)

$$WP = \frac{Y}{ET_a} \quad (4)$$

$$WP_{irrig} = \frac{Y}{I} \quad (5)$$

Eşitliklerde;

WP : Su verimliliği (kg/m³),

WP_{irrig} : Sulama suyu verimliliği (kg/m³),

Y : Silajlık ot verimi (kg/da),

ET_a : Gerçek bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon) (mm) ve

I : Sulama suyu miktarı (mm)'dir.

Sulama sularının örnekleme ve su analizleri

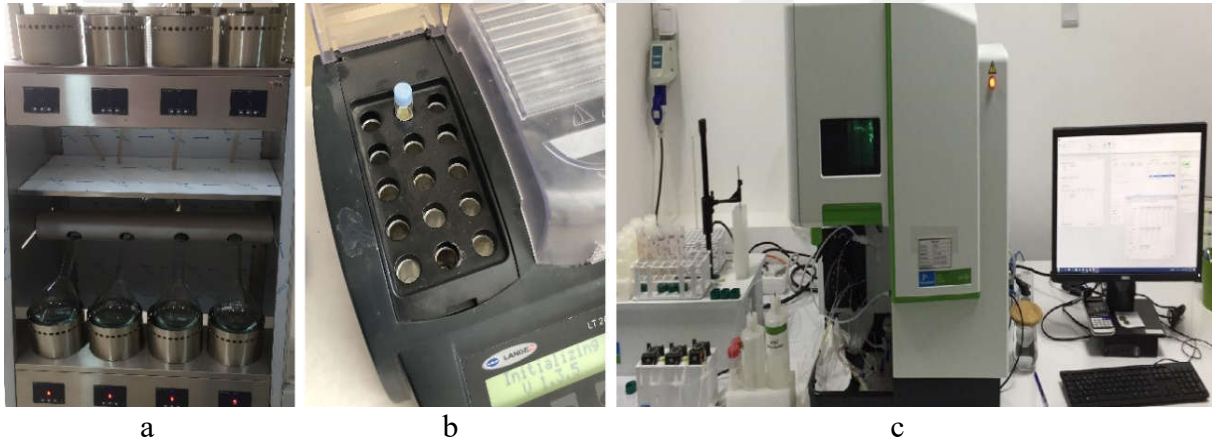
2020 yılında beş (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül) ve 2021 yılında dört kez (Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos) olmak üzere vejetasyon periyotlarında her ayı temsil edecek şekilde temiz ve atık sulardan örnekler alınmıştır. Laboratuvar ortamına getirilen örnekler 4°C'deki buzdolabında analizleri tamamlanuncaya kadar muhafaza edilmiştir. Su örneklerinde toplam azot (TN) ve fosfor (TP), katyonlar (Ca, Mg, Na, K), anyonlar (CO₃, HCO₃, SO₄, NO₃, Cl), bor (B), mikro elementler ve ağır metaller içerikleri (Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde, fekal koliform, pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri analizlerle belirlenmiştir.

Örneklerin yüzde sodyum (% Na), sodyum absorpsiyon oranı (SAR), kalıcı sodyum karbonat (RSC) ve Langelier Saturasyon İndeksi (LSI) değerleri de hesaplama yoluyla elde edilmiştir.

Toplam azot (TN): Kjeldahl azotu tayin yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 22) (APHA-AWWA-WEF 1989).

Toplam fosfor (TP): Fosfor ve fosfat (P, PO₄ ve P₂O₅) analizleri Hach Lange Dr 5000 UV/VIS spektrofotometrede HACH 8048 nolu metod ile fosfor reaktifi (Powder Pillow) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 22) (HACH 2010).

Kasyonlar, mikro elementler ve ağır metaller (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni): Su örnekleri süzülüp kimyasallarla analize hazırlandıktan sonra İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometre cihazında (ICP-OES) okumalar yapılarak belirlenmiştir (Şekil 22) (Anonymous 2007).



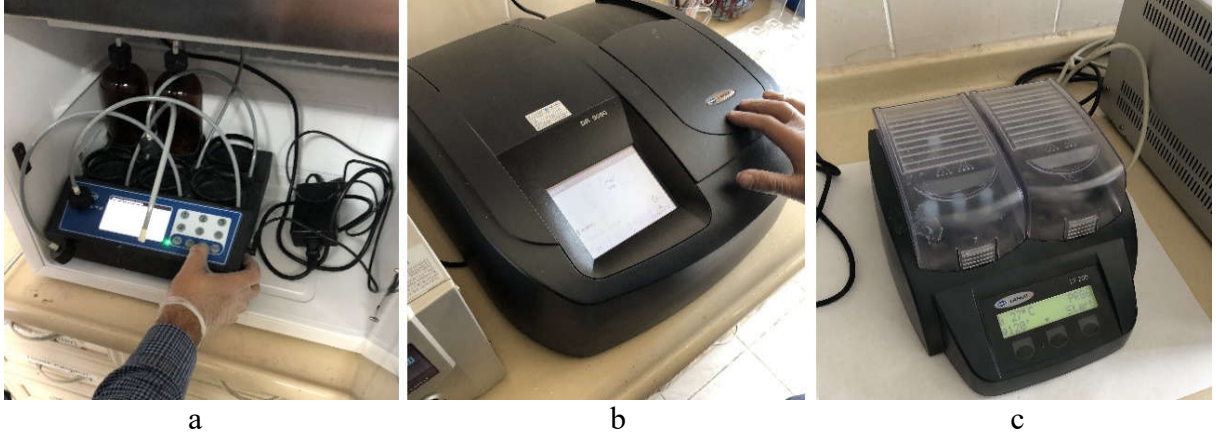
Şekil 22. Su örneklerinde (a) toplam azot, (b) toplam fosfor ve (c) kation, mikro element ve ağır metal analizleri

CO₃ ve HCO₃: Fenolftaleyn ve bromkrosel yeşili indikatörleri kullanılarak sülfirik asitle titre edilerek belirlenmiştir (Tüzüner 1990).

SO₄, NO₃ ve B: Hach Lange Dr 5000 UV/VIS marka spektrofotometrede SO₄, NO₃ ve B için sırasıyla HACH 8051 nolu SulfaVer 4, HACH 8039 nolu Cadmium Reduction-HR, HACH 8015 Carmine metotları kullanılarak hazır kitlerle belirlenmiştir (HACH 2010).

Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅): Başlangıçta kimyasal oksijen ihtiyacı analizi yapılarak tahmini biyolojik oksijen ihtiyacı değeri elde edilmiş ve bu değere göre biyolojik oksijen ihtiyacı analizi için kullanılacak örnek hacimleri tespit edilmiştir (HACH basitleştirilmiş BOİ₅ metodu). Sonrasında belirlenen hacimlerdeki örnekler 5 gün Hach Lange Dr 5000 UV/VIS cihazına konularak soğurmalı inkubatörde bekletildikten sonra okuma yapılarak belirlenmiştir (Şekil 23) (HACH 2010).

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): Merck hazır test kitleri ile Hach Lange Dr 5000 UV/VIS marka spektrofotometre ve HACH LT 200 termoreaktör yardımıyla HACH LCI 400 KOİ kuvvet testi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 23) (HACH 2005).

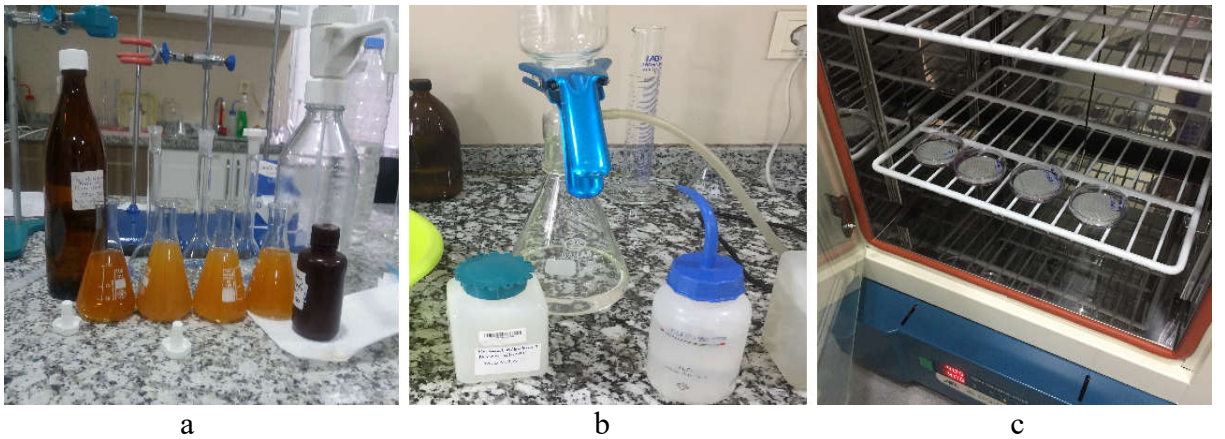


Şekil 23. Su örneklerinde (a ve b) biyolojik oksijen ihtiyacı ve (c) kimyasal oksijen ihtiyacı analizleri

Cl: Potasyum kromat indikatörü kullanılarak gümüş nitratla titre edildikten sonra belirlenmiştir (Şekil 24) (Tüzüner 1990).

Askıda katı madde: Filtreden süzülen su örneklerinin süzgeç üzerinde bıraktıkları kalıntı maddenin 105°C’de kurutulup hassas terazide tartılmasıyla belirlenmiştir (Şekil 24) (APHA 1995).

Fekal koliform: 100 ml su örneği membran filtrasyon düzeneğinden geçirilmiş ve En Muhtemel Sayı (EMS) olarak belirlenmiştir (Şekil 24) (Lee and Cole 1994).



Şekil 24. Su örneklerinde (a) Cl, (b) askıda katı madde ve (c) fekal koliform analizleri

pH ve elektriksel iletkenlik (EC): Sırasıyla pH metre ve Kondüktivimetre ile doğrudan okumalar yapılarak belirlenmiştir (Ayyıldız 1983).

Yüzde Sodyum (% Na), Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) ve Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC): Aşağıdaki eşitlikler yardımıyla me/L olarak iyon konsantrasyonları kullanılarak hesaplanarak belirlenmiştir (Kanber ve Ünlü 2010).

$$\% Na = \frac{Na}{Na+Mg+Ca+K} \times 100 \quad (6)$$

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}} \quad (7)$$

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) \quad (8)$$

Langelier Saturasyon İndeksi (LSI): Damlatıcılarda sulama suyundan kaynaklı kireç çökeltisi olasılığını değerlendirebilmek için LSI değerleri eşitlik 9 yardımıyla hesaplanarak belirlenmiştir (Ayers and Westcot 1994).

$$LSI = pH_a - pH_c \quad (9)$$

Eşitlikte;

pH_a : Gerçek pH değeri ve

pH_c : Teorik pH değeridir. Suyun kireç ile dengeye ulaştığı andaki tepkimesidir. (Kanber ve Ünlü 2010).

Toprak örneklerinin alınması ve analizleri

Araştırma öncesi tüm tarlayı temsilen 3 farklı noktadan ve her yıl hasat sonrasında tüm parsellerin orta bölgelerinde açılan profillerde 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm'lik tabakalardan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 11 ve Şekil 25). Alınan örneklerde tane büyüklük dağılımı (sadece deneme öncesinde), tane yoğunluğu, kütle yoğunluğu, pH, elektriksel iletkenlik (EC), tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları, $CaCO_3$ içeriği, organik madde, toplam azot (TN), alınabilir fosfor (P_2O_5) ve potasyum (K_2O), değişebilir katyonlar (K, Ca, Mg, Na), mikro element ve ağır metaller (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) analizlerle belirlenmiştir. Porozite, yarayışlı su miktarı, organik karbon, katyon değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ise hesaplama yoluyla elde edilmiştir.



Şekil 25. Etiketlenmiş toprak örnekleri

Fiziksel toprak özelliklerinin analizleri

Tane büyüklük dağılımı: Deneme öncesi toprakların kum, kil ve silt içeriklerinin oransal dağılımı Bouyoucos hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir (Gee and Bauder 1986).

Tane yoğunluğu: Piknometre yöntemiyle belirlenmiştir (Blake and Hartge 1986a).

Kütle yoğunluğu: Yaklaşık 100 cm³ hacimli silindirle alınmış bozulmamış toprak örneklerinin etüvde 105°C’de 24 saat kurutulduktan sonra fırın kuru ağırlığının silindir hacmine bölünmesiyle belirlenmiştir (Şekil 26) (Blake and Hartge 1986b).



Şekil 26. Toprak örneklerinde kütle yoğunluğu analizi

Porozite: Kütle ve tane yoğunluğu değerlerinden aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanarak belirlenmiştir (Danielson and Sutherland 1986).

$$\text{Porozite} = \left(1 - \frac{\gamma_t}{G_s \times \gamma_w}\right) \times 100 \quad (10)$$

Eşitlikte;

γ_t : Kütle yoğunluğu (g/cm³),

G_s : Tane yoğunluğu ve

γ_w : +4°C’ deki saf suyun hacim ağırlığı (g/cm³)’dır.

Agregat stabilitesi: Calgon, hidroklorik asit ve sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak ıslak eleme yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 27) (Kemper and Rosenau 1986).



Şekil 27. Toprak örneklerinde agregat stabilitesi analizi

Kimyasal toprak özelliklerinin analizleri

pH: Saturasyon çamuru süzüğünde pH metre ile okuma yapılarak belirlenmiştir (McLean 1982).

Elektriksel iletkenlik (EC): Saturasyon ekstraktında kondüktivimetre ile okuma yapılarak belirlenmiştir (Corwin and Rhoades 1982).

CaCO₃: Scheibler kalsimetresi kullanılarak toprağın seyreltilmiş hidroklorik asitle reaksiyonu sonucunda oluşan CO₂ gazının kapalı U boruda tutulması ve hacimlerinin ölçülmesiyle hesaplanarak belirlenmiştir (Nelson 1982).

Organik madde: Walkley-Black yöntemine göre toprak örnekleri potasyum dikromat ve süllfirik asitle tepkimeye sokularak demir sülfat ile titrasyon sonucunda belirlenmiştir (Şekil 28) (Nelson and Sommers 1982).



Şekil 28. Toprak örneklerinde organik madde analizi

Organik karbon: Organik madde içeriğinin standart katsayıyla çarpılmasıyla belirlenmiştir (Setyanto *et al.* 2004; Avramidis *et al.* 2015).

Toplam Azot (TN): Kjeldahl yöntemi esas alınarak toprak örnekleri yakılmış ve topraktaki azot amonyuma dönüştürülerek açığa çıkan amonyak sülfürik asitle titre edilerek belirlenmiştir (Şekil 29) (Bremner and Mulvaney 1982).



Şekil 29. Toprak örneklerinde toplam azot analizi

Alınabilir Fosfor (P_2O_5): Olsen *et al.* (1982)'a göre havada kurutulmuş ve elenmiş toprak örnekleri kimyasal çözeltilerle analize hazırlanmış ve Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde okuma yapılarak bulunan P miktarı standart katsayıyla çarpılarak belirlenmiştir.

Alınabilir Potasyum (K_2O): Knudsen *et al.* (1982)'na göre amonyum asetat çözeltisinden geçen potasyum miktarı fleymfotometrede okunmuş, sonrasında dönüşüm katsayısıyla çarpılarak belirlenmiştir (Şekil 30).



Şekil 30. Toprak örneklerinde alınabilir potasyum analizi

Değişebilir Potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg) ve Sodyum (Na): Örneklerin 1 N amonyum asetat ile çalkalanmasıyla katyonların yer değiştirmesi sağlanmış ve sonrasında Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde okuma yapılarak belirlenmiştir (Şekil 31) (Thomas 1982).



Şekil 31. Toprak örneklerinde değişebilir katyonların analizi

Kasyon değişim kapasitesi (KDK): Değişebilir katyonların toplanmasıyla ($KDK = K + Ca + Mg + Na$) hesaplanarak belirlenmiştir (Sezen 1991).

Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP): Eşitlik 11 yardımıyla hesaplanarak belirlenmiştir (Kanber ve Ünlü 2010).

$$\text{Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)} = \frac{\text{Değişebilir Sodyum (Na)}}{\text{Kasyon değişim kapasitesi (KDK)}} \times 100 \quad (11)$$

Mikro element ve ağır metal içerikleri (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni): Hava kurusu örnekler 0,15 mm'lik elekten geçirilmiş ve elde edilen örnekler yaş yakma cihazı tüplerine bırakıldıktan sonra 9 ml HNO_3 ve 3 ml H_2O_2 eklenerek yüksek basınçta yaş yakma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 32). Sonrasında filtre kâğıdından süzölmüş örneklerde İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometre (ICP-OES) cihazında okumalar yapılarak belirlenmiştir (Anonymous 2007).



Şekil 32. Toprak örneklerinde mikro element ve ağır metallerin analizi

Hidrolik toprak özelliklerinin analizleri

Tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları: Tarla kapasitesi için bozulmamış, solma noktası için bozulmuş toprak örnekleri kullanılarak sırasıyla 1/3 atm ve 15 atm'de örneklerde tutulan nem miktarları laboratuvar ortamında basınçlı membran aleti yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 33) (Klute 1986).

Yarayışlı su miktarı: Tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem farkından hesaplanmış, kütle yoğunluğu değerleriyle çarpılarak da hacim yüzdesine dönüştürülerek belirlenmiştir (Kanber ve Ünlü 2010).



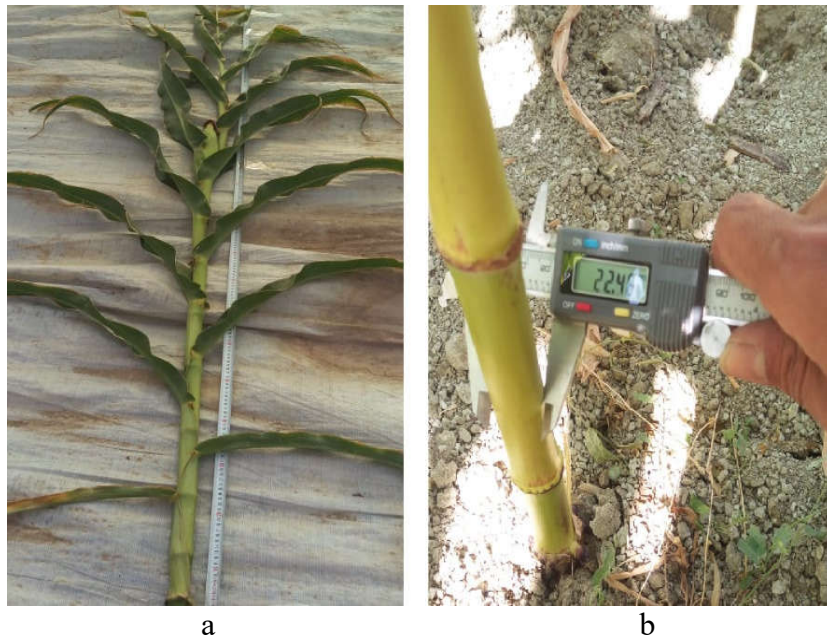
Şekil 33. Toprak örneklerinde tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nemin belirlenmesi

Bitkide fiziksel ve fizyolojik ölçümler ile kimyasal analizler

Bitkide fiziksel ölçümler

Bitki boyu (cm): Hasat sırasında her parselin kenar etkisi dışında kalan kısmından rastgele seçilen 10 bitkinin toprak yüzeyinden tepe püskülüne kadar olan kısmı ölçülerek ve ortalaması alınarak belirlenmiştir (Şekil 34) (Başer and Gençtan 1999).

Gövde çapı (mm): Hasat sırasında her parselin kenar etkisi dışında kalan kısmından rastgele seçilen 10 bitkinin 2. ve 3. boğum arasındaki kalınlığı dijital kumpas aletiyle ölçülerek ve ortalaması alınarak belirlenmiştir (Şekil 34) (Başer and Gençtan 1999).



Şekil 34. Bitkide (a) boy ve (b) gövde çapı ölçümleri

Silajlık ot verimi (kg/da): Süt-hamur olum döneminde her parselin kenar etkisi dışında kalan ortadaki 3 sıranın merkez 1,5 m’lik mesafesindeki toplam 30 bitki toprak yüzeyinden kesilip tartılmış ve birim alana uyarlanarak silajlık ot verimi kg/da olarak belirlenmiştir (Kökten vd 2017).

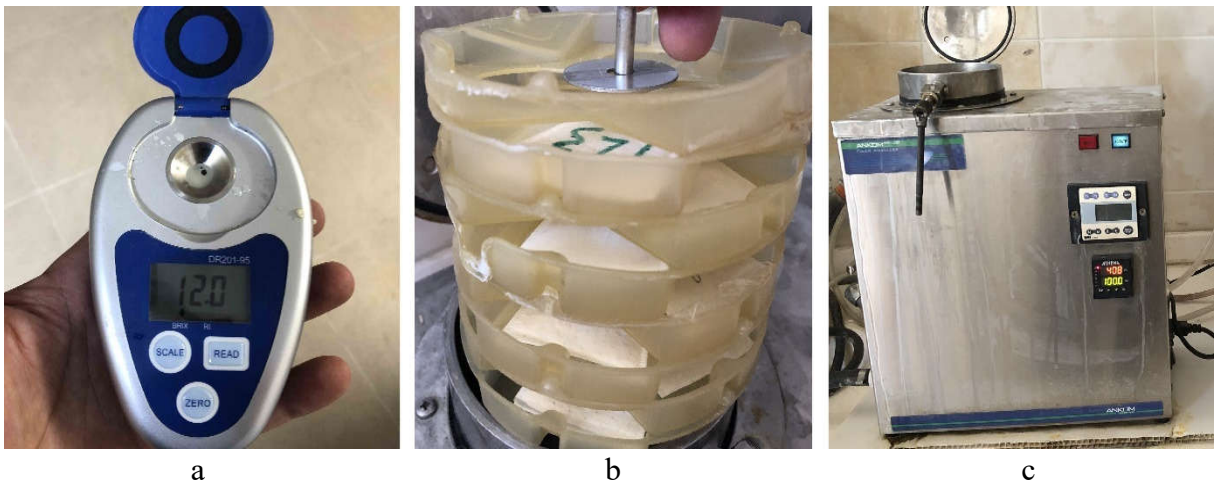
Kuru madde verimi (kg/da): Kacar (2014)’a göre parseli temsil edecek şekilde rastgele hasat edilen dört bitki yaş olarak tartıldıktan sonra solması için belli bir süre bekletilmiş, sonrasında 78°C’de 48 saat kurutulmuş ve tartılarak kuru ağırlığı elde edilmiş ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla da kuru madde verimi hesaplanarak belirlenmiştir.

$$\text{Kuru madde verimi (kg/da)} = \frac{\text{Kuru Ağırlık (g)}}{\text{Y \& Ağırlık (g)}} \times \text{silajlık ot verimi (kg/da)} \quad (12)$$

Bitkide kimyasal analizler

Suda çözünür kuru madde miktarı (°Brix): Süt-hamur olum döneminde hasat edilen bitki koçanlarının ortasındaki tanelerin sütümsü endosperm sıvısı refraktometre üzerine damlatılarak refraktometrede yapılan okumlarla belirlenmiştir (Şekil 35) (Eşiyok vd 2004).

Asit deterjan lif (%) ve Nötr deterjan lif (%): 1 mm’lik elekten elenmiş bitki örneklerine Van Soest analiz yönteminin modifikasyonu sonucu geliştirilen Fibre Bag System (Gerhardt)’e göre solüsyonlar eklenerek ANKOM 200 Fiber Analizöründe işlemler gerçekleştirilmiş, analiz sonrası asetonda bekletilen örneklerin asetonunu uçurmak için 2 ile 4 saat arasında 105°C’de etüvde bekletildikten sonra oda sıcaklığında tartımlar yapılarak hesaplamayla ADF ile NDF değerleri belirlenmiştir (Şekil 35) (Van Soest 1963).



Şekil 35. Bitki örneklerinde (a) suda çözünür kuru madde miktarı ile (b ve c) ADF ve NDF analizleri

Azot (%): Öğütülen bitki örneklerinden Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 36) (Kacar 2014).



Şekil 36. Bitki örneklerinde azot analizi

Ham protein oranı (%): Kjeldahl yöntemiyle belirlenen bitki azot içeriği standart katsayıyla çarpılarak hesaplanarak belirlenmiştir (Raju 1979).

Fosfor (mg/kg): Fosfor içeriği yakma işlemiyle elde edilen çözeltide kolorimetrik olarak belirlenmiştir (Kacar 2014).

Makro-mikro besin elementler ve ağır metaller (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni): 65°C’de kurutulmuş ve öğütülmüş örnekler 0,15 mm’lik elekten geçirilmiş ve elde edilen örnekler yaş yakma cihazı tüplerine aktarıldıktan sonra 6 ml HNO₃ ve 3 ml H₂O₂ eklenerek yüksek basınçta yaş yakma işlemi yapılmıştır (Şekil 37). Son olarak da filtre kâğıdından süzölmüş örnekler İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometre (ICP-OES) cihazında okumalar yapılarak belirlenmiştir (Anonymous 2007).



Şekil 37. Bitki örneklerinde makro-mikro besin element ve ağır metallerin analizi

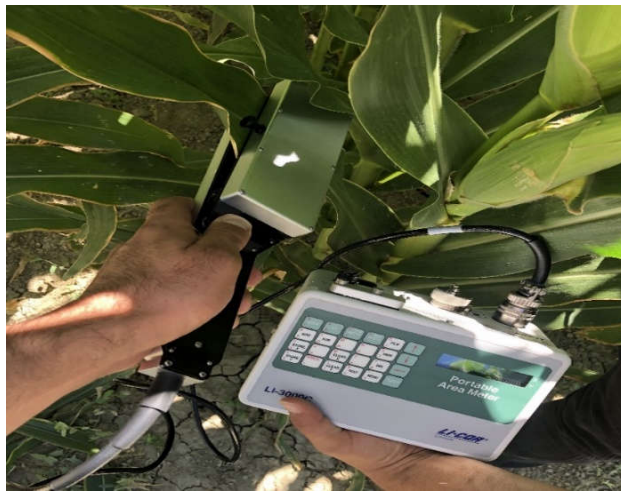
Bitkide fizyolojik ölçümler

Klorofil içeriği (SPAD): Konulu sulama döneminde iki sulama ortasına denk gelecek şekilde ($ET_c - Yağış \approx 29,8$ mm olduğunda) her parselden rastgele seçilen üç bitkinin orta yapraklarında klorofil içeriğine bağlı olarak yeşilin değişen tonunu belirlemek için SPAD ölçümleri, fotosentez aktivitesinin yüksek olduğu 10:00 ile 14:00 saatleri arasında, SPAD-502 klorofilmetre cihazıyla yapılmıştır. Ölçümler 10'ar okuma olarak gerçekleştirilmiş ve bu ölçümlerin cihaz tarafından otomatik olarak belirlenmiş ortalamaları kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 38) (Tunalı vd 2012).



Şekil 38. Bitkide SPAD ölçümü

Yaprak alan indeksi: Hasattan hemen önce her parselde hasat olgunluğuna gelmiş altı bitkinin tüm yaprakları Licor 3000C yaprak alan ölçer aletiyle ölçülmüş, bitki başına ortalama yaprak alanı bulunmuş ve bir bitkinin birim alanına (70 cm x 15 cm) oranlanarak yaprak alan indeksi belirlenmiştir (Şekil 39) (Stewart and Dwyer 1999).



Şekil 39. Bitkide yaprak alan indeksi ölçümü

Yaprak oransal su içeriği: Hasattan hemen önce her parselden alınmış altışar adet taze yaprak örneğinin ağırlıkları belirlendikten sonra 4 saat saf su içerisinde bekletilmiş ve tekrar tartılarak turgor ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra örnekler 24 saat 65°C sıcaklıktaki etüvde bekletilerek kuru ağırlıkları da bulunduktan sonra eşitlik 13 yardımıyla yaprak oransal su içeriği hesaplanarak belirlenmiştir (Şekil 40) (Kaya 2011).

$$\text{Yaprak oransal su içeriği (\%)} = \frac{YA - KA}{TA - KA} \times 100 \quad (13)$$

Eşitlikte;

YA : Yaprak yaş ağırlığı (g),

TA : Yaprak turgor ağırlığı (g) ve

KA : Yaprak kuru ağırlığı (g)'dir.



Şekil 40. Bitkide yaprak oransal su içeriğinin belirlenmesi

Membran zararlanma: Yaprak hücrelerinden dışarıya çıkan elektrolitin ölçülmesi esasına dayalı olarak hasattan hemen önce her parselden rastgele seçilen 6 bitkinin alttan 2. ve 3. yapraklarından alınan 10 mm çaplı disk örnekleri iyonize su içerisinde oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiş ve EC değeri ölçülmüştür. Aynı örnekler 95 °C sıcaklıktaki su banyosunda 20 dakika bekletildikten sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve tekrar EC değeri ölçülmüştür. İlk EC değerinin ikinci EC değerine oranlanmasıyla membran zararlanma belirlenmiştir (Şekil 41) (Jamei *et al.* 2009).



Şekil 41. Bitkide membran zararlanmanın belirlenmesi

CO₂ salınımı ve bağlantılı sıcaklık ile nem ölçümleri

Topraktan gerçekleşen CO₂ salınımının ölçümü için EGM-5 kızılötesi gaz analizör cihazı (CFX-2, PPSystems, Stotfold, UK) kullanılmıştır. Dinamik kapalı oda sistemi prensibine sahip, toprak solunumu ve atmosferdeki CO₂ değerlerinin karşılaştırılması ilkesine göre çalışan cihaz, toprak solunumu ve atmosferdeki CO₂ değerlerini okumakta, okunan değerlerin farkı sistemin solunum odası yüzey alanına (346 cm²) oranlanarak CO₂ miktarı g/m²/h olarak belirlenmektedir. Bu cihazla, CO₂ salınımı ölçümüyle eş zamanlı olarak topraktan buharlaşma (H₂O) (g/m²/h) ile hava ve toprak sıcaklıkları da (°C) ölçülmektedir. Topraktan H₂O çıkışının ölçümü sistemin solunum odasında otomatik olarak gerçekleşmektedir. Hava sıcaklığının ölçümü cihaza entegre bir ısı ölçerle, toprak sıcaklığının ölçümü ise cihazın STP-1 sıcaklık probunun toprağa batırılmasıyla cihaz tarafından otomatik olarak kaydedilmektedir.

CO₂ ölçümleri, parsellerin orta bölgesinde rastgele seçilen 3 noktada, iki bitki arasına denk gelecek şekilde damlatıcıdan yaklaşık 15-20 cm uzaklıkta 3'er okuma yapılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde dış ortamla tam bir izolasyon sağlamak için cihazın çemberi toprağa 1-2 cm çakılmıştır (Şekil 42) (Morell *et al.* 2010). Cihazın hazırlık aşaması dahil ölçümler her parselde yaklaşık 5-6 dakika sürmüştür. CO₂ ölçümleri sırasında üç farklı derinlikte (5 cm, 10 cm ve 20 cm) toprak sıcaklığı ölçümleri de gerçekleştirilmiştir (Sainju *et al.* 2008; Morell *et al.* 2010; Şenyigit ve Akbolat 2010; Nosalewicz *et al.* 2013; Mancinelli *et al.* 2015; Zornoza *et al.* 2016; Buragiene *et al.* 2019). Yine araziye kalibrasyonu sağlanmış HD2 mobil toprak nem ölçme cihazı (TDR, Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) kullanılarak toprak sıcaklığının ölçüldüğü derinliklerde CO₂ ölçümleriyle eş zamanlı toprak nem ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Toprak nem ölçümlerini doğrulamak için dönem içerisinde gravimetrik yolla da kontrol ölçümleri yapılmıştır.

CO₂ salınımı ölçümleri, toprak işleme-ekim, konulu sulama öncesi ve konulu sulama dönemleri olmak üzere vejetasyon periyodu süresinde üç ayrı döneme bölünerek her dönemde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, ilk CO₂ salınımını ölçümüne toprak işleme-ekim biter bitmez başlanmış (0 saat), sonraki ölçümler toprak işleme-ekimden 4, 24 ve 48 saat sonra, her toprak işleme-ekim uygulaması için rastgele seçilmiş 3 farklı noktada 3'er okuma yapılarak tamamlanmıştır (Morell *et al.* 2010). Konulu sulama öncesi dönemde, her toprak işleme-ekim uygulamasının sadece temiz su parsellerinde, sulamalardan 1 gün önce ve sulamalardan 1, 2, 3 gün sonra CO₂ salınımları ölçülmüştür. Konulu sulama dönemi CO₂ salınımı ölçümleri, tüm parsellerde, sulamalardan 1 gün önce ve 1, 2, 3 gün sonra, ilk 4 sulamaya kadar sürekli, sonraki sulamalarda ise iki sulamada bir olmak üzere sezon sonuna kadar sürdürülmüştür. Denemenin ikinci yılında, atık suyla sulanan parsellerde ilk yılın bakiye etkisini belirleyebilmek için hem

toprak işleme-ekim hem de konulu sulama öncesi dönemlerde konulu sulama döneminde olduğu gibi tüm parsellerde CO₂ salınımı ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 42. EGM-5 gaz analizörü ile topraktan CO₂ salınımı ölçümü

Birim alan ve birim ürün başına CO₂ salınımları

Silajlık mısır üretiminde vejetasyon periyodu boyunca birim alan başına (1 ha) gerçekleşen CO₂ salınımlarının hesaplanması, toprak işleme ekim, konulu sulama öncesi ve konulu sulama dönemleri ayrı ayrı dikkate alınarak sulanan bölgeyi temsilen yapılan ölçümlere ait veriler (g/m²/h) bir araya getirilip sezonluk verilere çevrildikten (g/m²/vejetasyon periyodu) sonra sulamalarda alanın tamamı ıslatılamadığından ıslanma oranıyla da düzeltilerek birim alana kg CO₂ uyarlamasıyla (kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) belirlenmiştir.

Silajlık mısır üretiminde vejetasyon periyodu boyunca birim ürün başına (1 kg silajlık ot verimi) gerçekleşen CO₂ salınımlarının hesaplanması ise, birim alan başına gerçekleşen CO₂ salınımlarının (kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) silajlık ot verimine (kg/ha) oranlanmasıyla (g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) belirlenmiştir.

Veri analizleri

Denemede elde edilen verilerin analizi SPSS (Ver. 21) paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. İki farklı toprak işleme-ekim, dört farklı sulama uygulaması ve üç tekerrür dikkate alınarak, veriler varyans analiziyle değerlendirilmiş, önemli bulunan ortalamalar için Duncan çoklu karşılaştırma testiyle % 5 önem seviyesinde sınıflandırma yapılmıştır. Birinci yılın toprak işleme-ekim ve konulu sulamalar öncesi dönemlerinde, CO₂ ve H₂O salınımı ile farklı derinliklerde (5 cm, 10 cm ve 20 cm) toprak sıcaklığı ve toprak nemi değerlerinin toprak işleme-ekim uygulamalarından kaynaklanan farkını belirlemek için t testi kullanılmıştır. Ayrıca, bazı parametreler arasındaki ilişkileri tanımlayabilmek amacıyla Pearson korelasyon analizleri de yapılmıştır. Veri tablolarında tekerrürlü ortalamalar standart hataları da içerecek şekilde düzenlenmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında arıtılmış evsel atık suyun farklı seviyelerinin (% 100, % 67 ve % 33) temiz suyla (% 100) kıyaslanarak silajlık mısırın sulama gereksinimi ve su tüketimi, su verimliliği ve sulama suyu verimliliği, bitki fizyolojik özellikleri, verim ve kalitesi ile toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özellikleri üzerine etkileri yanında, topraktan CO₂ salınımına etkileri değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Sulama Sularının Özellikleri

Temiz su ve arıtılmış atık sulardan 2020 yılı vejetasyon periyodunda beş dönemde (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül), 2021 yılı vejetasyon periyodunda dört dönemde (Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos) örneklemeler yapılmış ve alınan örneklerde pH, elektriksel iletkenlik (EC), katyon ve anyonlar, mikro element ve ağır metal içerikleri, toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR), Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC), Yüzde Sodyum (% Na), Langelier Saturasyon İndeksi (LSI) ve fekal koliform parametrelerine ilişkin analiz ve hesaplama sonucu belirlenmiş değerler Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Sulama sularının deneme yıllarında kalite analiz sonuçları

Parametreler	2020		2021	
	Temiz su	Atık su	Temiz su	Atık su
pH	8,10±0,08	7,44±0,04	8,20±0,05	7,72±0,07
EC (dS/m)	0,348±0,014	1,108±0,052	0,358±0,018	1,139±0,004
Ca (me/l)	0,92±0,02	2,14±0,04	1,05±0,04	2,50±0,07
Mg (me/l)	1,27±0,02	3,11±0,07	1,43±0,13	3,00±0,22
Na (me/l)	0,93±0,03	4,11±0,05	0,83±0,04	4,17±0,08
K (me/l)	0,12±0,01	0,96±0,03	0,15±0,01	1,31±0,06
CO ₃ (me/l)	-	-	-	-
HCO ₃ (me/l)	2,03±0,05	5,06±0,09	2,23±0,11	5,18±0,07
Cl (me/l)	0,34±0,02	2,04±0,05	0,43±0,02	1,99±0,15
SO ₄ (me/l)	0,83±0,04	1,74±0,04	0,79±0,06	1,51±0,16
NO ₃ (me/l)	-	1,58±0,05	-	1,57±0,12
B (mg/l)	-	0,55±0,03	-	0,46±0,04
Fe (mg/l)	0,054±0,005	0,412±0,009	0,053±0,005	0,419±0,007
Cu (mg/l)	-	0,011±0,001	-	0,011±0,001
Mn (mg/l)	0,009±0,001	0,071±0,006	0,007±0,001	0,095±0,004
Zn (mg/l)	-	0,015±0,000	-	0,015±0,000
Pb (mg/l)	-	0,002±0,001	-	0,002±0,001
Cd (mg/l)	-	0,001±0,001	-	-
Cr (mg/l)	-	0,001±0,000	-	0,001±0,001
Ni (mg/l)	-	0,038±0,001	-	0,047±0,002
TN (mg/l)	-	10,95±0,86	-	10,81±0,46
TP (mg/l)	-	1,69±0,10	-	1,18±0,03
AKM (mg/l)	-	21,87±1,50	-	29,85±1,35
KOİ (mg/l)	-	36,3±0,6	-	38,7±3,2
BOİ ₅ (mg/l)	-	22,0±0,5	-	24,3±1,5
SAR	0,89±0,02	2,54±0,05	0,75±0,05	2,51±0,08
RSC (me/l)	-0,16±0,04	-0,19±0,03	-0,25±0,11	-0,32±0,21
% Na	28,66±0,59	39,84±0,54	24,15±1,69	38,03±0,75
LSI	0,312±0,064	0,290±0,023	0,443±0,017	0,632±0,033
Fekal koliform (EMS/100 ml)	-	135±7	-	158±9

“-”: Tespit edilmemiştir.

Sulama suları pH, EC, infiltrasyon, toksik etki ve diğer etkiler dikkate alındığında sorun yaratmayan veya düşük sorunlu sular kategorisinde yer almaktadır (Ayers and Westcot 1994). Denemenin ikinci yılında hem temiz su hem de atık suyun pH ve EC değerleri ilk yıla göre kısmen daha yüksek belirlenmiştir. Sular pH açısından “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kılavuzu su kaynakları sınıflandırmasına göre (Anonim 2008) I. sınıf sular kategorisinde yer almıştır (Tablo 2). “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ne göre (Anonim 2010a) temiz su kullanımında sorun olmayan (I. Sınıf), arıtılmış atık su ise kullanımında az-orta derecede sorun olabilecek (II. Sınıf) sular kategorisinde değerlendirilmiştir (Tablo 4). Denemede bitki materyali silajlık mısırın tuzluluk açısından orta-hassas sınıfta yer alması dikkate alındığında (Ayers and Westcot 1994), arıtılmış atık sudan kaynaklı olarak doğrudan etki şeklinde bir tuzluluk problemi yaşanmamıştır.

Atık suyun Ca, Mg, Na, K, Cl ve SO₄ içerikleri temiz suya göre daha yüksek bulunmuş ve bu içeriklerin denemenin iki yılında da dikkate alınabilir bir farklılık göstermediği görülmüştür. Sulama sezonu boyunca temiz suda NO₃ ve B’a rastlanmazken, atık suda ise ilk ve ikinci yıl sırasıyla 1,58 me/l ile 1,57 me/l ve 0,55 mg/l ile 0,46 mg/l seviyelerinde NO₃ ve B belirlenmiştir.

Bitkiler gelişme ve büyümesi açısından katyonlara ihtiyaç duysa da özellikle sularda pH’nın>8,0 olduğu koşullarda, Ca ve Mg içeriğinin yüksek olması damla sulama sistemlerinde tıkanmalara neden olmaktadır (Kanber ve Ünlü 2010). Atık suda pH’nın 8’in ve ayrıca tuzluluğun da 2000 mg/l’nin altında olması dikkate alındığında damla sulama sisteminde tıkanma riskinin önemli ölçüde azaldığı söylenebilir (Tablo 6). Damla sulama sisteminde tıkanmayı tetikleyen diğer bir faktör de askıda katı madde miktarı (AKM)’dir. AKM ikinci yıl ilk yıla göre daha yüksek belirlenmiş olsa da “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ne göre (Anonim 2010a) 50 mg/l’yi aşmadığından tıkanma sorunu oluşturmamıştır. Ayrıca, aynı tebliğde, atık su, damla sulama yönteminde tıkanmayı etkileyen diğer su kalite kriterlerinden olan Mn ve Fe içeriğine göre de tıkanma riskinin az veya az-orta seviyede olduğu sular kategorisinde yer almıştır (Tablo 6). Temiz ve atık suyun Langelier Saturasyon İndeksinin (LSI) pozitif değerleri damla sulama sisteminde kireç birikme olasılığını işaret etsede (Kanber ve Ünlü 2010) sulama sezonu boyunca sayaç okumalarından ve damlatıcı debi kontrollerinden bir sorun oluşmadığı belirlenmiştir.

Toksik etkisi yüksek bir iyon olan Na’un, denemede kullanılan sulardaki içeriği dikkate alındığında, “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ne göre (Anonim 2010a) temiz su I. sınıf, atık su ise II. sınıf kategoriye girmekte ve II. sınıftaki atık sudan oluşacak zarar derecesi az-orta sınıfta değerlendirilmektedir (Tablo 4). Ayrıca Na’nın toprak

yapısı üzerindeki olumsuz etkisini değerlendirebilmek için uygulamada kullanılan Yüzde Sodyum (% Na) ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) değerleri incelendiğinde, sulama sularının sulamada kullanılabilir sınırlar içerisinde yer aldığı ve herhangi bir risk teşkil etmediği belirlenmiştir (Kanber ve Ünlü 2010). Topraklar üzerinde diğer bir olumsuz etkiyi değerlendiren Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC) miktarının 5 me/l'den daha düşük olması da, denemede kullanılan suların RSC açısından risk oluşturmadığını göstermektedir (Eaton 1950).

“Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kalite kriterleri dikkate alındığında (Anonim 2008), SO₄ bakımında atık su I. sınıf sular kategorisinde yer almıştır (Tablo 2). Scofield 1936 yöntemine göre de sulama sularının SO₄ içeriğinin 4 me/l'den daha düşük olması sulama suyu sınıfının çok iyi olduğunu göstermektedir (Kanber ve Ünlü 2010). Ancak atık suda HCO₃ içeriği FAO sistemine göre sorun oluşturabilecek seviyede bulunmuştur (Ayers and Westcot 1994).

Toksik etkisi yüksek bir iyon olan Cl'un hem atık su hem de temiz sudaki içeriği dikkate alındığında, suların “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ne göre (Anonim 2010a) sulamada kullanımında herhangi bir sıkıntı oluşturmeyen I. sınıf sular kategorisinde yer aldığı görülmektedir (Tablo 4). Yine Cl iyonu bakımından atık su ve temiz su, Scofield 1936 (< 4 me/l), Doneen 1954 (< 5 me/l) ve Christiansen 1977 (< 3 me/l) sistemlerine göre de I. sınıf sular kategorisinde değerlendirilmiştir (Kanber ve Ünlü 2010). Ancak “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırması dikkate alındığında (Anonim 2008), Cl içeriği bakımından temiz su I. sınıf, atık su ise II. sınıf sular kategorisinde yer almıştır. Aynı yönetmeliğe göre atık su NO₃ içeriği bakımından IV. kalite kategorisinde sınıflandırılmıştır (Tablo 2).

Yüksek toksisite etkisiyle özel bir iyon olan B'un atık sudaki konsantrasyonları incelendiğinde “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ne göre (Anonim 2010a) kullanımında sakınca oluşturmeyen sular sınıfında yer aldığı görülmüştür (Tablo 4). FAO (1985), Ayers and Westcot (1994) ile ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA 2004)'na göre de sulama sularındaki B içeriğinin 0,75 mg/l'den daha düşük olması problem oluşturmamaktadır. Ancak bitkinin B toksisitesine karşı hassasiyetine de dikkat edilmesi gerekmektedir. Mısır bitkisinde B'un toksisite oluşturabilecek seviyesi 0,67 mg/l olarak belirtilmiştir (Kanber ve Ünlü 2010).

Arıtılmış atık suyun Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Cd, Ni ve Pb içerikleri “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” (Anonim 2010a) ve ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA 2004) belirlemiş olduğu izin verilebilir maksimum konsantrasyonların oldukça aşağısındadır.

Ayrıca arıtılmış atık su “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırması’na göre de (Anonim 2008) iyi kalitedeki sular sınıfında yer almıştır.

Atık sulardaki azot ve fosfor, toprak verimliliği ve bitki gelişimini olumlu yönde etkilemektedir. Araştırmada kullanılan arıtılmış atık suyun toplam azot (TN) içeriği ilk ve ikinci yıl için sırasıyla 10,95 mg/l ve 10,81 mg/l, toplam fosfor (TP) içeriği ise aynı sıra ile 1,69 mg/l ve 1,18 mg/l olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre atık su “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırmasında (Anonim 2008) IV. sınıf sular kategorisinde yer almıştır (Tablo 2).

Araştırmanın ikinci yılında atık suyun Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Biyolojik Oksijen ihtiyacı (BOİ₅) değerleri daha yüksek olmasına rağmen “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırmasına göre (Anonim 2008) atık su KOİ bakımından II. sınıf sular, BOİ₅ bakımından ise IV. sınıf sular kategorisinde belirlenmiştir (Tablo 2).

Atık suların içerdiği fekal koliformlar mikrobiyolojik bir etken olarak sağlık açısından birçok hastalığın başlıca kaynağını oluşturmaktadırlar. Genel olarak sulardaki miktarı 100 ml’de En Muhtemel Sayı (EMS/100 ml) olarak ifade edilmektedir. Araştırmada kullanılan arıtılmış atık suyun fekal koliform miktarı ilk yıl ortalama 135 EMS/100 ml, ikinci yıl ise 158 EMS/100 ml olmuştur. Bu değerlere göre atık suyun kalitesi “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırması’nda II. sınıf olarak belirlenmiş olup (Anonim 2008), kullanımında sakınca bulunmayan sular sınıfında yer almıştır (Tablo 2). Ayrıca ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA 2004)’nın belirlediği sınır değerin de (1000 EMS/100 ml) oldukça altında olduğu görülmüştür.

Sulama sezonları boyunca değerlendirilen atık suyun analizlerinde denemenin iki yılında da su kalitesi açısından önemli farklılıklar görülmemiştir. Atık suyun “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırması (Anonim 2008) ve “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” (Anonim 2010a) ile uluslararası diğer ölçütlere göre değerlendirilmesi sonucunda sulamada kullanımında genel olarak sakınca bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sulama Suyu Miktarları

2020 ve 2021 yıllarında konulara uygulanan aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları Tablo 12 ile Tablo 13’de verilmiştir. Temiz su ve atık suyla tam sulama konularında eşit miktarlarda sulama suyu uygulanmıştır.

Tablo 12. 2020 yılında aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları (mm)

Toprak İşleme	Sulama seviyesi	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Geleneksel	% 100	4,9	15,3	153,4	144,3	33,4	351,3
Toprak	% 67	4,9	15,3	102,8	96,7	22,4	242,1
İşleme	% 33	4,9	15,3	50,6	47,6	11,0	129,4
Doğrudan	% 100	4,9	15,3	145,4	121,8	31,3	318,7
Ekim	% 67	4,9	15,3	97,4	81,6	21,0	220,2
	% 33	4,9	15,3	47,0	40,2	10,3	117,7

Tablo 13. 2021 yılında aylık ve mevsimlik sulama suyu miktarları (mm)

Toprak İşleme	Sulama seviyesi	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Toplam
Geleneksel	% 100	4,9	16,6	145,8	160,0	327,3
Toprak	% 67	4,9	16,6	97,7	107,1	226,3
İşleme	% 33	4,9	16,6	48,1	52,8	122,4
Doğrudan	% 100	4,9	16,6	121,0	151,6	294,1
Ekim	% 67	4,9	16,6	81,1	101,5	204,1
	% 33	4,9	16,6	39,9	50,0	111,4

Denemenin her iki yılında da ekim tarihinden bitki boyları 40-50 cm boya ulaşana kadar ki dönemde (4-6 yapraklı dönem), mayıs ve haziran aylarında temiz suyla sulama yapılmıştır. Bu amaçla 2020 yılında 20,2 mm, 2021 yılında ise 21,5 mm temiz su tüm parsellere eşit düzeyde uygulanmıştır. Planlı sulamalara temmuz ayında başlanmış ve sezon sonuna kadar sürdürülmüştür. İlk yıl toplam 13, ikinci yıl toplam 12 sulama yapılmış, bu sulamalardan birinci yıl 9’u, ikinci yıl ise 8’i planlı sulama şeklinde gerçekleştirilmiştir. İkinci yılda ilk yıla göre hasat olgunluğunun daha erken gerçekleşmesi nedeniyle Eylül ayında sulama yapılmamıştır. Denemede ortalama sulama aralığı 9 gün olmuş ve en sık aralıklarla sulama hava ve toprak sıcaklıklarının yüksek olduğu temmuz ve ağustos aylarında gerçekleştirilmiştir.

Denemenin ikinci yılında ilk yıla göre geleneksel toprak işlemede % 5,8 ile % 7,4, doğrudan ekimde % 6,5 ve % 8,8 aralığında değişen oranlarda daha az sulama suyu uygulanmıştır. Bu durum ilk yıla nazaran ikinci yılda yağışların daha fazla olmasıyla (Tablo 7 ve Şekil 10) ve ayrıca sezon başında kıştan bakiye suyun toprakta daha fazla birikimiyle

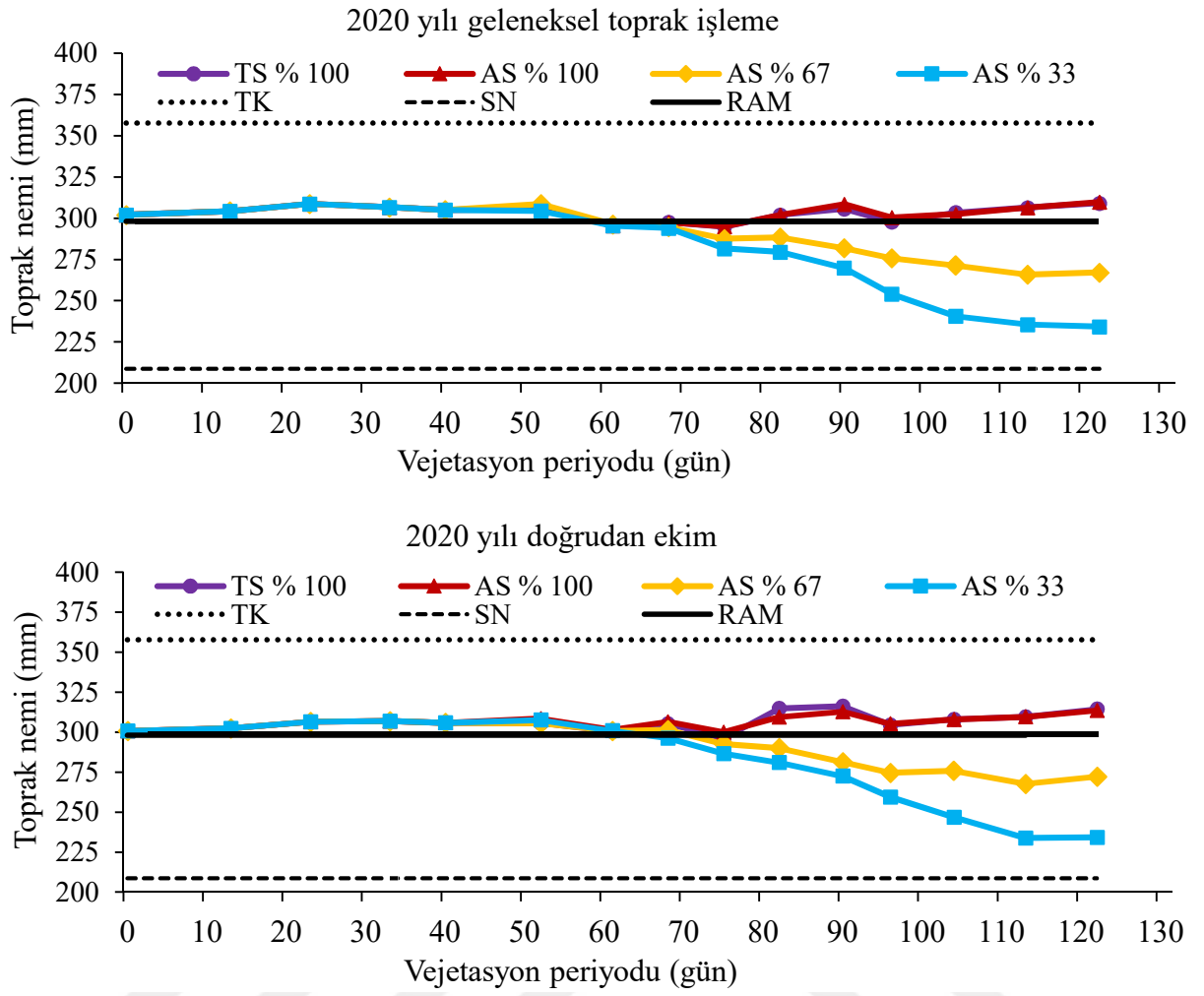
(Şekil 43 ve 44) açıklanabilir. Denemenin iki yılında da geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında daha az sulama suyu uygulanmıştır. İlk yıl doğrudan ekimde geleneksel toprak işlemeye göre % 9,1 ile % 10,3 ve ikinci yıl ise % 9,8 ile 11,2 aralığında sulama suyundan tasarruf sağlanmıştır. Bu durum doğrudan ekimde bitki kalıntı yönetiminin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Birçok araştırmacı yoğun toprak işlemeye göre doğrudan ekimde toprakta nem tutulumunun arttığını ve doğrudan ekim uygulamasında toprakta bırakılan bitki kalıntılarının toprak yüzeyini örtmesine bağlı olarak buharlaşmanın azalmasıyla sulama suyu miktarının da azaldığını belirtmişlerdir (De vita *et al.* 2007; Qin *et al.* 2008; Mkoga *et al.* 2010; Gözübüyük vd 2012b; Ma *et al.* 2015; Mishra and Kushwaha 2016; Qi *et al.* 2018; Gozubuyuk *et al.* 2020; Burke *et al.* 2021).

Ek olarak, toprak işleme uygulamalarına göre değişen toplam gözenekliliğin yanında gözenek büyüklük dağılımı ve bağlantılılığına bağlı olarak da buharlaşmayla topraktan su kaybı değişebilmektedir. Ghosh *et al.* (2020), geleneksel toprak işlemeye kıyasla toprak işlemesiz uygulamada daha düşük gözenekliliğin bulunduğunu, daha yüksek gözeneklilik ve maksimum bağlantılı gözeneklerin geleneksel toprak işleme uygulamasında sıklıkla görüldüğünü, korumalı toprak işlemenin toprakta su tutmayı sağlayan mikro poroziteyi artırdığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da doğrudan ekim uygulaması koşulunda daha düşük porozite değerleri (Tablo 18) belirlenmiş olmasına rağmen, muhtemelen artan mikro porlardan dolayı, tutulan su miktarının artmış (Şekil 43 ve 44) olması da buharlaşmayla su kaybı azalışını desteklemiş olabilir.

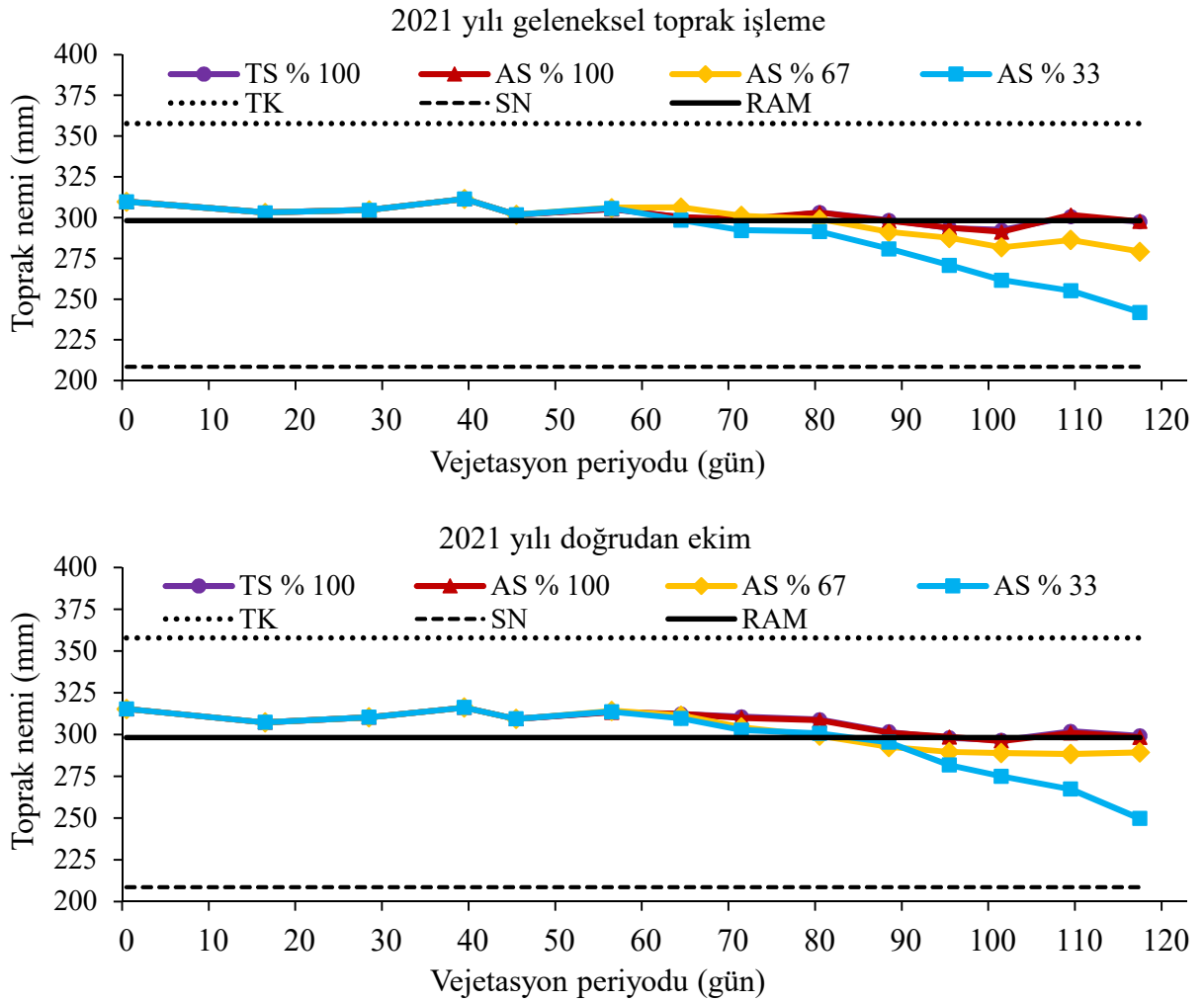
Toprak Nem İçeriğindeki Değişimler

Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında, temiz suyla tam (% 100) ve atık suyla farklı seviyelerde (% 100, % 67 ve % 33) sulama uygulamalarında toprakta sulamalar öncesi ve ekim ile hasat dönemlerinde kaydedilen nem değerleri Şekil 43 ve Şekil 44'de verilmiştir.

Deneme yıllarında, toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında, toprak nem içeriği değişim trendleri birbirine benzerlik göstermiş, denemeye girişte toprak nem içerikleri yarayışlı su miktarının % 40'ının (RAM) üzerinde bulunmuştur. Vejetasyon periyodu sonuna doğru toprak nem içerikleri kısıntılı sulama uygulamalarında solma noktasına yaklaşmıştır. Atık su ve temiz suyla tam sulama konularında ise toprak nem içeriği değerleri, RAM değerine yakın seyretmiştir. Toprak işleme-ekim uygulamaları incelendiğinde, denemenin iki yılında da doğrudan ekim uygulamasında nem içeriğinin daha yüksek olduğu belirgin bir şekilde görülmüştür.



Şekil 43. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında 2020 yılında sulama öncesi toprak nem değişim trendleri (RAM: yarayıslı suyun % 40'ı)

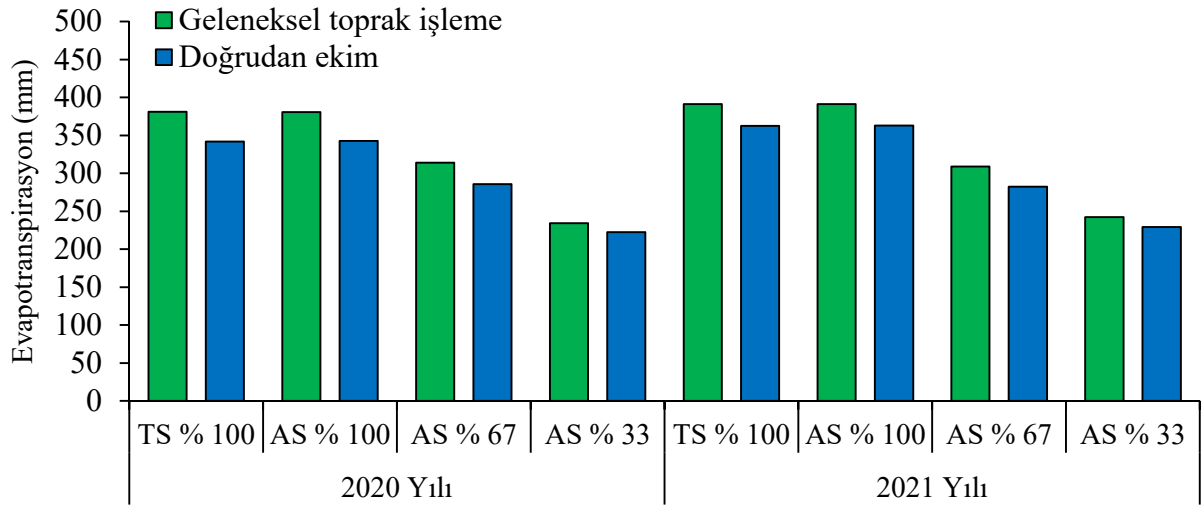


Şekil 44. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında 2021 yılında sulama öncesi toprak nem değişim trendleri (RAM: yarayırlı suyun % 40'ı)

Gerçek Bitki Su Tüketimi (Evapotranspirasyon)

Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında, temiz suyla tam (% 100) ve atık suyla farklı seviyelerde (% 100, % 67 ve % 33) sulama uygulamalarında su bütçesi eşitliğiyle hesaplanmış deneme yıllarına ait mevsimlik evapotranspirasyon değerleri Şekil 45'de verilmiştir.

İki deneme yılında da toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında evapotranspirasyon değerlerinin değişimi benzerlik göstermiştir. Vejetasyon periyotlarında yağış miktarlarının düşük olması nedeniyle (Tablo 7 ve Şekil 10) tam sulama uygulamalarında sulama suyu evapotranspirasyonun en önemli bileşenini oluşturmuştur. Temiz su ve atık suyla tam sulama uygulamalarında mevsimlik evapotranspirasyon değerleri sulama suyu miktarlarının eşit (Tablo 12 ve 13) ve sezon başı - sezon sonu toprak nem farkı katkısının yakın olmasının (Şekil 43 ve 44) bir sonucu olarak birbirine yakın bulunmuştur.



Şekil 45. 2020 ve 2021 yılları mevsimlik evapotranspirasyon değerleri

2020 yılı mevsimlik evapotranspirasyon değerleri geleneksel toprak işlemede 234,3 mm ile 381,3 mm, doğrudan ekimde 222,2 mm ile 342,8 mm ve 2021 yılında ise sırasıyla 242,3 mm ile 391,4 mm, 229,2 mm ile 363,2 mm aralığında değişiklik göstermiştir. Temiz su ve atık suyla tam sulama koşullarında mevsimlik evapotranspirasyon değerleri birbirine yakın bulunmuştur. İki deneme yılının ve sulama konularının ortalamasında, tam sulama suyu seviyelerine göre geleneksel toprak işlemede % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde sırasıyla % 19,3 ve % 38,3, doğrudan ekimde ise aynı sıra ile % 19,5 ve % 36,0 daha düşük mevsimlik evapotranspirasyon değerleri belirlenmiştir. İki deneme yılının ve sulama konularının ortalamasında, tam sulama suyu seviyelerine göre geleneksel toprak işlemede % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde sırasıyla % 19,3 ve % 38,3, doğrudan ekimde ise aynı sıra ile % 19,5 ve % 36,0 daha düşük su tüketimleri belirlenmiştir. Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekimde ise ilk yıl % 5,2 ile % 10,3 ve ikinci yıl % 5,4 ile % 8,6 oranlarında daha düşük mevsimlik evapotranspirasyon değerleri elde edilmiştir. Doğrudan ekim uygulamasında daha düşük mevsimlik evapotranspirasyon değerleri, toprak nem içeriği değişimindeki sınırlı farklar dikkate alındığında, daha az sulama suyu uygulanmasının (Tablo 12 ve 13) bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Van ili koşullarında geleneksel toprak işleme altında silajlık mısırdaki yürütülen başka bir çalışmada, yüzey üstü damla sulama sistemiyle farklı seviyelerde artırılmış atık su ve temiz su uygulamalarında mevsimlik evapotranspirasyon değerleri bu çalışmanın sonuçlarına göre kısmen yüksek olsa da yakın bulunmuştur. Tam sulamada ortalama evapotranspirasyon 444,0 mm, % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde ise 364,9 mm ve 293,8 mm olarak belirlenmiştir (Cakmakci and Sahin 2021b). Bu çalışmanın ikinci yılında % 100, % 67 ve % 33 sulama

seviyeleri için sırasıyla 416,3 mm, 329,8 mm ve 255,2 mm olarak belirtilen mevsimlik evapotranspirasyon değerleri, yürütülen bu denemenin verileri ile daha uyumlu olmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen mevsimlik evapotranspirasyon değerleri, Kiziloglu *et al.* (2009) tarafından yüksek rakımda yarı kurak iklime sahip Erzurum'da mobil sprinkler sulama sistemi ile tam sulanan silajlık mısır için belirlenen ortalama 600,6 mm değerinden daha düşük olmuştur. Yine aynı bölgede yapılan farklı bir çalışmada yüzey üstü damla sulama sistemi ile tam sulanan silajlık mısır için belirlenmiş 526,3 mm yağış+sulama suyu miktarı değerine göre de daha düşüktür (Ors *et al.* 2015a).

Yürütülen bu çalışmanın mevsimlik evapotranspirasyon bulguları, daha sıcak bölgelerde ve düşük rakımlardaki çalışmaların sonuçlarına göre de daha düşük bulunmuştur. Okursoy (2009), Tekirdağ koşullarında yüzey üstü damla sulama yöntemiyle tam sulanan ikinci ürün silajlık mısırın evapotranspirasyon değerini 466,9 mm olarak belirlemiştir. Arıtürk (2008)'de aynı bölgede ikinci ürün silajlık mısırın su ihtiyacının tam karşılandığı koşullarda mevsimlik evapotranspirasyon değerlerini karık sulama yönteminde 506 mm ve damla sulama yönteminde 429 mm olarak bildirmiştir. Derlenen diğer çalışmaların sonuçları da yüzey üstü damla sulama yöntemiyle tam sulanan silajlık mısırın evapotranspirasyon değerlerinin 635 mm ile 975 mm arasında değiştiğini göstermektedir (Dağdelen vd 2009; Kuşçu 2010; Kara 2011; Simsek *et al.* 2011; Ucak *et al.* 2016). Ancak, orta-yüksek rakımda (1333 m), yüzey üstü damla sulama yöntemiyle tam sulama koşullarında silajlık mısır yetiştiriciliğinde 350,5 mm olarak daha düşük evapotranspirasyon değeri de yapılan farklı bir çalışmada bildirilmiştir (Nilahyane and Islam 2018). Bu sonuçlar, özellikle bölgesel iklim değişimleri ve farklı sulama pratikleri yaklaşımlarının evapotranspirasyonda değişimlere neden olmasıyla ilişkili olarak açıklanabilir.

Su Verimliliği (WP) ve Sulama Suyu Verimliliği (WP_{irrig})

Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında su verimliliği (WP) ve sulama suyu verimliliği (WP_{irrig}) değerleri Tablo 14 ile Tablo 15'de ve varyans analiz sonuçları da Ek 1 ile Ek 2'de verilmiştir. Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının WP ve WP_{irrig} değerlerine etkisi $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur.

Sulama uygulamalarına bağlı olarak en yüksek WP değeri atık suyla tam sulama ve atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulamalarında, en yüksek WP_{irrig} değeri ise atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulamasında belirlenmiştir. Ayrıca doğrudan ekimde WP ve WP_{irrig} değerleri geleneksel toprak işlemeye göre daha yüksek bulunmuştur.

İki yıllık ortalamaya göre, atık suyla tam sulamada WP ve WP_{irrig} değerleri temiz suyla tam sulamaya göre sırasıyla % 11,0 ve % 11,6 daha yüksek olmuştur. Atık suyla tam sulama uygulamasının su tüketimi (Şekil 45) ve sulama miktarı (Tablo 12 ve 13) temiz suyla tam sulama uygulamasıyla benzer olduğu için, atık suyla tam sulama konularında atık suyun besleyici etkisine bağlı olarak artan verimin (Tablo 48) olumlu bir yansımasıyla WP ve WP_{irrig} değerlerinin arttığı söylenebilir.

% 33 sulama seviyesinde gerçekleşen önemli verim azalışının sonucunda (Tablo 48) WP değerleri de önemli seviyede azalmış fakat % 67 sulama seviyesinde azalan verime rağmen azalan su tüketimi (Şekil 45), WP değerlerinin atık suyla tam sulama konusuyla benzer olmasını sağlamıştır. Yine % 67 sulama seviyesinde de azalan verime rağmen azalan sulama suyu miktarı (Tablo 12 ve 13), en yüksek WP_{irrig} değerlerini sağlamıştır. Ucak *et al.* (2016)'da damla sulama yönetimiyle sulanan silajlık mısırdaki en yüksek WP_{irrig} değerini % 70 sulama seviyesinde belirlemişlerdir. Benzer şekilde Arıtürk (2008)'de ikinci ürün silajlık mısırdaki en yüksek WP_{irrig} değerini % 50 kısıntılı sulama uygulamasında belirlemiştir. WP için geçerli olan hipotez artan su kullanımıyla bitki verimliliğinin artışına dayanmaktadır. WP'yi artırmak için daha fazla bitki su tüketimi gerekmektedir (Hatfield and Dold 2019). Dolayısıyla, sulama suyu seviyesiyle birlikte WP'nin artması, sulama ile verim artışının desteklendiğini göstermektedir (Bouazzama *et al.* 2012). Payero *et al.* (2008)'da mısırın WP değerinin su tüketimi ve verimle doğrusal olmayan bir şekilde arttığını ifade etmişlerdir.

İkinci yıl atık suyla sulama uygulamalarında verimdeki artış (Tablo 48) WP ve WP_{irrig} değerlerine de yansımıştır. İkinci yılda temiz suyla tam sulama koşullarında verim artışının atık su kadar yüksek olmaması ve ilk yıla göre artan bitki su tüketiminden dolayı (Şekil 45), temiz suyla tam sulamada WP değeri ilk yıla göre azalış göstermiştir. Fakat ikinci yılda daha az sulama suyu miktarının (Tablo 12 ve 13) WP_{irrig} değerini artırdığı sonucuna varılmıştır.

İki yıllık ortalamaya göre, doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeden sırasıyla % 12,1 ve % 13,2 daha yüksek WP ve WP_{irrig} değerleri elde edilmiştir. Bu durum, geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında sulama suyu miktarı (Tablo 12 ve 13) ve bitki su tüketiminin daha az (Şekil 45), verimin ise daha yüksek olmasıyla (Tablo 48) açıklanabilir. Basso and Ritchie (2018), mısır verimliliğinin su kullanım oranında bir değişiklik olmaksızın artırılabilirliğini ve bunun da artan WP ile sonuçlanabileceğini belirtmişlerdir.

Yapılan birçok çalışmada, atık suyla sulamada verim artışına bağlı olarak WP ve WP_{irrig} değerlerinin arttığı (Hassanli *et al.* 2009; Alkhamisi *et al.* 2011; Demir Doğan 2016; Tunc and Sahin 2016; Alkhamisi *et al.* 2017; Çakmakçı 2018; Hajihashemi *et al.* 2020;

Çakmakci and Sahin 2021b), kısıntılı sulamaların da WP ve WP_{irrig} değerlerini artırabildiği (Dagdelen *et al.* 2006; Igbadun *et al.* 2008; Kiziloglu *et al.* 2009; Okursoy 2009; Kuşçu 2010; Ucar *et al.* 2011; Bouazzama *et al.* 2012; Kuscü *et al.* 2014 Naghashzadeh *et al.* 2015; Çakmakci 2018; Ketten 2020, Çakmakci and Sahin 2021b) ve ayrıca doğrudan ekim uygulamasında azalan sulama suyu miktarı ve artan verimin etkisiyle WP ile WP_{irrig} değerlerinin arttığı bildirilmiştir (Zhang *et al.* 2013; Guan *et al.* 2014; Wang *et al.* 2018; Hou and Li 2019; Gozubuyuk *et al.* 2020).

Tablo 14. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında su verimliliği (WP) değerleri (kg/m³)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	17,1±0,1 e**	18,3±0,1 d	18,2±0,3 d	11,3±0,3 g	16,3±0,9 B**
	Doğrudan	19,4±0,1 c	21,0±0,2 a	20,4±0,4 b	12,3±0,4 f	18,3±1,1 A
	Ortalama	18,3±0,5 B**	19,7±0,6 A	19,3±0,3 A	11,8±0,3 C	
2021	Geleneksel	16,9±0,2 e*	19,3±0,2 c	19,5±0,1 c	11,7±0,1 g	16,9±1,0 B**
	Doğrudan	18,8±0,3 d	21,6±0,1 b	22,2±0,2 a	12,8±0,2 f	18,9±1,1 A
	Ortalama	17,9±0,5 B**	20,5±0,5 A	20,9±0,6 A	12,3±0,3 C	
2020 2021	Geleneksel	17,0±0,1 c**	18,8±0,1 b	18,9±0,2 b	11,5±0,2 e	16,6±0,9 B**
	Doğrudan	19,1±0,2 b	21,3±0,1 a	21,3±0,1 a	12,5±0,1 d	18,6±1,1 A
	Ortalama	18,1±0,5 B**	20,1±0,6 A	20,1±0,6 A	12,0±0,2 C	

** : p<0,01 * : p<0,05

Tablo 15. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında sulama suyu verimliliği (WP_{irrig}) değerleri (kg/m³)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	18,6±0,1	19,9±0,2	23,6±0,4	20,5±0,5	20,7±0,6 B**
	Doğrudan	20,8±0,2	22,6±0,2	26,5±0,5	23,0±0,8	23,2±0,7 A
	Ortalama	19,7±0,5 C**	21,3±0,6 B	25,1±0,7 A	21,8±0,7 B	
2021	Geleneksel	20,2±0,2	23,1±0,2	26,7±0,2	23,1±0,2	23,3±0,7 B**
	Doğrudan	23,1±0,4	26,6±0,2	30,6±0,2	26,3±0,4	26,7±0,8 A
	Ortalama	21,7±0,7 C**	24,9±0,8 B	28,7±0,9 A	24,7±0,7 B	
2020 2021	Geleneksel	19,4±0,1	21,5±0,1	25,1±0,1	21,8±0,3	22,0±0,6 B**
	Doğrudan	21,9±0,3	24,6±0,2	28,6±0,1	24,6±0,2	24,9±0,7 A
	Ortalama	20,7±0,6 C**	23,1±0,7 B	26,9±0,8 A	23,2±0,7 B	

** : p<0,01

Toprak Özellikleri

Deneme yıllarının hasat sonrasında 90 cm etkili kök derinliğinde üç tabaka halinde (0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm) tüm parsellerde toprakların fiziksel (tane yoğunluğu, kütle yoğunluğu, porozite ve agregat stabilitesi), kimyasal (pH, elektriksel iletkenlik, CaCO_3 , organik madde, organik karbon, toplam azot, alınabilir fosfor ve potasyum, değişebilir katyonlar, katyon değişim kapasitesi, değişebilir sodyum yüzdesi, mikro element ve ağır metaller) ve hidrolik (tarla kapasitesi, solma noktası ve yarıyışlı su) özellikleri değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Fiziksel toprak özellikleri

Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında denemenin iki yılına ve iki yıl ortalamalarına ait tane yoğunluğu, kütle yoğunluğu, porozite ve agregat stabilitesi değerleri Tablo 16-19'da ve varyans analiz sonuçları da Ek 3-6'da verilmiştir.

Tane yoğunluğu değerleri denemenin başlangıç değerlerine (Tablo 8) yakın bulunmuştur. Sulama uygulamalarının tane yoğunluğuna etkisi önemsiz olurken, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi sadece denemenin ilk yılında 30-60 cm ve 60-90 cm toprak tabakalarında sırasıyla $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ seviyelerinde önemli bulunmuştur (Tablo 16 ve Ek 3). Ancak farklar çok düşük seviyelerde olduğundan pratik açıdan anlamlı olmamıştır.

Toprak başlangıç analizlerine göre (Tablo 8) kütle yoğunluğu tüm toprak tabakalarında doğrudan ekim ve temiz suyla sulamada artarken, geleneksel toprak işleme ve atık suyla tam sulamada azalmış fakat kısıntı seviyesinin artmasıyla tekrar artış göstermiştir. İki yıllık ortalama değerlere göre sulama uygulamalarının kütle yoğunluğuna etkisi 0-30 cm ve 30-60 cm toprak tabakalarında $p < 0,01$ seviyesinde, 60-90 cm toprak tabakasında $p < 0,05$ seviyesinde önemli olurken, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi tüm toprak tabakalarında $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 17 ve Ek 4).

Her iki toprak işleme-ekim uygulamasında da atık suyla sulama toprağa önemli miktarda organik madde kazandırmış (Tablo 23), 0-30 cm toprak tabakasında organik madde içeriğinin kütle yoğunluğu değerleriyle arasında önemli ($p < 0,01$) negatif korelasyon belirlenmiştir (Ek 7 ve 8). Dolayısıyla, atık suyun kütle yoğunluğunu azaltması toprağa sağlamış olduğu organik maddeyle ve organik maddenin de agregasyonu iyileştirmesiyle (Tablo 19) açıklanabilir (Ek 7-12). Birçok araştırmacı da atık sularla sulanan toprakların kütle yoğunluğunun organik madde artışından dolayı azaldığını bildirmişlerdir (Tunç 2013; Demir Doğan 2016; Biswas *et al.* 2017; Çakmakçı 2018). Sulama suyu kısıntısının artması da

toprakta organik madde birikimini azalttığı için (Tablo 23) kütle yoğunluğundaki azalışı sınırlandırmıştır. Geleneksel toprak işlemede toprak işlenerek gevşetildiği için doğrudan ekim uygulamasında daha fazla toprak sıkışmasına bağlı olarak kütle yoğunluğu daha yüksek olmuştur. Barut vd (2010), geleneksel toprak işlemeye göre korumalı toprak işleme uygulamalarının toprak sıkışmasına neden olduğunu ve penetrasyon direncini artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında kütle yoğunluğunun daha yüksek bulunduğu birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir (Gozubuyuk *et al.* 2014; Blanco-Canqui and Ruis 2018; López-Vázquez *et al.* 2019)

Porozite değerleri deneme başlangıç içeriğine göre (Tablo 8) doğrudan ekim ve temiz suyla sulama uygulamalarında azalırken, geleneksel toprak işleme ve atık suyla tam sulamada artmış fakat kısıntı seviyesinin artmasıyla azalış göstermiştir. Ancak bu artış ve azalışlar sınırlı seviyelerde gerçekleşmiştir. Tane yoğunluğunda önemli bir değişim olmaması nedeniyle (Tablo 16), porozitenin uygulamalara göre değişimleri kütle yoğunluğuna (Tablo 17) paralel seyretmiştir. Porozite ile kütle yoğunluğunun önemli ($p<0,01$) negatif korelasyon ilişkileri de bu durumu desteklemiştir (Ek 7-12). İki yıllık ortalama değerlere göre sulama uygulamalarının poroziteye etkisi 0-30 cm ve 30-60 cm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde, 60-90 cm toprak tabakasında $p<0,05$ seviyesinde önemli olurken, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 18 ve Ek 5).

Atık suyla sulama koşullarında toprağa kazandırılan organik maddenin (Tablo 23) poroziteyi artırdığı yaklaşımı Biswas *et al.* (2017) tarafından da desteklenmiş, atık suyla sulamada porozitenin temiz suya kıyasla % 6 daha fazla olduğu ifade edilmiştir. Benzer şekilde birçok çalışmada da atık suyla sulama koşullarında porozitede artışlar tespit edilmiştir (Vogeler 2009; Tunç 2013; Tunc and Sahin 2015; Demir Doğan 2016; Çakmakçı 2018). Yine sulama suyu kısıntısının artmasına bağlı olarak toprağa organik madde girişinin azalmasıyla (Tablo 23) artan kütle yoğunluğuyla (Tablo 17) porozitenin azaldığı düşünülmektedir. Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında kütle yoğunluğunun daha yüksek olması da daha düşük porozite değerlerini ortaya çıkarmıştır. Küçükaltay ve Akbolat (2015), farklı toprak işleme uygulamalarında en düşük porozite değerlerinin doğrudan ekim uygulamasında (% 53,1) elde edildiğini, geleneksel toprak işleme (% 56,7) ve azaltılmış toprak işleme (% 53,7) uygulamalarında porozite değerlerinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Barut vd (2010)'de geleneksel toprak işleme uygulamasının doğrudan ekime göre toprakta toplam ve makro gözenek miktarını artırdığını ifade etmişlerdir.

Denemeye girişteki agregat stabilitesi değerlerine göre (Tablo 8) tüm uygulamalarda agregat stabilitesi artmıştır. Bu artış atık suyla tam sulama konularında daha fazla olurken, temiz suyla sulamada ve artan kısıntı seviyelerinde kısmen daha düşük seviyelerde gerçeklemiştir. Ayrıca geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekimde agregat stabilitesi daha yüksek belirlenmiştir. Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının agregat stabilitesine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olmuştur (Tablo 19 ve Ek 6).

Atık suyla sulamada toprakta artan organik maddenin (Tablo 23) agregat stabilitesine pozitif katkı sağladığı, dolayısıyla sulama miktarının azalmasıyla toprakta azalan organik maddenin agregat stabilitesini de azalttığı düşünülmektedir. Ek 7-12’de agregat stabilitesiyle hem organik madde hem de sulama suyu miktarının önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyon ilişkileri de bu durumu desteklemektedir. Vogeler (2009), atık suyla sulamanın agregat stabilitesini artırdığını, Çakmakçı (2018), atık suyla sulamada kısıntı seviyesinin artmasına bağlı olarak agregat stabilitesinin daha düşük seviyelerde artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekimde agregat stabilitesinin daha yüksek olması ise doğrudan ekimde toprakta daha fazla organik madde birikimiyle (Tablo 23) açıklanabilir. Benzer şekilde Sithole *et al.* (2019)’da doğrudan ekimde agregat stabilitesinin daha yüksek bulunduğunu ve bunun geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekimde organik maddenin daha uzun süre korunması ve daha yavaş mineralizasyonu ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Ergül (2011)’de toprak işlemesiz uygulama ile toprakta organik madde içeriğinin arttığını ve buna bağlı olarak agregat stabilitesinde de artış gerçekleştiğini bildirmiştir. Ayrıca birçok araştırmacı da geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekimde agregat stabilitesinin daha yüksek değerlere sahip olduğunu ifade etmişlerdir (Barut vd 2010; Du *et al.* 2013; Gozubuyuk *et al.* 2014; Nouwakpo *et al.* 2018)

Tablo 16. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında tane yoğunluğu değerleri

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	2,71±0,006	2,72±0,006	2,71±0,010	2,72±0,003	2,72±0,003
		Doğrudan	2,70±0,003	2,72±0,012	2,72±0,006	2,71±0,006	2,71±0,004
		Ortalama	2,71±0,003	2,72±0,006	2,72±0,005	2,72±0,004	
	2021	Geleneksel	2,72±0,006	2,71±0,003	2,71±0,003	2,71±0,006	2,71±0,003
		Doğrudan	2,72±0,003	2,71±0,007	2,71±0,003	2,71±0,003	2,71±0,002
		Ortalama	2,72±0,003	2,71±0,003	2,71±0,002	2,71±0,003	
	2020 2021	Geleneksel	2,72±0,003	2,72±0,002	2,71±0,004	2,72±0,002	2,72±0,002
		Doğrudan	2,71±0,003	2,72±0,009	2,72±0,004	2,71±0,002	2,71±0,002
		Ortalama	2,72±0,002	2,72±0,004	2,71±0,003	2,72±0,002	
30-60 cm	2020	Geleneksel	2,71±0,003	2,70±0,003	2,69±0,009	2,71±0,007	2,70±0,003 B*
		Doğrudan	2,71±0,001	2,71±0,006	2,72±0,003	2,71±0,006	2,71±0,002 A
		Ortalama	2,71±0,002	2,71±0,004	2,71±0,007	2,71±0,004	
	2021	Geleneksel	2,70±0,009	2,71±0,003	2,71±0,003	2,70±0,009	2,71±0,003
		Doğrudan	2,70±0,006	2,71±0,003	2,70±0,003	2,70±0,006	2,70±0,003
		Ortalama	2,70±0,005	2,71±0,002	2,71±0,002	2,70±0,005	
	2020 2021	Geleneksel	2,71±0,004	2,71±0,003	2,70±0,005	2,71±0,006	2,71±0,002
		Doğrudan	2,71±0,003	2,71±0,002	2,71±0,003	2,71±0,003	2,71±0,001
		Ortalama	2,71±0,002	2,71±0,002	2,71±0,003	2,71±0,003	
60-90 cm	2020	Geleneksel	2,68±0,007	2,68±0,007	2,68±0,003	2,67±0,009	2,68±0,003 B**
		Doğrudan	2,71±0,012	2,68±0,003	2,69±0,003	2,69±0,003	2,69±0,004 A
		Ortalama	2,70±0,010	2,68±0,003	2,69±0,002	2,68±0,006	
	2021	Geleneksel	2,69±0,006	2,70±0,009	2,70±0,003	2,69±0,006	2,70±0,003
		Doğrudan	2,69±0,003	2,69±0,006	2,68±0,003	2,70±0,006	2,69±0,003
		Ortalama	2,69±0,003	2,70±0,005	2,69±0,004	2,70±0,004	
	2020 2021	Geleneksel	2,69±0,006	2,69±0,008	2,69±0,003	2,68±0,007	2,69±0,003
		Doğrudan	2,70±0,006	2,69±0,003	2,69±0,003	2,70±0,003	2,70±0,003
		Ortalama	2,69±0,006	2,69±0,004	2,69±0,002	2,69±0,005	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 17. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında kütle yoğunluğu değerleri (g/cm³)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	1,31±0,003	1,29±0,003	1,30±0,006	1,31±0,003	1,30±0,003 B**
		Doğrudan	1,33±0,006	1,31±0,003	1,31±0,003	1,32±0,003	1,32±0,003 A
		Ortalama	1,32±0,005 A**	1,30±0,005 C	1,31±0,004 BC	1,32±0,004 AB	
	2021	Geleneksel	1,30±0,007	1,28±0,007	1,30±0,009	1,30±0,003	1,30±0,004 B**
		Doğrudan	1,34±0,006	1,30±0,009	1,32±0,006	1,32±0,010	1,32±0,006 A
		Ortalama	1,32±0,009 A**	1,29±0,006 B	1,31±0,006 A	1,31±0,006 A	
	2020 2021	Geleneksel	1,31±0,004	1,29±0,002	1,30±0,002	1,31±0,001	1,30±0,003 B**
		Doğrudan	1,34±0,005	1,31±0,003	1,32±0,003	1,32±0,003	1,32±0,004 A
		Ortalama	1,33±0,007 A**	1,30±0,004 C	1,31±0,004 B	1,32±0,004 A	
30-60 cm	2020	Geleneksel	1,41±0,006	1,37±0,003	1,38±0,003	1,39±0,004	1,39±0,004 B**
		Doğrudan	1,44±0,003	1,40±0,006	1,41±0,003	1,42±0,005	1,42±0,005 A
		Ortalama	1,43±0,007 A**	1,39±0,006 C	1,40±0,006 BC	1,41±0,006 B	
	2021	Geleneksel	1,40±0,012	1,37±0,012	1,39±0,012	1,38±0,003	1,39±0,005 B**
		Doğrudan	1,44±0,012	1,41±0,003	1,41±0,007	1,42±0,006	1,42±0,005 A
		Ortalama	1,42±0,012 A*	1,39±0,011 B	1,40±0,008 B	1,40±0,009 B	
	2020 2021	Geleneksel	1,41±0,003	1,37±0,004	1,39±0,007	1,39±0,002	1,39±0,004 B**
		Doğrudan	1,44±0,008	1,41±0,003	1,41±0,003	1,42±0,004	1,42±0,004 A
		Ortalama	1,43±0,009 A**	1,39±0,008 C	1,40±0,006 B	1,41±0,007 B	
60-90 cm	2020	Geleneksel	1,30±0,007	1,28±0,009	1,29±0,006	1,30±0,003	1,29±0,003 B**
		Doğrudan	1,33±0,006	1,30±0,003	1,31±0,010	1,32±0,003	1,32±0,004 A
		Ortalama	1,32±0,007 A*	1,29±0,006 B	1,30±0,007 B	1,31±0,005 AB	
	2021	Geleneksel	1,29±0,006	1,28±0,009	1,29±0,009	1,29±0,009	1,29±0,004 B**
		Doğrudan	1,32±0,009	1,32±0,006	1,32±0,009	1,30±0,006	1,31±0,005 A
		Ortalama	1,31±0,009	1,30±0,009	1,31±0,008	1,30±0,005	
	2020 2021	Geleneksel	1,30±0,002	1,28±0,001	1,29±0,007	1,30±0,006	1,30±0,003 B**
		Doğrudan	1,33±0,006	1,31±0,003	1,32±0,006	1,31±0,004	1,32±0,004 A
		Ortalama	1,32±0,008 A*	1,30±0,007 B	1,31±0,006 B	1,31±0,004 B	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 18. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında porozite değerleri (%)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	51,5±0,22	52,5±0,22	52,0±0,11	52,0±0,11	52,0±0,12 A**
		Doğrudan	50,8±0,27	51,7±0,24	51,5±0,22	51,2±0,22	51,3±0,15 B
		Ortalama	51,2±0,23 C**	52,1±0,22 A	51,8±0,15 AB	51,6±0,22 BC	
	2021	Geleneksel	52,1±0,34	52,7±0,30	51,9±0,32	51,9±0,06	52,1±0,16 A**
		Doğrudan	50,7±0,27	52,2±0,37	51,2±0,22	51,4±0,43	51,4±0,22 B
		Ortalama	51,4±0,37 B*	52,5±0,24 A	51,5±0,22 B	51,6±0,23 B	
	2020 2021	Geleneksel	51,8±0,21	52,6±0,05	51,9±0,14	52,0±0,02	52,1±0,11 A**
		Doğrudan	50,7±0,23	52,0±0,16	51,4±0,16	51,3±0,11	51,3±0,15 B
		Ortalama	51,3±0,28 C**	52,3±0,16 A	51,7±0,16 B	51,6±0,17 B	
30-60 cm	2020	Geleneksel	48,0±0,22	49,0±0,16	48,5±0,29	48,5±0,33	48,5±0,14 A**
		Doğrudan	47,0±0,12	48,3±0,18	48,2±0,16	47,7±0,23	47,8±0,18 B
		Ortalama	47,5±0,26 C**	48,6±0,18 A	48,4±0,16 AB	48,1±0,22 B	
	2021	Geleneksel	48,2±0,26	49,5±0,43	48,7±0,43	48,8±0,06	48,8±0,20 A**
		Doğrudan	46,5±0,34	47,9±0,06	47,7±0,22	47,4±0,19	47,4±0,18 B
		Ortalama	47,4±0,42 B**	48,7±0,41 A	48,2±0,30 A	48,1±0,33 A	
	2020 2021	Geleneksel	48,1±0,03	49,2±0,13	48,6±0,36	48,6±0,11	48,6±0,15 A**
		Doğrudan	46,8±0,23	48,1±0,11	48,0±0,05	47,6±0,19	47,6±0,17 B
		Ortalama	47,4±0,32 C**	48,7±0,26 A	48,3±0,21 B	48,1±0,16 B	
60-90 cm	2020	Geleneksel	51,3±0,22	52,1±0,37	51,3±0,17	51,5±0,18	51,7±0,14 A**
		Doğrudan	50,9±0,21	51,3±0,11	51,2±0,41	51,1±0,18	51,1±0,12 B
		Ortalama	51,1±0,16	51,7±0,24	51,6±0,25	51,3±0,14	
	2021	Geleneksel	51,7±0,28	52,4±0,28	52,0±0,32	51,9±0,23	52,0±0,14 A**
		Doğrudan	50,4±0,28	50,9±0,28	50,9±0,29	51,9±0,19	51,0±0,20 B
		Ortalama	51,0±0,34 B*	51,7±0,38 A	51,45±0,31 AB	51,9±0,13 A	
	2020 2021	Geleneksel	51,5±0,05	52,2±0,14	52,0±0,24	51,7±0,13	51,9±0,11 A**
		Doğrudan	50,7±0,24	51,1±0,11	51,1±0,19	51,5±0,18	51,1±0,12 B
		Ortalama	51,1±0,22 B*	51,7±0,26 A	51,5±0,24 A	51,6±0,11 A	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 19. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında agregat stabilitesi değerleri (%)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	46,2±0,15 f*	51,9±0,26 b	49,2±0,21 c	48,1±0,15 e	48,9±0,63 B**
		Doğrudan	48,6±0,09 d	53,6±0,25 a	51,8±0,17 b	49,5±0,15 c	50,9±0,59 A
		Ortalama	47,4±0,56 D**	52,8±0,41 A	50,5±0,59 B	48,8±0,33 C	
	2021	Geleneksel	46,7±0,20	54,8±0,18	50,1±0,03	48,5±0,23	50,0±0,92 B**
		Doğrudan	49,3±0,09	56,3±0,53	52,8±0,12	50,0±0,46	52,1±0,84 A
		Ortalama	48,0±0,60 D**	55,6±0,41 A	51,5±0,62 B	49,3±0,41 C	
	2020 2021	Geleneksel	46,4±0,17 g**	53,4±0,15 b	49,6±0,11 d	48,3±0,09 f	49,4±0,77 B**
		Doğrudan	49,0±0,02 e	55,0±0,14 a	52,3±0,03 c	49,8±0,30 d	51,5±0,71 A
		Ortalama	47,7±0,58 D**	54,2±0,37 A	51,0±0,60 B	49,1±0,36 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	45,4±0,09 g**	50,4±0,10 b	48,8±0,03 c	47,6±0,15 e	48,0±0,56 B**
		Doğrudan	46,6±0,19 f	52,9±0,32 a	50,6±0,21 b	48,1±0,18 d	49,6±0,74 A
		Ortalama	46,0±0,28 D**	51,7±0,59 A	49,7±0,41 B	47,9±0,16 C	
	2021	Geleneksel	45,7±0,15	51,5±0,35	48,9±0,20	47,7±0,79	48,4±0,66 B**
		Doğrudan	47,0±0,35	53,6±0,37	51,0±0,07	48,3±0,07	50,0±0,78 A
		Ortalama	46,3±0,33 D**	52,6±0,53 A	50,0±0,49 B	48,0±0,38 C	
	2020 2021	Geleneksel	45,5±0,06 f**	51,0±0,13 b	48,9±0,08 c	47,6±0,42 d	48,3±0,60 B**
		Doğrudan	46,8±0,20 e	53,3±0,32 a	50,8±0,14 b	48,2±0,10 d	49,8±0,76 A
		Ortalama	46,2±0,29 D**	52,2±0,54 A	49,9±0,44 B	47,9±0,23 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	45,2±0,20	48,6±0,27	47,4±0,25	46,6±0,09	47,0±0,39 B**
		Doğrudan	46,2±0,21	50,8±0,21	48,8±0,18	47,9±0,26	48,4±0,51 A
		Ortalama	45,7±0,27 D**	49,7±0,51 A	48,1±0,34 B	47,3±0,30 C	
	2021	Geleneksel	45,5±0,23	48,8±0,18	47,3±0,12	46,4±0,53	47,0±0,39 B**
		Doğrudan	46,7±0,27	51,4±0,68	48,8±0,13	46,9±0,22	48,5±0,59 A
		Ortalama	46,1±0,31 C**	50,2±0,66 A	48,1±0,70 B	46,7±0,28 A	
	2020 2021	Geleneksel	45,4±0,20 e*	48,7±0,22 b	47,4±0,14 c	46,5±0,26 d	47,0±0,38 B**
		Doğrudan	46,5±0,07 d	51,1±0,26 a	48,8±0,12 b	47,4±0,24 c	48,5±0,53 A
		Ortalama	46,0±0,27 D**	49,9±0,55 A	48,1±0,33 B	47,0±0,25 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Kimyasal toprak özellikleri

Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında denemenin iki yılına ve iki yıl ortalamalarına ait pH, elektriksel iletkenlik (EC), CaCO_3 , organik madde, organik karbon, toplam azot (TN), alınabilir fosfor (P_2O_5) ve potasyum (K_2O), değişebilir katyonlar (Ca, Mg, Na ve K), katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), mikro element ve ağır metaller (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) Tablo 20-42’de ve varyans analiz sonuçları da Ek 13-35’de verilmiştir.

Deneme başlangıcı toprak pH değerlerine göre (Tablo 9) atık suyla tam sulama konularında pH değerleri azalmış, temiz suyla sulamada ve atık suyla kısıntılı sulama uygulamalarında bu azalış daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Toprak işleme-ekim uygulamalarının pH değerlerine etkisi önemsiz olurken, sulama uygulamalarının etkisi tüm toprak tabakalarında $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 20 ve Ek 13).

Atık suyla sulamada toprak pH’sının temiz suyla sulamaya göre daha düşük bulunmuş olmasının atık suyun yüksek azot içeriğiyle (Tablo 11) ilişkili olduğu düşünülmektedir. Silva *et al.* (2016), toprağa azot girişiyle NH_3 ’ün nitrifikasyonu ile oluşan her NO_2 molü için üç proton (H^+) salınımının sonucunda toprak pH’sının azaldığını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada, atık suyla sulama koşullarında, toprakta organik yapıdaki asitlerin ve organik maddelerin ayrışması sonucunda toprak asitliğinin arttığına dikkat çekilmiştir (Vaseghi *et al.* 2005). Ayrıca atık suların sulamada kullanımı sonucunda toprak pH’sının azaldığını ifade eden birçok çalışma da bulunmaktadır (Singh *et al.* 2012; Cicek *et al.* 2013; Tunç 2013; Bedbabis *et al.* 2014; Demir Doğan 2016; Çakmakçı 2018). Deneme sonrasında, tüm uygulamalarda toprak pH’sının orta derecede alkaline grupta (7,9-8,4) yer alması topraklarda besin maddelerinin elverişliliği konusunda sıkıntı oluşmadığını göstermektedir (Sezen 1991).

Deneme öncesi toprak EC değerlerine göre (Tablo 9) tüm sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarında EC değerleri artmıştır. Atık suyla tam sulamada 2,5 katlık bir artış belirlenmiş, bu artış temiz suya kıyasla çok daha yüksek bulunmuş ve sulama miktarının azalmasıyla da artış sınırlanmıştır. Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının EC değerlerine etkisi tüm toprak tabakalarında $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 21 ve Ek 14).

Atık suyla sulamada EC değerlerinin temiz suyla sulamaya göre daha yüksek olması, atık suyun temiz suya göre daha fazla tuz içermesinin (Tablo 11) bir sonucu olarak görülmüştür. Yine kısıntılı sulama uygulamalarında daha az seviyede artan toprak EC değerleri de toprağa su girişinin azalmasına bağlı olarak tuz girişinin de azalmasıyla ilişkili

olarak değerlendirilmiştir. EC değerleri ile sulama suyu miktarlarının önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyon ilişkileri de bu durumu desteklemiştir (Ek 7-12). Birçok araştırmada atık suyla sulamaya bağlı olarak toprak EC değerlerinin artış gösterdiği (Singh *et al.* 2012; Cicek *et al.* 2013; Bedbabis *et al.* 2014) ve atık suyla sulama kısıntısıyla bu artışın sınırlandığı bildirilmiştir (Tunç 2013; Demir Doğan 2016; Çakmakçı 2018). Ayrıca doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeye göre daha düşük EC değerleri de kısıntılı sulama uygulamalarında olduğu gibi daha az sulama suyu miktarıyla (Tablo 12 ve 13) ilişkili olarak değerlendirilmiştir.

Deneme öncesi toprak CaCO_3 içerikleri (Tablo 9) tüm toprak tabakalarında sulama uygulamalarıyla azalırken, bu azalış atık suyla tam sulamada ve toprağın 60-90 cm tabakasında daha belirgin olmuştur. Ayrıca atık suyla % 33 sulama uygulamasındaki azalışlar en düşük seviyelerde gerçekleşmiş, bunu temiz suyla tam sulama uygulaması takip etmiştir. Sulama uygulamalarının CaCO_3 içeriğine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi önemsiz bulunmuştur (Tablo 22 ve Ek 15).

Atık suyla sulamada CaCO_3 içeriğindeki azalmanın pH azalmasıyla (Tablo 20) ilişkili olduğu düşünülmektedir. Özellikle yüzey toprak tabakasında gerçekleşen önemli pH azalmasının bir sonucu olarak CaCO_3 içeriğinin azaldığı, Ek 7 ve 8'de verilen pH ve CaCO_3 içeriği arasındaki anlamlı ($p<0,05$) pozitif korelasyon ilişkileriyle de desteklenmiştir. Bu durum, toprakta düşük pH değerlerinin kireç çözünürlüğünü artırdığını göstermiştir. Benzer şekilde Kiziloglu *et al.* (2008), Tunç (2013), Demir Doğan (2016) ile Çakmakçı (2018)'da yaptıkları çalışmada pH'da azalmaya yol açan atık sularla sulamanın CaCO_3 içeriğinde de azalmaya yol açtığını bildirmişlerdir. Belirlenen sonuçlara göre deneme öncesinde de olduğu gibi topraklar CaCO_3 içeriği bakımında kireçli sınıfta yer almıştır (Sezen 1991).

Tablo 20. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında pH değerleri

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	8,14±0,01	7,95±0,02	8,11±0,02	8,12±0,01	8,08±0,02
		Doğrudan	8,14±0,01	7,96±0,01	8,11±0,02	8,13±0,01	8,09±0,02
		Ortalama	8,14±0,01 A**	7,96±0,01 B	8,11±0,01 A	8,13±0,01 A	
	2021	Geleneksel	8,12±0,02	7,89±0,04	8,09±0,04	8,12±0,01	8,06±0,03
		Doğrudan	8,13±0,01	7,92±0,02	8,09±0,02	8,13±0,01	8,07±0,03
		Ortalama	8,13±0,01 A**	7,91±0,02 B	8,09±0,02 A	8,13±0,01 A	
	2020 2021	Geleneksel	8,13±0,01	7,92±0,01	8,10±0,02	8,12±0,01	8,07±0,03
		Doğrudan	8,13±0,01	7,94±0,01	8,10±0,02	8,13±0,01	8,08±0,02
		Ortalama	8,13±0,01 A**	7,93±0,01 C	8,10±0,01 B	8,13±0,01 A	
30-60 cm	2020	Geleneksel	8,16±0,02	8,01±0,02	8,05±0,02	8,01±0,02	8,06±0,02
		Doğrudan	8,14±0,01	8,01±0,04	8,04±0,02	8,02±0,02	8,05±0,02
		Ortalama	8,15±0,01 A**	8,01±0,02 B	8,05±0,01 B	8,02±0,01 B	
	2021	Geleneksel	8,12±0,02	7,89±0,05	8,09±0,01	7,98±0,04	8,02±0,03
		Doğrudan	8,14±0,02	7,92±0,02	8,09±0,01	8,02±0,01	8,04±0,03
		Ortalama	8,13±0,01 A**	7,91±0,03 C	8,09±0,01 B	8,00±0,02 B	
	2020 2021	Geleneksel	8,14±0,01	7,96±0,03	8,03±0,01	8,00±0,01	8,03±0,02
		Doğrudan	8,14±0,01	7,97±0,02	8,04±0,01	8,02±0,01	8,04±0,02
		Ortalama	8,14±0,01 A**	7,97±0,01 C	8,04±0,01 B	8,01±0,01 B	
60-90 cm	2020	Geleneksel	8,48±0,02	8,36±0,01	8,42±0,01	8,44±0,02	8,43±0,01
		Doğrudan	8,47±0,01	8,36±0,01	8,42±0,02	8,43±0,01	8,42±0,01
		Ortalama	8,48±0,01 A**	8,36±0,01 C	8,42±0,01 B	8,44±0,01 B	
	2021	Geleneksel	8,48±0,02	8,30±0,03	8,45±0,02	8,43±0,01	8,42±0,02
		Doğrudan	8,50±0,01	8,32±0,04	8,40±0,01	8,43±0,02	8,41±0,02
		Ortalama	8,49±0,01 A**	8,31±0,02 C	8,43±0,01 B	8,43±0,01 B	
	2020 2021	Geleneksel	8,48±0,01	8,33±0,01	8,43±0,02	8,43±0,01	8,42±0,02
		Doğrudan	8,49±0,01	8,34±0,02	8,41±0,01	8,43±0,01	8,42±0,02
		Ortalama	8,49±0,01 A**	8,34±0,01 C	8,42±0,01 B	8,43±0,01 B	

**: p<0,01

Tablo 21. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında elektriksel iletkenlik (EC) değerleri (dS/m)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama	
0-30 cm	2020	Geleneksel	0,537±0,005	0,718±0,002	0,585±0,002	0,442±0,007	0,571±0,030 A **
		Doğrudan	0,516±0,004	0,688±0,002	0,562±0,002	0,421±0,002	0,547±0,029 B
		Ortalama	0,527±0,005 C**	0,703±0,007 A	0,574 ±0,005 B	0,432±0,006 D	
	2021	Geleneksel	0,547±0,013	0,752±0,005	0,589±0,003	0,443±0,005	0,583±0,034 A **
		Doğrudan	0,524±0,005	0,731±0,008	0,560±0,009	0,425±0,005	0,560±0,033 B
		Ortalama	0,536±0,008 C**	0,742±0,006 A	0,575±0,008 B	0,434±0,005 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,542±0,006	0,735±0,004	0,587±0,003	0,442±0,006	0,577±0,032 A **
		Doğrudan	0,520±0,004	0,710±0,004	0,561±0,005	0,423±0,004	0,554±0,031 B
		Ortalama	0,531±0,006 C**	0,723±0,006 A	0,574±0,006 B	0,433±0,005 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,564±0,003	0,742±0,004	0,621±0,002	0,464±0,005	0,598±0,030 A **
		Doğrudan	0,546±0,003	0,728±0,002	0,606±0,005	0,446±0,007	0,582±0,031 B
		Ortalama	0,555±0,005 C**	0,735±0,004 A	0,614±0,004 B	0,455±0,005 D	
	2021	Geleneksel	0,585±0,003	0,808±0,006	0,635±0,003	0,473±0,003	0,625±0,036 A **
		Doğrudan	0,559±0,011	0,795±0,010	0,627±0,004	0,452±0,002	0,608±0,038 B
		Ortalama	0,572±0,008 C**	0,802±0,006 A	0,631±0,003 B	0,463±0,005 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,575±0,003	0,775±0,005	0,628±0,003	0,468±0,004	0,612±0,033 A **
		Doğrudan	0,553±0,006	0,762±0,005	0,617±0,002	0,449±0,004	0,595±0,034 B
		Ortalama	0,564±0,006 C**	0,769±0,004 A	0,623±0,003 B	0,459±0,005 D	
60-90 cm	2020	Geleneksel	0,588±0,001	0,762±0,002	0,636±0,003	0,474±0,004	0,615±0,031 A **
		Doğrudan	0,574±0,004	0,742±0,003	0,621±0,002	0,457±0,002	0,599±0,031 B
		Ortalama	0,581±0,004 C**	0,752±0,005 A	0,629±0,004 B	0,466±0,004 D	
	2021	Geleneksel	0,630±0,008	0,811±0,007	0,659±0,004	0,489±0,004	0,647±0,035 A **
		Doğrudan	0,602±0,002	0,795±0,005	0,655±0,008	0,463±0,007	0,629±0,036 B
		Ortalama	0,616±0,007 C**	0,803±0,005 A	0,657±0,004 B	0,476±0,007 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,609±0,004	0,786±0,004	0,648±0,002	0,482±0,004	0,63±0,033 A **
		Doğrudan	0,588±0,003	0,769±0,002	0,638±0,004	0,460±0,002	0,614±0,033 B
		Ortalama	0,599±0,005 C**	0,778±0,004 A	0,643±0,003 B	0,471±0,005 D	

** : p<0,01

Tablo 22. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında CaCO₃ içerikleri (%)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	10,30±0,02	9,31±0,03	9,61±0,03	10,58±0,02	9,95±0,15 A**
		Doğrudan	10,28±0,02	9,24±0,01	9,52±0,01	10,58±0,02	9,91±0,16 B
		Ortalama	10,29±0,01 B**	9,28±0,02 D	9,57±0,03 C	10,58±0,01 A	
	2021	Geleneksel	10,22±0,02	8,81±0,02	9,16±0,03	10,49±0,04	9,67±0,21
		Doğrudan	10,25±0,03	8,85±0,06	9,19±0,03	10,52±0,02	9,70±0,21
		Ortalama	10,24±0,02 B**	8,83±0,03 D	9,18±0,02 C	10,51±0,02 A	
	2020 2021	Geleneksel	10,26±0,01	9,06±0,02	9,39±0,02	10,54±0,01	9,81±0,18
		Doğrudan	10,27±0,02	9,05±0,03	9,36±0,02	10,55±0,02	9,81±0,19
		Ortalama	10,27±0,01 B**	9,06±0,02 D	9,80±0,02 C	10,55±0,01 A	
30-60 cm	2020	Geleneksel	11,53±0,03	9,46±0,06	10,58±0,02	12,05±0,01	10,90±0,30
		Doğrudan	11,55±0,02	9,44±0,02	10,52±0,02	12,08±0,01	10,89±0,30
		Ortalama	11,54±0,02 B**	9,45±0,03 D	10,55±0,02 C	12,07±0,01 A	
	2021	Geleneksel	11,24±0,02	8,93±0,11	10,32±0,05	12,01±0,05	10,62±0,35
		Doğrudan	11,27±0,04	8,90±0,06	10,29±0,10	12,06±0,03	10,63±0,36
		Ortalama	11,26±0,02 B**	8,91±0,05 D	10,30±0,05 C	12,03±0,03 A	
	2020 2021	Geleneksel	11,40±0,02	9,19±0,08	10,45±0,03	12,03±0,03	10,77±0,32
		Doğrudan	11,40±0,03	9,17±0,02	10,40±0,05	12,07±0,02	10,76±0,33
		Ortalama	11,40±0,02 B**	9,18±0,04 D	10,43±0,03 C	12,05±0,02 A	
60-90 cm	2020	Geleneksel	12,49±0,03	11,29±0,03	11,87±0,05	15,26±0,01	12,73±0,46
		Doğrudan	12,48±0,02	11,33±0,02	11,81±0,03	15,26±0,03	12,72±0,46
		Ortalama	12,49±0,01 B**	11,30±0,02 D	11,84±0,03 C	15,26±0,01 A	
	2021	Geleneksel	11,32±0,06	10,72±0,11	11,40±0,07	15,27±0,04	12,18±0,54
		Doğrudan	11,30±0,03	10,89±0,12	11,39±0,15	15,27±0,08	12,21±0,54
		Ortalama	11,31±0,03 B**	10,81±0,08 C	11,40±0,08 B	15,27±0,04 A	
	2020 2021	Geleneksel	11,91±0,02	11,01±0,04	11,64±0,06	15,27±0,02	12,46±0,50
		Doğrudan	11,89±0,01	11,11±0,07	11,60±0,06	15,26±0,04	12,47±0,49
		Ortalama	11,90±0,01 B**	11,06±0,04 D	11,62±0,04 C	15,27±0,02 A	

**: p<0,01

Deneme sonunda atık suyla tam sulamada organik madde içeriği toprak başlangıç içeriğine göre (Tablo 9) toprak tabakalarında % 50 ile % 67 arasında artış göstermiştir. Temiz suyla tam sulamaya göre atık suyla tam sulamada organik madde miktarı 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm toprak tabakalarında sırasıyla % 17,0, % 19,5 ve % 9,5 daha yüksek olmuş ve organik karbon miktarındaki artışlar da formüsel hesaplama yaklaşımından dolayı organik madde değişim trendine benzer olmuştur. Ayrıca geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulaması daha yüksek organik madde (organik karbon) içeriği sağlamıştır. Atık suyla sulama koşullarında toprağın 0-30 cm tabakasında artan organik madde miktarı, organik madde sınıflandırmasının az sınıftan orta sınıfa yükselmesini, diğer tabakalarda ise orta sınıfa yaklaşmasını sağlamıştır (Sezen 1991). Sulama uygulamalarının organik madde (organik karbon) içeriğine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi 0-30 cm ve 60-90 cm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde, 30-60 cm toprak tabakasında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 23-24 ve Ek 17-18).

Atık suyla sulama koşullarında toprakta organik madde artışı atık suyun yüksek BOİ ve KOİ içeriğiyle (Tablo 11) bağlantılı olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde Bedbabis *et al.* (2015)'da atık suyla sulama koşullarında atık suyun yüksek BOİ ve KOİ içeriğinden kaynaklı toprakta organik madde artışı belirlemişlerdir. Yine birçok çalışmada da atık suyla sulamada toprakların organik madde ve/veya organik karbon içeriğinde artışlar olduğu bildirilmiştir (Kiziloglu *et al.* 2007; Mohamed *et al.* 2010; Bernier *et al.* 2013; Sánchez-González *et al.* 2017; Abd-Elwahed 2019; Demir Dogan and Sahin 2020; Liu *et al.* 2021). Ayrıca, Çakmakcı (2018) tarafından atık suyla sulama koşullarında daha iyi bitki gelişiminin bir sonucu olarak toprakta bitki kalıntı artışının da organik maddeye pozitif katkı sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Doğrudan ekimde toprak daha az karıştırıldığı için organik maddenin oksidasyonu azalmakta iken, yoğun toprak işleme bitki kalıntılarının ayrışma oranını artırarak toprak organik madde içeriğinde önemli azalmalara neden olabilmektedir (Malhi *et al.* 2018). Bu çalışmada da toprak işlemenin bir sonucu olarak artan havalanmayla mineralizasyonun hızlanması ve parçalanmanın artması, geleneksel toprak işlemenin doğrudan ekim uygulamasına göre daha düşük organik maddeye (organik karbon) sahip olmasını sağlamıştır. Toprak işlemesiz yönetim, karbon kaybını azaltmanın yanında karbon girdilerini yakalayarak da toprakta organik karbonu artırma potansiyeline sahiptir (Hou *et al.* 2011). Koçyiğit (2008)'de, minimum toprak işlemenin hem toprağı organik madde ve organik karbonca zenginleştirdiğini hem de toprak verimliliğini artırdığını bildirmiştir. Başka bir çalışmada da

doğrudan ekim uygulamasında toprak yüzeyinde bırakılan bitki kalıntılarının toprağı organik maddece zenginleştirdiğine vurgu yapılmıştır (Tabaglio *et al.* 2009). Birçok araştırmacı da doğrudan ekim veya azaltılmış toprak işleme uygulamalarının toprağın organik madde ve/veya organik karbon içeriğine olumlu katkılar sunduğunu belirtmişlerdir (He *et al.* 2011; Shao *et al.* 2016; Si *et al.* 2018, Denardin *et al.* 2019; Yang *et al.* 2019, Gozubuyuk *et al.* 2020; Kan *et al.* 2020).

Tablo 23. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında organik madde içerikleri (%)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	1,73±0,01	1,95±0,02	1,78±0,02	1,50±0,01	1,74±0,05 B**
		Doğrudan	1,74±0,01	2,02±0,02	1,83±0,01	1,52±0,02	1,78±0,05 A
		Ortalama	1,74±0,01 C**	1,99±0,02 A	1,81±0,01 B	1,51±0,01 D	
	2021	Geleneksel	1,78±0,02	2,12±0,02	1,84±0,01	1,55±0,02	1,82±0,06
		Doğrudan	1,80±0,03	2,14±0,01	1,84±0,02	1,58±0,01	1,84±0,06
		Ortalama	1,79±0,02 C**	2,13±0,01 A	1,84±0,01 B	1,57±0,01 D	
	2020 2021	Geleneksel	1,75±0,01	2,04±0,01	1,81±0,01	1,52±0,02	1,78±0,06 B**
		Doğrudan	1,77±0,02	2,08±0,01	1,83±0,02	1,55±0,01	1,81±0,06 A
		Ortalama	1,76±0,01 C**	2,06±0,01 A	1,82±0,01 B	1,54±0,01 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	1,56±0,03	1,81±0,02	1,74±0,01	1,61±0,02	1,68±0,03
		Doğrudan	1,59±0,03	1,85±0,02	1,76±0,02	1,59±0,01	1,70±0,03
		Ortalama	1,58±0,02 C**	1,83±0,02 A	1,75±0,01 B	1,60±0,01 C	
	2021	Geleneksel	1,58±0,02	1,95±0,02	1,81±0,03	1,65±0,01	1,75±0,04
		Doğrudan	1,62±0,02	1,99±0,02	1,82±0,02	1,66±0,01	1,77±0,05
		Ortalama	1,60±0,01 D**	1,97±0,02 A	1,81±0,01 B	1,66±0,01 C	
	2020 2021	Geleneksel	1,57±0,01	1,88±0,02	1,77±0,01	1,63±0,01	1,71±0,04 B*
		Doğrudan	1,61±0,02	1,92±0,01	1,79±0,02	1,63±0,01	1,74±0,04 A
		Ortalama	1,59±0,01 D**	1,90±0,01 A	1,78±0,01 B	1,63±0,01 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	1,53±0,01 d*	1,66±0,02 b	1,60±0,01 c	1,37±0,01 e	1,54±0,03 B**
		Doğrudan	1,60±0,01 c	1,75±0,01 a	1,68±0,02 b	1,38±0,02 e	1,60±0,04 A
		Ortalama	1,57±0,02 C**	1,71±0,02 A	1,64±0,02 B	1,38±0,01 D	
	2021	Geleneksel	1,54±0,01	1,70±0,03	1,61±0,01	1,39±0,01	1,56±0,03 B**
		Doğrudan	1,62±0,02	1,79±0,02	1,64±0,03	1,43±0,01	1,62±0,04 A
		Ortalama	1,58±0,02 C**	1,75±0,02 A	1,63±0,01 B	1,41±0,01 D	
	2020 2021	Geleneksel	1,54±0,01	1,68±0,02	1,61±0,01	1,38±0,01	1,55±0,03 B**
		Doğrudan	1,61±0,01	1,77±0,01	1,66±0,01	1,41±0,01	1,61±0,04 A
		Ortalama	1,58±0,02 C**	1,73±0,02 A	1,64±0,01 B	1,40±0,01 D	

** : p<0,01

Tablo 24. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında organik karbon içerikleri (%)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	1,00±0,01	1,13±0,01	1,03±0,01	0,87±0,01	1,00±0,01 B**
		Doğrudan	1,00±0,01	1,17±0,01	1,06±0,01	0,88±0,01	1,03±0,01 A
		Ortalama	1,00±0,01 C**	1,15±0,01 A	1,05±0,01 B	0,88±0,01 D	
	2021	Geleneksel	1,03±0,01	1,23±0,01	1,07±0,01	0,90±0,01	1,06±0,04
		Doğrudan	1,04±0,02	1,24±0,01	1,07±0,01	0,92±0,01	1,07±0,04
		Ortalama	1,04±0,01 C**	1,24±0,01 A	1,07±0,01 B	0,91±0,01 D	
	2020 2021	Geleneksel	1,02±0,01	1,18±0,01	1,05±0,01	0,88±0,01	1,03±0,03 B*
		Doğrudan	1,03±0,01	1,21±0,01	1,06±0,01	0,90±0,01	1,05±0,03 A
		Ortalama	1,03±0,01 C**	1,20±0,01 A	1,06±0,01 B	0,89±0,01 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,90±0,02	1,05±0,01	1,01±0,01	0,93±0,01	0,97±0,02
		Doğrudan	0,92±0,02	1,07±0,01	1,02±0,01	0,92±0,01	0,98±0,02
		Ortalama	0,91±0,01 C**	1,06±0,01 A	1,02±0,01 B	0,93±0,01 C	
	2021	Geleneksel	0,92±0,01	1,13±0,01	1,05±0,02	0,96±0,01	1,01±0,03
		Doğrudan	0,94±0,01	1,16±0,01	1,05±0,01	0,96±0,01	1,03±0,03
		Ortalama	0,93±0,01 D**	1,14±0,01 A	1,05±0,01 B	0,96±0,01 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,91±0,01	1,09±0,01	1,03±0,01	0,95±0,01	1,00±0,02 B*
		Doğrudan	0,93±0,01	1,12±0,01	1,04±0,01	0,94±0,01	1,01±0,02 A
		Ortalama	0,92±0,01 D**	1,11±0,01 A	1,04±0,01 B	0,95±0,01 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	0,89±0,01 d*	0,96±0,01 b	0,93±0,01 c	0,79±0,01 e	0,89±0,02 B**
		Doğrudan	0,93±0,01 c	1,02±0,01 a	0,97±0,01 b	0,80±0,01 e	0,93±0,03 A
		Ortalama	0,91±0,01 C**	0,99±0,01 A	0,95±0,01 B	0,80±0,01 D	
	2021	Geleneksel	0,89±0,01	0,99±0,02	0,94±0,01	0,81±0,01	0,91±0,02 B**
		Doğrudan	0,94±0,01	1,04±0,01	0,95±0,02	0,83±0,01	0,94±0,02 A
		Ortalama	0,92±0,01 C**	1,01±0,01 A	0,94±0,01 B	0,82±0,01 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,89±0,01	0,98±0,01	0,93±0,01	0,80±0,01	0,90±0,02 B**
		Doğrudan	0,93±0,01	1,03±0,01	0,96±0,01	0,81±0,01	0,93±0,02 A
		Ortalama	0,91±0,01 C**	1,01±0,01 A	0,95±0,01 B	0,81±0,01 D	

**: p<0,01 *: p<0,05

Deneme başlangıcındaki toprak içeriğine göre (Tablo 10) kısmen tüm uygulamalarda toplam azot içeriği artmış, bu artış atık suyla tam sulama ve doğrudan ekim koşullarında daha yüksek seviyelerde olmuştur. Temiz suyla tam sulamaya göre atık suyla tam sulamada toprağın farklı tabakalarının toplam azot içeriğinde % 33,7 ile % 43,5 arasında artışlar belirlenmiştir. Ancak kısıntı seviyesinin artmasıyla artış oranı azalış göstermiştir. Sulama uygulamalarının toplam azot içeriğine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi 0-30 cm ve 30-60 cm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 25 ve Ek 18).

Toprak başlangıç içeriklerine göre (Tablo 10) tüm uygulamalarda alınabilir fosfor içeriği artmış, bu artış atık suyla tam sulama koşullarında ve doğrudan ekim uygulamasında daha yüksek seviyelerde gerçekleşmiştir. Atık suyla tam sulamada temiz suyla tam sulamaya göre toprağın 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm tabakalarında alınabilir fosfor içerikleri sırasıyla % 18,2, % 15,7 ve % 12,8 artış göstermiştir. Sulama uygulamalarının alınabilir fosfor içeriğine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi 0-30 cm ve 30-60 cm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde, 60-90 cm toprak tabakasında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 26 ve Ek 19).

Deneme sonrası alınabilir potasyum içerikleri deneme öncesine göre (Tablo 10) atık su ve temiz suyla tam sulama ile atık suyla % 67 seviyesinde sulama konularında artış gösterirken, % 33 sulama seviyesinde alınabilir potasyum içerikleri deneme öncesine yakın olmuştur. Temiz suyla tam sulamaya göre atık suyla tam sulamada toprak tabakalarının alınabilir potasyum içeriklerinde % 5,5 ile 11,0 arasında artış belirlenmiştir. Ayrıca doğrudan ekim uygulamasında toprağın yüzey tabakasında daha yüksek alınabilir potasyum içerikleri belirlenmiştir. Sulama uygulamalarının alınabilir potasyum içeriğine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi 0-30 cm toprak tabakasında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 27 ve Ek 20).

Deneme başlangıcındaki makro besin içerikleri dikkate alındığında (Tablo 9), atık suyla sulanan toprakların toplam azot, alınabilir fosfor ve potasyum içeriklerinin önemli derecede artmasının atık suyun N, P ve K içeriğinden (Tablo 11) kaynaklandığı düşünülmektedir. Birçok çalışmada da atık suyla tam sulama koşullarında toprakta toplam azot, alınabilir fosfor ve potasyum miktarlarının önemli derecede arttığı (Galavi *et al.* 2010; Akın 2015; Tunc and Sahin 2017; Erel *et al.* 2019; Demir Dogan and Sahin 2020; Xi *et al.* 2021) ve atık suyla kısıntılı sulama koşullarında toprakta toplam azot, alınabilir fosfor ve

potasyum birikimlerinin tam sulamaya göre daha düşük seviyede olduğu belirtilmiştir (Tunç 2013; Demir Doğan 2016; akmakcı 2018). Mojiri and Hamidi (2011)'de, atık suyla sulamanın toprağa azot girişinin yanında diğer besin elementlerinin artışında da önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında toprağın 0-30 cm ve 30-60 cm tabakalarında daha yüksek azot içeriğinin toprakta bırakılan bitki kalıntılarıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yoğun toprak işleme, bitki kalıntılarının toprağa karıştırılmasıyla ayrışma ve parçalanma oranını artırarak ve süreci hızlandırarak toprağın azot içeriğinin azalmasına neden olabilmektedir (Malhi *et al.* 2018). Denef *et al.* (2008), Martınez *et al.* (2008), Follet *et al.* (2013) ile Schmer *et al.* (2014)'da doğrudan ekim uygulamasının toprak yüzeyinde azot birikimini artırdığını bildirmişlerdir. Gal *et al.* (2007) ile Dalal *et al.* (2011), minimum toprak işlemede bitki kalıntılarının makro ve ikincil element miktarını artırdığını ifade etmişlerdir. Dolayısıyla doğrudan ekim uygulamasının toprağın tüm tabakalarında daha yüksek alınabilir fosfor ve yüzey tabakada daha yüksek alınabilir potasyum içeriği sağlaması da bitki kalıntı birikiminin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca Malhi *et al.* (2018), doğrudan ekimde yüzey toprağında fosforun tabakalaşabileceğini ve böylece bitkiler tarafından alınabilirliğinin sınırlanabileceğini ifade etmişlerdir.

Tablo 25. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toplam azot (TN) içerikleri (%)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	0,087±0,001 f**	0,120±0,002 b	0,107±0,001 d	0,080±0,001 g	0,099±0,005 B**
		Doğrudan	0,095±0,001 e	0,132±0,001 a	0,115±0,002 c	0,081±0,001 g	0,106±0,006 A
		Ortalama	0,091±0,002 C**	0,126±0,003 A	0,111±0,002 B	0,081±0,001 D	
	2021	Geleneksel	0,090±0,001	0,133±0,003	0,114±0,003	0,084±0,001	0,105±0,006 B**
		Doğrudan	0,096±0,001	0,142±0,006	0,125±0,003	0,092±0,003	0,114±0,006 A
		Ortalama	0,093±0,001 C**	0,138±0,004 A	0,120±0,003 B	0,088±0,002 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,088±0,001	0,127±0,003	0,111±0,001	0,082±0,001	0,102±0,005 B**
		Doğrudan	0,096±0,001	0,137±0,003	0,120±0,001	0,087±0,001	0,110±0,006 A
		Ortalama	0,092±0,002 C**	0,132±0,003 A	0,116±0,002 B	0,085±0,001 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,083±0,001 e**	0,111±0,002 b	0,093±0,001 d	0,066±0,001 f	0,088±0,005 B**
		Doğrudan	0,088±0,001 d	0,121±0,001 a	0,105±0,003 c	0,064±0,001 f	0,095±0,006 A
		Ortalama	0,086±0,001 C**	0,116±0,003 A	0,099±0,003 B	0,065±0,001 D	
	2021	Geleneksel	0,084±0,003	0,116±0,003	0,095±0,002	0,065±0,001	0,090±0,006 B**
		Doğrudan	0,088±0,002	0,126±0,004	0,102±0,004	0,065±0,003	0,095±0,007 A
		Ortalama	0,086±0,002 C**	0,121±0,003 A	0,099±0,003 B	0,065±0,002 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,084±0,001 f**	0,113±0,001 b	0,094±0,001 d	0,066±0,001 g	0,089±0,005 B**
		Doğrudan	0,088±0,001 e	0,124±0,001 a	0,104±0,002 c	0,065±0,002 g	0,095±0,007 A
		Ortalama	0,086±0,001 C**	0,119±0,002 A	0,099±0,002 B	0,066±0,001 D	
60-90 cm	2020	Geleneksel	0,084±0,001	0,111±0,002	0,091±0,002	0,064±0,002	0,088±0,005
		Doğrudan	0,083±0,002	0,108±0,005	0,089±0,003	0,064±0,002	0,086±0,005
		Ortalama	0,084±0,001 C**	0,110±0,002 A	0,090±0,002 B	0,064±0,001 D	
	2021	Geleneksel	0,083±0,004	0,118±0,002	0,093±0,002	0,061±0,001	0,089±0,006
		Doğrudan	0,082±0,004	0,119±0,004	0,092±0,002	0,062±0,004	0,089±0,006
		Ortalama	0,083±0,003 C**	0,119±0,002 A	0,092±0,001 B	0,062±0,002 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,083±0,002	0,115±0,001	0,092±0,002	0,063±0,001	0,088±0,006
		Doğrudan	0,082±0,001	0,114±0,001	0,090±0,002	0,063±0,001	0,087±0,005
		Ortalama	0,083±0,001 C**	0,115±0,001 A	0,091±0,001 B	0,063±0,001 D	

**: p<0,01

Tablo 26. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında alınabilir fosfor (P₂O₅) içerikleri (kg/da)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	10,71±0,19	12,33±0,11	12,18±0,04	12,26±0,06	11,87±0,21 B*
		Doğrudan	11,08±0,06	12,67±0,05	12,31±0,02	12,22±0,15	12,07±0,18 A
		Ortalama	10,90±0,12 C**	12,50±0,09 A	12,25±0,04 B	12,24±0,07 B	
	2021	Geleneksel	11,28±0,18 g*	13,95±0,01 b	12,94±0,06 cd	12,52±0,05 e	12,67±0,29 B**
		Doğrudan	11,87±0,06 f	14,19±0,06 a	13,05±0,04 c	12,77±0,02 d	12,97±0,25 A
		Ortalama	11,58±0,16 D**	14,07±0,06 A	13,00±0,04 B	12,65±0,06 C	
	2020 2021	Geleneksel	11,00±0,17	13,14±0,06	12,56±0,02	12,39±0,04	12,27±0,24 B**
		Doğrudan	11,48±0,05	13,43±0,04	12,68±0,03	12,50±0,08	12,52±0,21 A
		Ortalama	11,24±0,13 D**	13,29±0,07 A	12,62±0,03 B	12,45±0,05 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	9,56±0,05	11,09±0,05	10,73±0,07	8,69±0,02	10,02±0,29 B**
		Doğrudan	9,77±0,05	11,26±0,04	10,85±0,07	8,71±0,06	10,15±0,30 A
		Ortalama	9,67±0,06 C**	11,18±0,05 A	10,79±0,05 B	8,70±0,03 D	
	2021	Geleneksel	9,85±0,04 d**	11,32±0,10 b	10,54±0,05 c	8,68±0,02 e	10,10±0,29 B**
		Doğrudan	10,02±0,06 d	11,71±0,11 a	11,75±0,03 a	8,77±0,08 e	10,56±0,38 A
		Ortalama	9,93±0,05 C**	11,52±0,11 A	11,15±0,27 B	8,73±0,04 D	
	2020 2021	Geleneksel	9,70±0,03 e**	11,20±0,06 b	10,63±0,05 c	8,69±0,01 f	10,06±0,29 B**
		Doğrudan	9,89±0,06 d	11,48±0,07 a	11,30±0,05 b	8,74±0,06 f	10,35±0,34 A
		Ortalama	9,80±0,05 C**	11,34±0,08 A	10,97±0,15 B	8,72±0,03 D	
60-90 cm	2020	Geleneksel	8,52±0,10	9,76±0,09	7,75±0,10	7,47±0,05	8,38±0,27
		Doğrudan	8,78±0,06	9,76±0,07	7,78±0,03	7,50±0,04	8,46±0,27
		Ortalama	8,65±0,08 B**	9,76±0,05 A	7,77±0,05 C	7,49±0,03 D	
	2021	Geleneksel	8,60±0,04	9,83±0,04	7,81±0,09	7,48±0,04	8,43±0,27
		Doğrudan	8,87±0,03	9,86±0,17	7,82±0,04	7,57±0,03	8,53±0,28
		Ortalama	8,74±0,06 B**	9,85±0,08 A	7,82±0,04 C	7,53±0,03 D	
	2020 2021	Geleneksel	8,56±0,06	9,80±0,03	7,78±0,02	7,48±0,02	8,41±0,27 B*
		Doğrudan	8,82±0,04	9,81±0,11	7,80±0,04	7,53±0,03	8,49±0,27 A
		Ortalama	8,69±0,07 B**	9,81±0,05 A	7,79±0,02 C	7,51±0,02 D	

** : p<0,01 * : p<0,05

Tablo 27. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında alınabilir potasyum (K₂O) içerikleri (kg/da)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	90,4±0,5	98,6±1,0	95,8±0,2	87,3±0,7	93,0±1,4
		Doğrudan	91,5±0,6	99,4±0,4	96,3±0,8	86,9±0,9	93,5±1,5
		Ortalama	91,0±0,4 C**	99,0±0,5 A	96,1±0,4 B	87,1±0,5 D	
	2021	Geleneksel	90,7±0,3	102,8±0,6	97,5±0,9	89,4±0,4	95,1±1,6
		Doğrudan	91,9±0,1	103,7±0,8	98,1±0,7	89,4±1,1	95,8±1,7
		Ortalama	91,3±0,3 C**	103,3±0,5 A	97,8±0,5 B	89,4±0,5 D	
	2020 2021	Geleneksel	90,5±0,1	100,7±0,7	96,7±0,3	88,3±0,2	94,1±1,5 B*
		Doğrudan	91,7±0,3	101,5±0,3	97,2±0,1	88,2±0,4	94,7±1,5 A
		Ortalama	91,1±0,3 C**	101,1±0,4 A	97,0±0,2 B	88,3±0,2 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	93,4±0,7	97,4±1,0	90,7±0,8	87,3±0,8	92,2±1,2
		Doğrudan	94,9±0,8	98,4±0,8	91,4±0,6	87,1±1,0	93,0±1,3
		Ortalama	94,2±0,6 B**	97,9±0,6 A	91,1±0,5 C	87,2±0,6 D	
	2021	Geleneksel	93,5±0,4	101,7±0,5	92,2±0,1	88,7±0,2	94,0±1,4
		Doğrudan	94,4±0,4	102,1±0,3	92,6±0,6	88,3±0,4	94,3±1,5
		Ortalama	94,0±0,3 B**	101,9±0,3 A	92,4±0,3 C	88,5±0,2 D	
	2020 2021	Geleneksel	93,4±0,5	99,6±0,3	91,4±0,3	88,0±0,3	93,1±1,3
		Doğrudan	94,7±0,4	100,3±0,4	92,0±0,2	87,7±0,3	93,7±1,4
		Ortalama	94,7±0,4 B**	100,0±0,3 A	91,7±0,2 C	87,9±0,2 D	
60-90 cm	2020	Geleneksel	91,7±0,5	96,3±0,4	90,7±0,6	87,2±0,9	91,5±1,0
		Doğrudan	91,6±0,5	97,4±0,4	90,2±1,1	87,6±0,6	91,7±1,1
		Ortalama	91,7±0,3 B**	96,9±0,3 A	90,5±0,6 B	87,4±0,5 C	
	2021	Geleneksel	92,1±0,6	97,5±0,7	91,2±0,2	87,9±1,2	92,2±1,1
		Doğrudan	92,2±0,1	96,7±1,0	89,8±0,4	88,2±0,4	91,7±1,0
		Ortalama	92,2±0,3 B**	97,1±0,6 A	90,5±0,4 C	88,1±0,6 D	
	2020 2021	Geleneksel	91,9±0,6	96,9±0,2	91,0±0,4	87,6±1,0	91,9±1,0
		Doğrudan	91,9±0,2	97,1±0,3	90,0±0,7	87,9±0,2	91,7±1,0
		Ortalama	91,9±0,3 B**	97,0±0,2 A	90,5±0,4 C	87,8±0,5 D	

** : p<0,01 * : p<0,05

Değişebilir Ca içerikleri deneme öncesi başlangıç içeriklerine göre (Tablo 9) özellikle toprağın 0-30 cm tabakasında temiz su ve atık suyla tam sulama konularında artış gösterirken, % 33 sulama seviyesinde azalış göstermiştir. Diğer toprak tabakalarındaki değişebilir Ca içerikleri ise toprak başlangıç içeriğine kısmen yakın bulunmuştur. Sulama uygulamalarının değişebilir Ca içeriğine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme- ekim uygulamalarının etkisi 0-30 cm toprak tabakasında $p<0,01$ seviyesinde, 30-60 cm toprak tabakasında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 28 ve Ek 21).

Değişebilir Mg içerikleri toprak başlangıç değerlerine göre (Tablo 9) tüm sulama uygulamalarında azalmış, bu azalış atık suyla tam sulamada daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Sulama uygulamalarının değişebilir Mg içeriğine tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi 30-60 cm toprak tabakasında $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 29 ve Ek 22).

Toprak başlangıç içeriğine göre değişebilir Na içerikleri (Tablo 9) tam sulama konularında artış gösterirken, bu artış atık suyla tam sulamada daha belirgin olmuş ancak atık suyla % 33 seviyesinde sulama konusunda toprak başlangıç içeriğine yakın Na içerikleri elde edilmiştir. Genel olarak tüm sulama uygulamalarında toprak yüzeyine doğru daha yüksek miktarlarda değişebilir Na birikimi gözlemlenmiştir. Sulama uygulamalarının değişebilir Na içeriğine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi 0-30 cm toprak tabakasında $p<0,01$ seviyesinde, 60-90 cm toprak tabakasında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 30 ve Ek 23).

Deneme sonrası değişebilir K içerikleri deneme öncesi başlangıç içeriklerine göre (Tablo 9) 0-30 cm toprak tabakasında temiz su ve atık suyla tam sulama ile % 67 sulama suyu seviyesinde artmıştır. 30-60 cm toprak tabakasında atık suyla tam sulama ve % 67 sulama suyu seviyesinde, 60-90 cm toprak tabakasında ise sadece atık suyla tam sulamada önemli bir artış görülmüştür. Ayrıca yüksek kısıntı seviyesinde değişebilir K içerikleri toprak başlangıç içeriğine yakın bulunmuştur. Toprak işleme-ekim uygulamalarının değişebilir K içeriğine etkisi önemsiz olurken, sulama uygulamalarının etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 31 ve Ek 24).

Toprak başlangıç içeriğine (Tablo 9) ve temiz suyla sulamaya göre atık suyla sulanan toprakların değişebilir katyon içeriklerinin artması atık suyun temiz suya göre daha yüksek katyon (Ca, Mg, Na, K) içeriğine sahip olmasıyla (Tablo 11) açıklanabilir. Sulama suyu

seviyesindeki azalma ile toprakların katyon içeriklerinin azalması toprağa daha az su girişine bağlı olarak Ca, Mg, Na ve K girişinin sınırlanmasıyla ilgili olarak değerlendirilebilir. Atık suyun sulamada kullanıldığı birçok çalışmada toprakların değişebilir katyon içeriklerinin arttığı (Singh *et al.* 2009; Singh *et al.* 2012; Silva *et al.* 2016; Urbano *et al.* 2017; Feder 2021) ve artan sulama suyu kısıntısıyla da değişebilir katyonların azaldığı bildirilmiştir (Cicek *et al.* 2013; Tunç 2013; Demir Doğan 2016; Çakmakçı 2018; Demir Doğan and Sahin 2020).

Değişebilir Mg içeriklerinin toprak başlangıç içeriklerinin altında olması Mg'un bitki beslenmesinde etkin bir rol aldığı veya tam tersi olarak yarayışsız bir forma dönüştüğünün göstergesi olarak düşünülmektedir. Rehm *et al.* (2002), Mg'un silajlık mısır için mutlak gerekli bir besin elementi olduğunu ve bitki metabolizmasında etkin rolü olduğunu bildirmişlerdir Mikkelsen (2010) ise Mg'un özellikle asit karakterli topraklarda kolaylıkla bitkiye elverişsiz formlara dönüşebileceğini belirtmiştir. Atık suyla sulama koşullarında toprak yüzey tabakasında Ca içeriğindeki yüksek artışın pH azalmasına bağlı olarak (Tablo 20) CaCO_3 'ün çözünürlüğünün artmasından kaynaklandığı ve ayrıca atık suyla sulamada toprakta artan tuzluluğun (Tablo 21) değişebilir Ca birikimini tetiklemesiyle de ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ünlükara vd (2008)'de tuz içeriği yüksek suların sulamada kullanılmasıyla toprakta değişebilir Ca miktarının artabileceğini ifade etmişlerdir.

Değişebilir Ca, Na ve K'nın toprak yüzeyinde daha yoğun birikmesi vejetasyon periyodunda düşük yağış miktarlarından dolayı (Tablo 7 ve Şekil 10) yıkanma oranının minimum seviyelerde olmasıyla ilişkili olabilir. Demir Doğan (2016), vejetasyon periyodu kurak geçen bir bölgede atık suyla sulamanın toprak özellikleri üzerine etkilerini araştırdığı çalışmada, yüzey toprak tabakasında katyon birikiminin diğer tabakalara göre daha fazla olduğunu belirtmiştir. Roy and Gupta (2016), yüzeyde katyon birikim olayını, organik madde birikiminin daha yoğun olduğu toprak yüzeyinde organik maddenin katyonlarla olan yüksek ilişkisiyle açıklamışlardır.

Doğrudan ekim uygulamasında değişebilir Ca, Mg ve Na içeriklerinin geleneksel toprak işlemeye göre daha düşük seviyelerde olmasının, doğrudan ekimde sulama suyu miktarının azalmasına bağlı olarak (Tablo 12 ve 13) toprağa Ca, Mg ve Na girişinin de azalmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 28. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir Ca içerikleri (cmol/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	16,13±0,09	17,12±0,08	15,06±0,06	14,83±0,04	15,79±0,28
		Doğrudan	16,01±0,12	17,03±0,10	14,96±0,08	14,77±0,05	15,69±0,28
		Ortalama	16,07±0,07 B**	17,08±0,06 A	15,01±0,05 C	14,80±0,03 D	
	2021	Geleneksel	16,14±0,05	17,35±0,06	15,39±0,19	14,84±0,05	15,93±0,29 A**
		Doğrudan	16,03±0,05	17,03±0,04	15,12±0,06	14,71±0,04	15,72±0,27 B
		Ortalama	16,09±0,04 B**	17,19±0,08 A	15,26±0,11 C	14,78±0,04 D	
	2020 2021	Geleneksel	16,13±0,03	17,24±0,01	15,23±0,12	14,83±0,04	15,86±0,28 A**
		Doğrudan	16,02±0,07	17,03±0,06	15,04±0,05	14,74±0,05	15,71±0,27 B
		Ortalama	16,08±0,04 B**	17,14±0,05 A	15,14±0,07 C	14,79±0,03 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	15,18±0,05	15,53±0,08	15,36±0,16	14,88±0,07	15,24±0,08
		Doğrudan	15,08±0,05	15,47±0,07	15,17±0,14	14,77±0,10	15,12±0,09
		Ortalama	15,13±0,04 B**	15,50±0,05 A	15,27±0,10 B	14,83±0,06 C	
	2021	Geleneksel	15,18±0,02	15,52±0,12	15,07±0,04	14,80±0,03	15,14±0,08 A*
		Doğrudan	15,07±0,08	15,38±0,02	15,07±0,02	14,68±0,04	15,05±0,08 B
		Ortalama	15,13±0,04 B**	15,45±0,06 A	15,07±0,02 B	14,74±0,03 C	
	2020 2021	Geleneksel	15,18±0,03	15,53±0,10	15,22±0,10	14,84±0,05	15,19±0,08 A*
		Doğrudan	15,08±0,06	15,43±0,03	15,12±0,07	14,73±0,06	15,09±0,08 B
		Ortalama	15,13±0,04 B**	15,48±0,05 A	15,17±0,06 B	14,79±0,04 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	14,34±0,11	14,69±0,07	14,35±0,10	14,22±0,04	14,40±0,06
		Doğrudan	14,20±0,18	14,68±0,11	14,19±0,19	14,23±0,16	14,33±0,09
		Ortalama	14,27±0,10 B*	14,69±0,06 A	14,27±0,10 B	14,23±0,08 B	
	2021	Geleneksel	14,29±0,04	14,77±0,01	14,40±0,05	13,99±0,07	14,36±0,09 A**
		Doğrudan	14,04±0,05	14,66±0,10	14,41±0,08	13,83±0,04	14,23±0,10 B
		Ortalama	14,17±0,06 C**	14,72±0,05 A	14,40±0,04 B	13,91±0,05 D	
	2020 2021	Geleneksel	14,32±0,05	14,73±0,03	14,38±0,06	14,10±0,05	14,38±0,07
		Doğrudan	14,12±0,11	14,67±0,03	14,30±0,11	14,03±0,07	14,28±0,08
		Ortalama	14,22±0,07 B**	14,70±0,02 A	14,34±0,06 B	14,07±0,04 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 29. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir Mg içerikleri (cmol/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	4,09±0,02	4,18±0,02	4,04±0,03	3,97±0,01	4,07±0,02
		Doğrudan	4,06±0,03	4,18±0,04	4,06±0,03	4,00±0,03	4,08±0,02
		Ortalama	4,08±0,02 B**	4,18±0,02 A	4,05±0,02 B	3,99±0,02 C	
	2021	Geleneksel	4,21±0,03	4,56±0,04	4,11±0,03	3,75±0,09	4,16±0,09
		Doğrudan	4,18±0,10	4,50±0,04	4,06±0,03	3,87±0,06	4,15±0,07
		Ortalama	4,20±0,05 B**	4,53±0,03 A	4,09±0,02 B	3,81±0,06 C	
	2020 2021	Geleneksel	4,15±0,02	4,37±0,02	4,08±0,03	3,86±0,05	4,12±0,06
		Doğrudan	4,12±0,06	4,34±0,01	4,06±0,01	3,93±0,02	4,11±0,05
		Ortalama	4,14±0,03 B**	4,36±0,01 A	4,07±0,01 B	3,90±0,03 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	4,11±0,01	4,18±0,03	4,05±0,03	4,02±0,02	4,09±0,02
		Doğrudan	4,10±0,03	4,18±0,02	4,07±0,03	3,98±0,04	4,08±0,03
		Ortalama	4,11±0,01 B**	4,18±0,02 A	4,06±0,02 B	4,00±0,02 C	
	2021	Geleneksel	4,01±0,03	4,20±0,02	3,90±0,03	3,79±0,08	3,98±0,05 A**
		Doğrudan	3,87±0,05	4,10±0,03	3,84±0,05	3,67±0,04	3,87±0,05 B
		Ortalama	3,94±0,04 B**	4,15±0,03 A	3,87±0,03 B	3,73±0,05 C	
	2020 2021	Geleneksel	4,06±0,01	4,19±0,02	3,98±0,01	3,91±0,04	4,04±0,03 A**
		Doğrudan	3,98±0,02	4,14±0,01	3,96±0,04	3,83±0,04	3,98±0,04 B
		Ortalama	4,02±0,02 B**	4,17±0,02 A	3,97±0,02 B	3,87±0,03 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	4,95±0,02	5,05±0,03	5,12±0,02	5,21±0,02	5,08±0,03
		Doğrudan	4,92±0,02	5,07±0,03	5,10±0,02	5,25±0,03	5,09±0,04
		Ortalama	4,94±0,01 C**	5,06±0,02 B	5,11±0,01 B	5,23±0,02 A	
	2021	Geleneksel	4,88±0,06 ab*	5,00±0,06 a	4,87±0,06 ab	4,64±0,06 c	4,85±0,05
		Doğrudan	4,81±0,03 bc	4,83±0,04 ab	4,87±0,06 ab	4,85±0,06 ab	4,84±0,02
		Ortalama	4,85±0,03 AB*	4,92±0,05 A	4,87±0,04 AB	4,75±0,06 B	
	2020 2021	Geleneksel	4,91±0,03 cd**	5,03±0,04 ab	5,00±0,03 abc	4,93±0,02 cd	4,97±0,02
		Doğrudan	4,86±0,01 d	4,95±0,03 bcd	4,98±0,03 abc	5,05±0,02 a	4,96±0,02
		Ortalama	4,89±0,02 B**	4,99±0,03 A	4,99±0,02 A	4,99±0,03 A	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 30. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir Na içerikleri (cmol/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	0,46±0,004	0,49±0,005	0,46±0,003	0,34±0,003	0,44±0,018 A**
		Doğrudan	0,45±0,004	0,48±0,003	0,44±0,006	0,33±0,005	0,43±0,018 B
		Ortalama	0,46±0,003 B**	0,49±0,003 A	0,45±0,004 C	0,34±0,004 D	
	2021	Geleneksel	0,58±0,005	0,68±0,002	0,51±0,009	0,34±0,020	0,53±0,038
		Doğrudan	0,56±0,008	0,67±0,009	0,50±0,005	0,35±0,005	0,52±0,035
		Ortalama	0,57±0,006 B**	0,68±0,005 A	0,51±0,006 C	0,35±0,009 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,52±0,004	0,59±0,003	0,48±0,005	0,34±0,010	0,48±0,027 A**
		Doğrudan	0,51±0,003	0,58±0,004	0,47±0,004	0,34±0,003	0,47±0,026 B
		Ortalama	0,52±0,004 B**	0,59±0,003 A	0,48±0,005 C	0,34±0,005 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,44±0,005	0,47±0,002	0,42±0,007	0,34±0,005	0,42±0,015
		Doğrudan	0,43±0,005	0,46±0,003	0,42±0,007	0,35±0,010	0,42±0,013
		Ortalama	0,44±0,003 B**	0,47±0,002 A	0,42±0,004 B	0,34±0,006 C	
	2021	Geleneksel	0,52±0,003	0,60±0,008	0,44±0,008	0,33±0,014	0,47±0,030
		Doğrudan	0,50±0,002	0,59±0,007	0,44±0,010	0,33±0,020	0,46±0,029
		Ortalama	0,51±0,004 B**	0,60±0,005 A	0,44±0,006 C	0,33±0,011 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,48±0,004	0,53±0,003	0,43±0,007	0,33±0,007	0,44±0,022
		Doğrudan	0,47±0,002	0,52±0,003	0,43±0,005	0,34±0,014	0,44±0,021
		Ortalama	0,47±0,003 B**	0,53±0,003 A	0,43±0,004 C	0,34±0,007 D	
60-90 cm	2020	Geleneksel	0,35±0,006	0,37±0,003	0,32±0,003	0,32±0,005	0,34±0,007
		Doğrudan	0,34±0,004	0,38±0,002	0,33±0,006	0,31±0,003	0,34±0,008
		Ortalama	0,35±0,004 B**	0,38±0,002 A	0,33±0,003 C	0,32±0,003 D	
	2021	Geleneksel	0,36±0,003 c*	0,45±0,022 a	0,32±0,002 d	0,27±0,009 e	0,35±0,020 A*
		Doğrudan	0,35±0,007 c	0,40±0,010 b	0,32±0,003 d	0,27±0,003 e	0,33±0,014 B
		Ortalama	0,36±0,004 B**	0,43±0,017 A	0,32±0,002 C	0,27±0,004 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,35±0,003	0,41±0,010	0,32±0,002	0,30±0,003	0,35±0,013 A*
		Doğrudan	0,35±0,005	0,39±0,004	0,32±0,004	0,29±0,003	0,34±0,011 B
		Ortalama	0,35±0,003 B**	0,40±0,007 A	0,32±0,002 C	0,30±0,002 D	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 31. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir K içerikleri (cmol/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	1,19±0,02	1,25±0,03	1,14±0,03	1,13±0,03	1,18±0,02
		Doğrudan	1,17±0,03	1,23±0,02	1,17±0,04	1,14±0,03	1,18±0,02
		Ortalama	1,18±0,02 AB*	1,24±0,02 A	1,16±0,02 B	1,14±0,02 B	
	2021	Geleneksel	1,23±0,01	1,54±0,06	1,31±0,01	1,11±0,01	1,30±0,05
		Doğrudan	1,22±0,02	1,52±0,04	1,29±0,02	1,06±0,03	1,27±0,05
		Ortalama	1,23±0,01 C**	1,53±0,03 A	1,30±0,01 B	1,09±0,02 D	
	2020 2021	Geleneksel	1,21±0,01	1,40±0,04	1,23±0,02	1,12±0,02	1,24±0,03
		Doğrudan	1,20±0,02	1,38±0,03	1,23±0,01	1,10±0,02	1,23±0,03
		Ortalama	1,21±0,01 B**	1,39±0,02 A	1,23±0,01 B	1,11±0,01 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,96±0,06	1,04±0,05	1,03±0,06	0,92±0,04	0,99±0,03
		Doğrudan	1,00±0,08	1,00±0,07	1,02±0,04	0,94±0,03	0,99±0,03
		Ortalama	0,98±0,05	1,02±0,04	1,03±0,03	0,93±0,02	
	2021	Geleneksel	0,95±0,02	1,32±0,02	1,20±0,03	0,94±0,03	1,10±0,05
		Doğrudan	0,95±0,02	1,28±0,01	1,19±0,01	0,95±0,01	1,09±0,04
		Ortalama	0,95±0,01 C**	1,30±0,01 A	1,20±0,01 B	0,95±0,01 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,96±0,04	1,18±0,02	1,11±0,02	0,93±0,02	1,05±0,03
		Doğrudan	0,98±0,03	1,14±0,04	1,11±0,02	0,95±0,02	1,05±0,03
		Ortalama	0,97±0,02 B**	1,16±0,02 A	1,11±0,01 A	0,94±0,01 B	
60-90 cm	2020	Geleneksel	1,10±0,05	1,11±0,03	1,06±0,04	1,06±0,06	1,08±0,02
		Doğrudan	1,09±0,03	1,12±0,05	1,09±0,04	1,09±0,05	1,10±0,02
		Ortalama	1,10±0,03	1,12±0,03	1,08±0,03	1,08±0,04	
	2021	Geleneksel	1,06±0,02	1,18±0,02	1,08±0,01	1,03±0,03	1,09±0,02
		Doğrudan	1,06±0,03	1,18±0,01	1,06±0,01	0,95±0,02	1,06±0,03
		Ortalama	1,06±0,02 B**	1,18±0,01 A	1,07±0,01 B	0,99±0,02 C	
	2020 2021	Geleneksel	1,08±0,03	1,15±0,01	1,07±0,02	1,04±0,01	1,09±0,01
		Doğrudan	1,08±0,03	1,15±0,03	1,08±0,02	1,02±0,02	1,08±0,02
		Ortalama	1,08±0,02 B**	1,15±0,01 A	1,08±0,01 B	1,03±0,01 B	

**: p<0,01 *: p<0,05

Deneme sonrası katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri deneme öncesine göre (Tablo 9) 0-30 cm toprak tabakasında tam sulama konularında artarken, bu artış atık suyla tam sulamada daha yüksek miktarlarda olmuş, atık suyla sulamada artan kısıntıyla da azalışlar görülmüştür. Diğer toprak tabakalarında ise tüm konularda başlangıç değerlerine yakın ancak daha düşük değerler belirlenmiştir. Sulama uygulamalarının KDK değerlerine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 32 ve Ek 25).

Atık suyla sulamada KDK'nin artmasının atık suyun katyon içeriğinden (Tablo 11) ve ayrıca topraklara sağlamış olduğu yüksek organik madde katkısından (Tablo 23) kaynakladığı düşünülmektedir. Roy and Gupta (2016) ile akmacı (2018), atık suyla sulamanın toprak organik madde içeriğini artırmasıyla KDK'nin da artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca ilgili birçok çalışmada da atık suyla sulamada özellikle yüzey toprağında yoğun olmak üzere KDK değerinin arttığından bahsedilmiştir (Austin 2006; Khurana and Singh 2012; Cicek *et al.* 2013; Silva *et al.* 2016; Demir Doğan and Sahin 2020). Sulama suyu kısıntısıyla KDK'nin azalmasının toprağa su girişinin azalmasına bağlı olarak organik madde katkısının (Tablo 25) ve katyon girişinin azalmasıyla (Tablo 30-33) ilişkili olduğu düşünülmektedir. Demir Doğan (2016)'da atık suyla sulamada artan sulama suyu kısıntısına bağlı olarak KDK'nin azaldığını bildirmiştir. Benzer şekilde doğrudan ekim uygulamasında da daha az sulama suyu uygulanmasına (Tablo 12 ve 13) bağlı olarak toprağa daha az Ca, Mg, Na ve K girişiyle (Tablo 28-31) daha düşük KDK değerleri belirlenmiştir.

Toprak başlangıç içeriğine göre değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerlerinde (Tablo 9) tüm sulama uygulamalarında artış görülmüş, bu artış atık suyla tam sulamada ve 0-30 cm ile 30-60 cm toprak tabakalarında daha fazla olmuştur. Sulama uygulamalarının ESP değerine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi önemsiz bulunmuştur (Tablo 33 ve Ek 26).

ESP'nin değişimi, ESP'nin formüsel hesaplama bileşeni olan değişebilir Na ve KDK'nin değişim trendleri ile (eşitlik 11) doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla atık suyla tam sulama koşullarında ESP değerlerinin yüksek olması daha yüksek değişebilir Na içeriğiyle (Tablo 30) açıklanabilir. Jalali *et al.* (2008), Sou *et al.* (2013) ile akmacı (2018), atık suyla sulama koşullarında artan ESP değerlerinin Na içeriğinin artmasına bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde sulama seviyesindeki azalamaya bağlı olarak azalan ESP değerleri, toprağa su girişinin azalması dolayısıyla da değişebilir Na içeriğinin azalmasıyla

(Tablo 30) ilişkilidir. Sonuçta, tüm uygulamalarda deneme sonrası ESP değerlerinin sodyumluluk limit değerlerinin (<15) oldukça aşağısında kalması da önemli bulunmuştur (Kanber ve Ünlü 2010).

Tablo 32. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında katyon değişim kapasitesi (KDK) değerleri (cmol/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	21,87±0,12	23,04±0,08	20,70±0,10	20,27±0,02	21,47±0,33
		Doğrudan	21,70±0,08	22,93±0,09	20,63±0,15	20,24±0,05	21,37±0,32
		Ortalama	21,78±0,07 B**	22,99±0,06 A	20,66±0,08 C	20,26±0,02 D	
	2021	Geleneksel	22,15±0,04	24,13±0,05	21,33±0,21	20,04±0,08	21,91±0,45 A**
		Doğrudan	21,99±0,15	23,71±0,06	20,97±0,09	19,99±0,12	21,67±0,42 B
		Ortalama	22,07±0,08 B**	23,92±0,10 A	21,15±0,13 C	20,02±0,06 D	
	2020 2021	Geleneksel	22,02±0,04	23,59±0,06	21,01±0,15	20,16±0,03	21,70±0,39 A*
		Doğrudan	21,84±0,10	23,32±0,07	20,80±0,06	20,12±0,08	21,52±0,37 B
		Ortalama	21,93±0,06 B**	23,46±0,07 A	20,91±0,09 C	20,14±0,04 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	20,68±0,09	21,21±0,14	20,86±0,11	20,16±0,13	20,73±0,12
		Doğrudan	20,61±0,10	21,11±0,14	20,69±0,12	20,04±0,17	20,61±0,13
		Ortalama	20,65±0,06 B**	21,16±0,09 A	20,78±0,08 B	20,10±0,10 C	
	2021	Geleneksel	20,66±0,06	21,63±0,08	20,62±0,03	19,87±0,09	20,69±0,19 A**
		Doğrudan	20,39±0,12	21,34±0,03	20,54±0,07	19,63±0,08	20,48±0,19 B
		Ortalama	20,52±0,08 B**	21,48±0,07 A	20,58±0,04 B	19,75±0,07 C	
	2020 2021	Geleneksel	20,67±0,07	21,42±0,10	20,74±0,07	20,02±0,06	20,71±0,15 A*
		Doğrudan	20,50±0,09	21,23±0,08	20,62±0,08	19,84±0,12	20,55±0,15 B
		Ortalama	20,59±0,06 B**	21,33±0,07 A	20,68±0,05 B	19,93±0,07 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	20,74±0,05	21,23±0,06	20,86±0,10	20,80±0,03	20,91±0,06
		Doğrudan	20,55±0,14	21,24±0,19	20,71±0,20	20,88±0,09	20,85±0,10
		Ortalama	20,65±0,08 B**	21,24±0,09 A	20,79±0,10 B	20,84±0,05 B	
	2021	Geleneksel	20,59±0,05	21,41±0,03	20,66±0,12	19,93±0,09	20,65±0,16 A**
		Doğrudan	20,26±0,05	21,06±0,07	20,65±0,12	19,89±0,04	20,47±0,14 B
		Ortalama	20,42±0,08 C**	21,23±0,08 A	20,66±0,08 B	19,91±0,04 D	
	2020 2021	Geleneksel	20,67±0,04	21,32±0,04	20,76±0,10	20,37±0,03	20,78±0,11 A*
		Doğrudan	20,40±0,09	21,15±0,07	20,68±0,12	20,38±0,06	20,65±0,10 B
		Ortalama	20,54±0,07 C**	21,24±0,05 A	20,72±0,07 B	20,38±0,03 C	

** : p<0,01 * : p<0,05

Tablo 33. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri (%)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	2,11±0,02	2,14±0,02	2,20±0,02	1,68±0,02	2,03±0,06 A**
		Doğrudan	2,09±0,02	2,11±0,01	2,13±0,01	1,61±0,03	1,99±0,07 B
		Ortalama	2,10±0,01 B**	2,13±0,01 AB	2,17±0,02 A	1,65±0,02 C	
	2021	Geleneksel	2,64±0,02	2,81±0,01	2,41±0,03	1,70±0,10	2,39±0,13
		Doğrudan	2,56±0,04	2,81±0,03	2,36±0,02	1,74±0,02	2,37±0,12
		Ortalama	2,60±0,03 B**	2,81±0,02 A	2,39±0,02 C	1,72±0,05 D	
	2020 2021	Geleneksel	2,38±0,02	2,48±0,02	2,30±0,02	1,69±0,05	2,21±0,09
		Doğrudan	2,33±0,02	2,46±0,01	2,25±0,01	1,67±0,02	2,18±0,09
		Ortalama	2,36±0,02 B**	2,47±0,01 A	2,28±0,02 C	1,68±0,03 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	2,11±0,02	2,19±0,01	2,03±0,04	1,66±0,04	2,00±0,06
		Doğrudan	2,10±0,01	2,18±0,02	2,04±0,04	1,74±0,04	2,02±0,05
		Ortalama	2,11±0,01 B**	2,19±0,01 A	2,04±0,03 C	1,70±0,03 D	
	2021	Geleneksel	2,49±0,01	2,77±0,04	2,16±0,04	1,67±0,06	2,27±0,12
		Doğrudan	2,46±0,02	2,75±0,03	2,13±0,05	1,67±0,10	2,25±0,12
		Ortalama	2,48±0,01 B**	2,76±0,02 A	2,14±0,03 C	1,67 D	
	2020 2021	Geleneksel	2,30±0,01	2,48±0,02	2,09±0,04	1,67±0,03	2,14±0,09
		Doğrudan	2,28±0,01	2,47±0,01	2,09±0,03	1,70±0,07	2,14±0,09
		Ortalama	2,29±0,01 B**	2,48±0,01 A	2,09±0,02 C	1,69±0,03 D	
60-90 cm	2020	Geleneksel	1,68±0,03	1,75±0,01	1,55±0,02	1,52±0,02	1,63±0,03
		Doğrudan	1,68±0,02	1,79±0,03	1,59±0,04	1,50±0,01	1,64±0,03
		Ortalama	1,68±0,02 B**	1,77±0,01 A	1,57±0,02 C	1,51±0,01 D	
	2021	Geleneksel	1,73±0,02	2,12±0,10	1,54±0,02	1,38±0,04	1,69±0,09 A*
		Doğrudan	1,71±0,04	1,88±0,05	1,53±0,02	1,34±0,01	1,62±0,06 B
		Ortalama	1,72±0,02 B**	2,00±0,07 A	1,54±0,01 C	1,36±0,02 D	
	2020 2021	Geleneksel	1,71±0,02	1,93±0,05	1,54±0,02	1,45±0,01	1,66±0,06
		Doğrudan	1,70±0,03	1,83±0,02	1,56±0,03	1,42±0,01	1,63±0,05
		Ortalama	1,71±0,02 B**	1,88±0,03 A	1,55±0,01 C	1,44±0,01 D	

** : p<0,01 * : p<0,05

Toprak başlangıç değerlerine göre mikro element ve ağır metal içerikleri (Tablo 10) tüm atık suyla sulama uygulamalarında artış göstermiş, temiz suyla tam sulama uygulamasında artışlar sınırlı kalmış, değerler başlangıç içeriklerine yakın bulunmuştur. Sulama uygulamalarının toprak mikro element ve ağır metal içeriklerine etkisi tüm toprak tabakalarında $p < 0,01$ seviyesinde önemli olurken, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi toprak tabakalarında değişiklik göstermekle beraber, genel olarak geleneksel toprak işleme uygulamasında daha yüksek bulunmuştur (Tablo 34-42 ve Ek 27-35).

Atık suyla sulama toprakta ağır metal birikimine sebep olmaktadır (Singh *et al.* 2004; Mapanda *et al.* 2005; Sharma *et al.* 2007). Atık suyla sulama koşullarında mikro element ve ağır metal içeriklerinin temiz suyla sulamaya göre daha yüksek olması atık suyun mikro element ve metal içeriğinden (Tablo 11) kaynaklanmaktadır. Ancak atık suyla sulama seviyesindeki azalmaya bağlı olarak toprağa su girişinin azalmasıyla mikro element ve ağır metal girişi de azalmaktadır. Atık suyla sulama koşullarında toprak pH'sındaki azalışların (Tablo 20), elektriksel iletkenlik (Tablo 21) ve organik maddedeki (Tablo 23) artışların ağır metallerin artışında önemli rol oynadığı ifade edilebilir. Singh *et al.* (2009), toprak ağır metal içeriklerinin pH ile negatif, organik madde ve elektriksel iletkenlikle pozitif korelasyon ilişkileri gösterdiğini belirtmişlerdir. Atık suyla sulanan topraklarda pH azalmasına bağlı olarak ortaya çıkan hidrojen iyonlarının metal iyonlarına göre daha yüksek çekim gücü oluşturmasıyla ağır metal içeriklerinde artışlar görülebilmektedir (Singh *et al.* 2009). Yapılan birçok çalışmada atık suyla sulamada toprakta ağır metal birikiminin arttığı belirtilmiştir (Manas *et al.* 2009; Galavi *et al.* 2010; Morugan-Coronado *et al.* 2011; Avcı and Deveci 2013; Akın 2015; Tunc and Sahin 2017; Abd-Elwahed 2019; Nawaz *et al.* 2021).

Geleneksel toprak işlemede doğrudan ekim uygulamasına göre daha yüksek miktarda mikro element ve ağır metal birikimi geleneksel toprak işleme uygulamasının daha fazla sulama suyu miktarıyla (Tablo 12 ve 13) ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca Montiel-Rozas *et al.* (2016), organik madde, kil, demir ve alüminyum oksitler sayesinde toprakta bazı ağır metallerin birikiminin indirgenebileceğini bildirmişlerdir. Fe, diğer mikro element ve ağır metallerin aksine doğrudan ekim uygulamasında daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun Gezgin ve Hamurcu (2006) ile Sönmez *et al.* (2006)'nın ifade ettikleri gibi Fe'nin B, Mg, Ca, P ve N gibi elementlerle antagonistik veya sinerjistik etkilerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Genel olarak yapılan birçok çalışmada da doğrudan ekim veya azaltılmış toprak işleme uygulamalarında daha düşük miktarlarda mikro element ve ağır metal içeriklerinin elde edildiği bildirilmiştir (Isildar *et al.* 2004; Jaja *et al.* 2013; Lucas *et al.* 2013;

García-Marco *et al.* 2014; Gómez-Rey *et al.* 2014; Chaieb *et al.* 2011; Kumar and Kumari 2020).

Deneme sonrasında atık suyla sulama uygulamalarında ağır metaller artış gösterse de Zn, Cu, Cd, Ni ve Pb içerikleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın belirttiği sınır değerlerin (Zn: 300 mg/kg, Cu: 140 mg/kg, Cd: 3 mg/kg, Ni: 75 mg/kg ve Pb: 300 mg/kg) altında yer almıştır (Khan *et al.* 2013). Yine Zn, Cu, Cd, Ni, Pb ve Cr içerikleri Tablo 3'de belirtilen Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Ulusal Yönetmelik (Anonim 2010b) sınır değerlerinin de ($\text{pH} \geq 7$ için; Zn: 200 mg/kg, Cu: 100 mg/kg, Cd: 1,5 mg/kg, Ni: 70 mg/kg, Pb: 100 mg/kg ve Cr: 100 mg/kg) altında belirlenmiştir.

Toprak pH'sı ağır metallerin hareketliliğinde ve bitkiler için biyo elverişlilikte önemli bir role sahiptir. Genel olarak 6,5-7,0'den daha düşük pH, ağır metallerin kullanılabilirliğini ve hareketliliğini desteklemektedir (Khaskhoussy *et al.* 2015). Bu durumda, tüm uygulamalarda belirlenen 8 civarındaki pH değerlerinin (Tablo 20), ağır metallerin kullanılabilirliğini azalttığı ifade edilebilir. Dolayısıyla, bu sonuçlar bölgedeki mevcut atık suyun sulamada kullanımının ağır metal içeriği açısından toprakta sınırlandırıcı bir etki oluşturmadığını göstermiş ve aynı zamanda mikro ve minör element katkısıyla silajlık mısırdaki verim artışını da (Tablo 48) desteklenmiştir. Benzer şekilde, Selim (2008), Cicek *et al.* (2013) ile Biswas and Mojid (2018), atık sularla sulamada ağır metal içeriklerinin eşik değerleri aşmadığı sürece bitkisel üretimde besleyici etkisi ile gübre takviyesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ancak bazı araştırmalarda uzun süreli atık su kullanımında ağır metal içeriklerinin risk teşkil edebilecek seviyelere ulaştığına da özellikle dikkat çekilmiştir (Fredj *et al.* 2014; Wang *et al.* 2015; Chaoua *et al.* 2019).

Tablo 34. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta B içerikleri (mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	0,194±0,001	0,455±0,007	0,367±0,007	0,309±0,003	0,331±0,029
		Doğrudan	0,194±0,002	0,454±0,006	0,370±0,004	0,311±0,003	0,332±0,029
		Ortalama	0,194±0,001 D**	0,455±0,004 A	0,369±0,003 B	0,310±0,002 C	
	2021	Geleneksel	0,207±0,003	0,471±0,003	0,385±0,003	0,315±0,003	0,345±0,029 A*
		Doğrudan	0,198±0,004	0,470±0,009	0,370±0,007	0,305±0,004	0,336±0,030 B
		Ortalama	0,203±0,003 D**	0,471±0,004 A	0,378±0,005 B	0,310±0,003 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,201±0,001	0,463±0,002	0,376±0,004	0,312±0,003	0,338±0,029
		Doğrudan	0,196±0,002	0,462±0,003	0,370±0,005	0,308±0,004	0,334±0,029
		Ortalama	0,199±0,001 D**	0,463±0,001 A	0,373±0,003 B	0,310±0,002 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,190±0,003	0,394±0,003	0,322±0,002	0,256±0,008	0,291±0,023
		Doğrudan	0,191±0,003	0,395±0,004	0,322±0,004	0,255±0,006	0,291±0,023
		Ortalama	0,191±0,002 D**	0,395±0,002 A	0,322±0,002 B	0,256±0,005 C	
	2021	Geleneksel	0,195±0,002	0,410±0,004	0,330±0,003	0,255±0,002	0,298±0,024 A*
		Doğrudan	0,191±0,004	0,399±0,002	0,324±0,002	0,255±0,002	0,292±0,023 B
		Ortalama	0,193±0,002 D**	0,404±0,003 A	0,327±0,002 B	0,255±0,001 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,192±0,001	0,402±0,003	0,326±0,001	0,256±0,005	0,294±0,024
		Doğrudan	0,191±0,001	0,397±0,002	0,323±0,003	0,255±0,003	0,292±0,023
		Ortalama	0,192±0,001 D**	0,400±0,002 A	0,325±0,001 B	0,256±0,003 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	0,188±0,002	0,291±0,002	0,232±0,004	0,190±0,001	0,225±0,013
		Doğrudan	0,191±0,002	0,286±0,005	0,224±0,005	0,191±0,004	0,223±0,012
		Ortalama	0,190±0,001 C**	0,289±0,002 A	0,228±0,003 B	0,191±0,002 C	
	2021	Geleneksel	0,188±0,002	0,291±0,003	0,231±0,003	0,185±0,003	0,224±0,013
		Doğrudan	0,192±0,002	0,285±0,006	0,223±0,001	0,187±0,006	0,222±0,012
		Ortalama	0,190±0,001 C**	0,288±0,003 A	0,227±0,002 B	0,186±0,003 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,188±0,001	0,291±0,002	0,232±0,001	0,188±0,002	0,225±0,013
		Doğrudan	0,191±0,001	0,286±0,001	0,224±0,003	0,189±0,004	0,223±0,012
		Ortalama	0,190±0,001 C**	0,289±0,001 A	0,228±0,002 B	0,189±0,002 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 35. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Fe içerikleri (mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	4,66±0,03	7,09±0,02	6,63±0,04	5,11±0,07	5,87±0,31 B*
		Doğrudan	4,70±0,06	7,19±0,01	6,75±0,04	5,16±0,04	5,95±0,32 A
		Ortalama	4,68±0,03 D**	7,14±0,02 A	6,69±0,05 B	5,14±0,04 C	
	2021	Geleneksel	4,54±0,02	9,64±0,06	8,67±0,16	6,20±0,06	7,26±0,61 B*
		Doğrudan	4,65±0,03	9,82±0,04	8,74±0,07	6,46±0,10	7,42±0,61 A
		Ortalama	4,60±0,03 D**	9,73±0,05 A	8,71±0,08 B	6,33±0,08 C	
	2020 2021	Geleneksel	4,60±0,01	8,37±0,04	7,65±0,07	5,66±0,04	6,57±0,46 B**
		Doğrudan	4,68±0,04	8,51±0,01	7,74±0,05	5,81±0,06	6,69±0,46 A
		Ortalama	4,64±0,03 D**	8,44±0,04 A	7,70±0,04 B	5,74±0,05 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	4,84±0,09	8,85±0,07	7,52±0,11	5,06±0,03	6,57±0,51
		Doğrudan	4,78±0,06	8,85±0,05	7,40±0,04	4,97±0,03	6,50±0,51
		Ortalama	4,81±0,05 D**	8,85±0,04 A	7,46±0,06 B	5,02±0,03 C	
	2021	Geleneksel	4,62±0,06	9,62±0,16	7,92±0,04	5,37±0,15	6,88±0,60 B*
		Doğrudan	4,72±0,05	9,74±0,10	8,10±0,04	5,69±0,09	7,06±0,60 A
		Ortalama	4,67±0,04 D**	9,68±0,09 A	8,01±0,05 B	5,53±0,11 C	
	2020 2021	Geleneksel	4,73±0,07	9,24±0,11	7,72±0,05	5,22±0,06	6,73±0,56
		Doğrudan	4,75±0,01	9,30±0,03	7,75±0,02	5,33±0,05	6,78±0,55
		Ortalama	4,74±0,03 D**	9,27±0,05 A	7,74±0,02 B	5,28±0,04 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	4,72±0,05	8,15±0,07	3,91±0,05	4,06±0,03	5,21±0,52
		Doğrudan	4,65±0,05	8,12±0,03	3,95±0,08	4,11±0,04	5,21±0,51
		Ortalama	4,69±0,04 B**	8,14±0,04 A	3,93±0,04 D	4,09±0,03 C	
	2021	Geleneksel	4,12±0,02	9,09±0,04	4,16±0,03	4,15±0,04	5,38±0,65 B**
		Doğrudan	4,28±0,02	9,26±0,01	4,30±0,08	4,21±0,03	5,52±0,65 A
		Ortalama	4,20±0,04 B**	9,18±0,04 A	4,23±0,05 B	4,18±0,03 B	
	2020 2021	Geleneksel	4,42±0,02	8,62±0,02	4,04±0,03	4,11±0,02	5,30±0,58 B**
		Doğrudan	4,47±0,02	8,69±0,02	4,13±0,06	4,16±0,03	5,36±0,58 A
		Ortalama	4,45±0,02 B**	8,66±0,02 A	4,09±0,03 C	4,14±0,02 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 36. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Cu içerikleri (mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	2,02±0,03 e**	3,94±0,02 a	2,94±0,02 b	2,52±0,04 c	2,86±0,21 A**
		Doğrudan	2,01±0,01 e	3,91±0,02 a	2,96±0,04 b	2,31±0,02 d	2,80±0,22 B
		Ortalama	2,02±0,02 D**	3,93±0,01 A	2,95±0,02 B	2,42±0,05 C	
	2021	Geleneksel	2,04±0,02 e*	4,03±0,01 a	2,98±0,02 c	2,55±0,05 d	2,90±0,22
		Doğrudan	2,02±0,02 e	3,74±0,12 b	3,05±0,03 c	2,47±0,04 d	2,82±0,20
		Ortalama	2,03±0,01 D**	3,89±0,08 A	3,02±0,02 B	2,51±0,04 C	
	2020 2021	Geleneksel	2,03±0,02 f**	3,99±0,01 a	2,96±0,02 c	2,54±0,01 d	2,88±0,22 A**
		Doğrudan	2,01±0,01 f	3,83±0,06 b	3,01±0,01 c	2,39±0,02 e	2,81±0,21 B
		Ortalama	2,02±0,01 D**	3,91±0,04 A	2,99±0,01 B	2,47±0,03 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	1,97±0,01	3,78±0,02	2,94±0,09	2,29±0,03	2,75±0,21
		Doğrudan	1,96±0,01	3,75±0,03	2,95±0,03	2,24±0,02	2,73±0,21
		Ortalama	1,97±0,01 D**	3,77±0,02 A	2,95±0,04 B	2,27±0,02 C	
	2021	Geleneksel	1,98±0,02	3,82±0,02	2,96±0,03	2,25±0,03	2,75±0,21
		Doğrudan	2,02±0,01	3,68±0,15	2,77±0,08	2,15±0,09	2,66±0,20
		Ortalama	2,00±0,01 D**	3,75±0,08 A	2,87±0,06 B	2,20±0,05 C	
	2020 2021	Geleneksel	1,98±0,02	3,80±0,01	2,95±0,04	2,27±0,03	2,75±0,21
		Doğrudan	1,99±0,01	3,72±0,09	2,86±0,03	2,20±0,05	2,69±0,20
		Ortalama	1,99±0,01 D**	3,76±0,04 A	2,91±0,03 B	2,24±0,03 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	1,67±0,01	2,05±0,04	1,82±0,02	1,65±0,03	1,80±0,05
		Doğrudan	1,64±0,02	1,99±0,03	1,86±0,02	1,59±0,02	1,77±0,05
		Ortalama	1,66±0,01 C**	2,02±0,03 A	1,84±0,02 B	1,62±0,02 C	
	2021	Geleneksel	1,60±0,03	2,00±0,03	1,74±0,07	1,50±0,05	1,71±0,06
		Doğrudan	1,62±0,02	1,83±0,04	1,68±0,05	1,46±0,01	1,65±0,04
		Ortalama	1,61±0,02 C**	1,92±0,04 A	1,71±0,04 B	1,48±0,03 D	
	2020 2021	Geleneksel	1,64±0,01	2,02±0,03	1,78±0,03	1,58±0,04	1,76±0,05 A*
		Doğrudan	1,63±0,01	1,91±0,02	1,77±0,03	1,53±0,01	1,71±0,04 B
		Ortalama	1,64±0,01 C**	1,97±0,03 A	1,78±0,02 B	1,56±0,02 D	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 37. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Mn içerikleri (mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	7,05±0,04	15,26±0,04	14,07±0,06	9,85±0,05	11,56±0,99
		Doğrudan	7,09±0,04	15,23±0,06	13,98±0,08	9,85±0,06	11,54±0,98
		Ortalama	7,07±0,03 D**	15,25±0,03 A	14,03±0,05 B	9,85±0,07 C	
	2021	Geleneksel	7,25±0,02 f**	19,11±0,05 a	14,37±0,10 b	9,95±0,02 d	12,67±1,36 A**
		Doğrudan	7,22±0,02 f	19,11±0,03 a	14,12±0,06 c	8,94±0,12 e	12,35±1,40 B
		Ortalama	7,24±0,02 D**	19,11±0,03 A	14,25±0,07 B	9,44±0,23 C	
	2020 2021	Geleneksel	7,15±0,03 f**	17,19±0,01 a	14,22±0,02 b	9,90±0,07 d	12,12±1,16 A**
		Doğrudan	7,15±0,02 f	17,17±0,05 a	14,05±0,05 c	9,38±0,03 e	11,94±1,18 B
		Ortalama	7,15±0,02 D**	17,18±0,02 A	14,14±0,05 B	9,64±0,12 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	6,45±0,03	15,06±0,05	12,73±0,08	10,06±0,05	11,08±0,97 A*
		Doğrudan	6,44±0,03	14,78±0,11	12,64±0,06	10,04±0,04	10,98±0,94 B
		Ortalama	6,45±0,01 D**	14,92±0,08 A	12,69±0,05 B	10,05±0,03 C	
	2021	Geleneksel	6,60±0,05	16,31±0,05	13,55±0,09	10,11±0,07	11,64±1,10
		Doğrudan	6,57±0,05	16,23±0,01	13,36±0,09	9,99±0,08	11,54±1,09
		Ortalama	6,59±0,03 D**	16,27±0,03 A	13,46±0,16 B	10,05±0,05 C	
	2020 2021	Geleneksel	6,53±0,04	15,69±0,02	13,14±0,10	10,09±0,06	11,36±1,03 A*
		Doğrudan	6,51±0,03	15,50±0,05	13,00±0,11	10,02±0,05	11,26±1,01 B
		Ortalama	6,52±0,02 D**	15,60±0,05 A	13,07±0,08 B	10,06±0,04 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	5,05±0,04	15,12±0,09	11,17±0,04	8,37±0,04	9,93±1,12
		Doğrudan	4,97±0,07	14,97±0,08	11,12±0,07	8,36±0,06	9,86±1,11
		Ortalama	5,01±0,04 D**	15,05±0,06 A	11,15±0,04 B	8,37±0,03 C	
	2021	Geleneksel	5,05±0,05	15,15±0,03	11,08±0,04	8,32±0,04	9,90±1,12 A**
		Doğrudan	4,95±0,02	14,99±0,02	11,02±0,05	8,10±0,01	9,77±1,12 B
		Ortalama	5,00±0,03 D**	15,07±0,04 A	11,05±0,03 B	8,21±0,05 C	
	2020 2021	Geleneksel	5,05±0,04	15,14±0,03	11,13±0,04	8,34±0,04	9,92±1,12 A**
		Doğrudan	4,96±0,04	14,98±0,05	11,07±0,06	8,23±0,03	9,81±1,11 B
		Ortalama	5,01±0,03 D**	15,06±0,04 A	11,10±0,03 B	8,29±0,03 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 38. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Zn içerikleri (mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	51,3±0,3	88,5±0,5	69,6±0,7	57,2±1,0	66,7±4,3 A**
		Doğrudan	50,1±1,0	84,3±0,9	66,0±0,4	55,3±0,6	63,9±4,4 B
		Ortalama	50,7±0,5 D**	86,4±1,1 A	67,8±0,9 B	56,3±0,7 C	
	2021	Geleneksel	50,9±0,4	90,9±0,9	73,6±0,6	60,6±0,8	69,0±4,5
		Doğrudan	49,4±0,4	87,2±1,0	74,7±0,7	62,8±0,7	68,5±4,3
		Ortalama	50,2±0,4 D**	89,1±1,0 A	74,2±0,9 B	61,7±1,0 C	
	2020 2021	Geleneksel	51,1±0,3 e*	89,7±0,2 a	71,6±0,7 c	58,9±0,9 d	67,8±4,4 A**
		Doğrudan	49,7±0,6 e	85,7±0,7 b	70,3±1,0 c	59,1±0,7 d	66,2±4,1 B
		Ortalama	50,4±0,4 D**	87,7±0,9 A	71,0±0,6 B	59,0±0,5 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	46,4±1,1	65,1±0,8	54,8±1,6	51,2±2,0	54,4±2,2
		Doğrudan	46,2±0,5	62,3±1,0	51,7±1,5	51,5±1,0	52,9±1,8
		Ortalama	46,3±0,5 C**	63,7±0,9 A	53,3±1,2 B	51,4±1,0 B	
	2021	Geleneksel	46,3±0,8	65,4±0,5	56,8±0,5	52,4±0,8	55,2±2,1 A*
		Doğrudan	46,4±1,0	63,0±1,0	53,1±0,3	52,3±0,8	53,7±1,8 B
		Ortalama	46,4±0,6 D**	64,2±0,7 A	55,0±0,9 B	52,4±0,5 C	
	2020 2021	Geleneksel	46,3±1,0	65,3±0,7	55,8±0,5	51,8±0,8	54,8±2,1 A*
		Doğrudan	46,3±0,7	62,7±0,8	52,4±0,9	51,9±0,8	53,3±1,8 B
		Ortalama	46,3±0,5 D**	64,0±0,7 A	54,1±0,9 B	51,9±0,5 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	35,5±1,3	41,7±0,6	34,5±0,5	32,4±0,8	36,0±1,1
		Doğrudan	35,0±1,0	38,4±0,9	32,4±0,8	32,2±1,2	34,5±0,9
		Ortalama	35,3±0,8 B**	4,01±0,9 A	33,5±0,6 BC	32,3±1,0 C	
	2021	Geleneksel	31,4±0,4	41,9±0,4	35,5±0,3	33,4±0,4	35,5±1,2 A*
		Doğrudan	31,4±0,7	39,2±1,3	33,9±0,2	33,7±0,5	34,6±0,9 B
		Ortalama	31,4±0,4 C**	40,6±0,8 A	34,7±0,4 B	33,6±0,3 B	
	2020 2021	Geleneksel	33,5±0,8	41,8±0,4	35,0±0,4	32,9±0,4	35,8±1,1 A*
		Doğrudan	33,2±0,3	38,8±1,0	33,2±0,4	32,9±1,2	34,5±0,8 B
		Ortalama	33,4±0,4 B**	40,3±0,8 A	34,1±0,5 B	32,9±0,6 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 39. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Pb içerikleri mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	3,45±0,03	4,28±0,05	3,56±0,03	3,65±0,03	3,74±0,10
		Doğrudan	3,35±0,02	4,20±0,05	3,59±0,04	3,63±0,04	3,69±0,10
		Ortalama	3,40±0,03 C**	4,24±0,04 A	3,58±0,02 B	3,64±0,02 B	
	2021	Geleneksel	3,41±0,02	4,96±0,06	3,68±0,02	3,25±0,05	3,83±0,20 A**
		Doğrudan	3,34±0,04	4,88±0,07	3,43±0,07	3,14±0,08	3,70±0,21 B
		Ortalama	3,38±0,03 C**	4,92±0,04 A	3,56±0,07 B	3,20±0,05 D	
	2020 2021	Geleneksel	3,43±0,02	4,62±0,05	3,62±0,01	3,45±0,03	3,78±0,15 A**
		Doğrudan	3,34±0,02	4,54±0,06	3,51±0,05	3,39±0,03	3,70±0,15 B
		Ortalama	3,39±0,02 C**	4,58±0,04 A	3,57±0,03 B	3,42±0,02 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	3,37±0,03	4,36±0,03	3,83±0,05	3,70±0,10	3,82±0,11
		Doğrudan	3,30±0,03	4,26±0,03	3,76±0,03	3,72±0,06	3,76±0,10
		Ortalama	3,34±0,03 C**	4,31±0,03 A	3,80±0,03 B	3,71±0,05 B	
	2021	Geleneksel	3,24±0,05	4,58±0,01	4,34±0,05	3,37±0,08	3,88±0,18 A**
		Doğrudan	3,15±0,03	4,26±0,04	4,14±0,04	3,25±0,02	3,70±0,15 B
		Ortalama	3,19±0,03 D**	4,42±0,07 A	4,24±0,05 B	3,31±0,04 C	
	2020 2021	Geleneksel	3,30±0,04	4,47±0,01	4,09±0,04	3,54±0,05	3,85±0,14 A**
		Doğrudan	3,23±0,03	4,26±0,03	3,95±0,03	3,49±0,04	3,73±0,12 B
		Ortalama	3,27±0,03 D**	4,37±0,05 A	4,02±0,04 B	3,52±0,03 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	3,11±0,07	3,37±0,08	3,24±0,06	3,24±0,03	3,24±0,04 A*
		Doğrudan	3,13±0,06	3,28±0,04	2,94±0,04	3,15±0,04	3,13±0,04 B
		Ortalama	3,12±0,04 B**	3,33±0,04 A	3,09±0,07 B	3,20±0,03 B	
	2021	Geleneksel	3,02±0,02 d**	3,45±0,02 a	3,17±0,07 c	2,28±0,04 g	2,98±0,11 A**
		Doğrudan	2,78±0,04 e	3,32±0,02 b	2,59±0,05 f	2,22±0,05 g	2,73±0,11 B
		Ortalama	2,90±0,06 B**	3,39±0,03 A	2,88±0,14 B	2,25±0,03 B	
	2020 2021	Geleneksel	3,07±0,03 c**	3,41±0,05 a	3,21±0,04 b	2,76±0,03 e	3,11±0,07 A**
		Doğrudan	2,96±0,04 d	3,30±0,02 b	2,77±0,05 e	2,69±0,02 e	2,93±0,07 B
		Ortalama	3,02±0,03 B**	3,36±0,03 A	2,99±0,10 B	2,73±0,02 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 40. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Cd içerikleri (mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	0,025±0,001	0,090±0,003	0,054±0,004	0,031±0,002	0,050±0,008
		Doğrudan	0,022±0,001	0,088±0,002	0,043±0,006	0,034±0,002	0,047±0,008
		Ortalama	0,024±0,001 D**	0,089±0,002 A	0,049±0,004 B	0,033±0,001 C	
	2021	Geleneksel	0,027±0,003	0,101±0,001	0,060±0,005	0,032±0,002	0,055±0,009
		Doğrudan	0,025±0,002	0,097±0,002	0,056±0,003	0,028±0,002	0,052±0,009
		Ortalama	0,026±0,002 C**	0,099±0,001 A	0,058±0,003 B	0,030±0,001 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,026±0,001	0,095±0,001	0,057±0,004	0,031±0,001	0,050±0,008 A*
		Doğrudan	0,023±0,001	0,092±0,002	0,050±0,002	0,031±0,001	0,049±0,008 B
		Ortalama	0,025±0,001 D**	0,094±0,001 A	0,054±0,003 B	0,031±0,001 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,025±0,002	0,073±0,002	0,039±0,005	0,029±0,001	0,042±0,006
		Doğrudan	0,025±0,003	0,071±0,004	0,039±0,002	0,026±0,002	0,040±0,006
		Ortalama	0,025±0,002 C**	0,072±0,002 A	0,039±0,002 B	0,028±0,001 C	
	2021	Geleneksel	0,025±0,002	0,085±0,003	0,045±0,002	0,032±0,002	0,047±0,007 A*
		Doğrudan	0,022±0,002	0,084±0,003	0,040±0,001	0,028±0,001	0,043±0,007 B
		Ortalama	0,023±0,001 D**	0,084±0,002 A	0,043±0,001 B	0,030±0,001 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,025±0,002	0,079±0,002	0,042±0,002	0,031±0,001	0,044±0,006
		Doğrudan	0,023±0,002	0,078±0,001	0,040±0,001	0,027±0,001	0,042±0,007
		Ortalama	0,024±0,001 D**	0,079±0,001 A	0,041±0,001 B	0,029±0,001 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	0,018±0,002	0,046±0,004	0,033±0,003	0,022±0,001	0,030±0,003
		Doğrudan	0,016±0,001	0,043±0,002	0,033±0,002	0,019±0,003	0,028±0,003
		Ortalama	0,017±0,001 C**	0,045±0,002 A	0,033±0,002 B	0,021±0,001 C	
	2021	Geleneksel	0,018±0,002	0,048±0,001	0,032±0,002	0,023±0,003	0,030±0,004
		Doğrudan	0,015±0,001	0,044±0,003	0,033±0,003	0,019±0,001	0,028±0,004
		Ortalama	0,017±0,001 D**	0,046±0,002 A	0,032±0,002 B	0,021±0,002 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,018±0,001	0,047±0,002	0,032±0,002	0,022±0,002	0,030±0,003
		Doğrudan	0,015±0,001	0,043±0,001	0,033±0,001	0,019±0,002	0,028±0,003
		Ortalama	0,017±0,001 D**	0,045±0,001 A	0,033±0,001 B	0,021±0,001 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 41. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Cr içerikleri (mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	0,229±0,003 c*	0,271±0,004 a	0,235±0,003 c	0,199±0,007 d	0,234±0,008
		Doğrudan	0,237±0,003 c	0,255±0,003 b	0,242±0,002 bc	0,188±0,007 d	0,231±0,008
		Ortalama	0,233±0,002 B**	0,263±0,004 A	0,239±0,002 B	0,194±0,005 C	
	2021	Geleneksel	0,218±0,002	0,297±0,007	0,244±0,004	0,201±0,003	0,240±0,011 A**
		Doğrudan	0,206±0,003	0,284±0,005	0,223±0,007	0,187±0,006	0,225±0,011 B
		Ortalama	0,212±0,003 C**	0,291±0,005 A	0,233±0,006 B	0,194±0,004 D	
	2020 2021	Geleneksel	0,224±0,001	0,284±0,006	0,239±0,004	0,200±0,004	0,237±0,009 A**
		Doğrudan	0,222±0,003	0,269±0,002	0,233±0,003	0,187±0,007	0,228±0,009 B
		Ortalama	0,223±0,001 C**	0,277±0,004 A	0,236±0,003 B	0,194±0,004 D	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,185±0,003	0,225±0,007	0,187±0,002	0,179±0,003	0,194±0,006
		Doğrudan	0,177±0,008	0,226±0,004	0,185±0,004	0,174±0,005	0,191±0,007
		Ortalama	0,181±0,004 B**	0,226±0,004 A	0,186±0,002 B	0,177±0,003 B	
	2021	Geleneksel	0,166±0,012	0,213±0,004	0,183±0,005	0,173±0,010	0,184±0,006 A*
		Doğrudan	0,147±0,004	0,202±0,001	0,181±0,004	0,163±0,003	0,173±0,006 B
		Ortalama	0,156±0,007 C**	0,207±0,003 A	0,182±0,003 B	0,168±0,005 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,176±0,006	0,219±0,002	0,185±0,002	0,176±0,006	0,189±0,006 A*
		Doğrudan	0,162±0,006	0,214±0,002	0,183±0,001	0,169±0,003	0,182±0,006 B
		Ortalama	0,169±0,005 C**	0,217±0,002 A	0,184±0,001 B	0,173±0,004 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	0,141±0,003	0,170±0,003	0,155±0,004	0,150±0,003	0,154±0,003
		Doğrudan	0,140±0,003	0,167±0,006	0,153±0,007	0,140±0,007	0,150±0,004
		Ortalama	0,141±0,002 C**	0,169±0,003 A	0,154±0,004 B	0,145±0,004 BC	
	2021	Geleneksel	0,127±0,001	0,164±0,006	0,167±0,011	0,145±0,007	0,151±0,006
		Doğrudan	0,122±0,002	0,162±0,004	0,158±0,002	0,140±0,005	0,146±0,005
		Ortalama	0,125±0,001 C**	0,163±0,003 A	0,162±0,005 A	0,143±0,004 B	
	2020 2021	Geleneksel	0,134±0,002	0,167±0,002	0,161±0,007	0,148±0,005	0,153±0,004
		Doğrudan	0,131±0,001	0,164±0,003	0,155±0,004	0,140±0,003	0,148±0,004
		Ortalama	0,133±0,001 C**	0,166±0,002 A	0,158±0,004 A	0,144±0,003 B	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 42. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında toprakta Ni içerikleri (mg/kg)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	0,118±0,002 e*	0,438±0,008 a	0,360±0,005 c	0,281±0,002 d	0,299±0,036
		Doğrudan	0,119±0,002 e	0,412±0,008 b	0,362±0,003 c	0,279±0,005 d	0,293±0,034
		Ortalama	0,119±0,001 D**	0,425±0,008 A	0,361±0,003 B	0,280±0,002 C	
	2021	Geleneksel	0,116±0,002 f**	0,492±0,004 a	0,406±0,005 b	0,292±0,001 d	0,326±0,042 A**
		Doğrudan	0,115±0,003 f	0,485±0,002 a	0,389±0,003 c	0,252±0,008 e	0,310±0,042 B
		Ortalama	0,116±0,002 D**	0,488±0,003 A	0,396±0,004 B	0,272±0,010 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,117±0,002 f*	0,465±0,003 a	0,381±0,001 c	0,287±0,002 d	0,313±0,039 A**
		Doğrudan	0,117±0,001 f	0,448±0,003 b	0,376±0,002 c	0,265±0,006 e	0,302±0,038 B
		Ortalama	0,117±0,001 D**	0,457±0,004 A	0,379±0,002 B	0,276±0,006 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	0,102±0,002 e*	0,404±0,003 a	0,326±0,005 b	0,225±0,003 d	0,264±0,034 A**
		Doğrudan	0,099±0,001 e	0,394±0,002 a	0,305±0,004 c	0,227±0,004 d	0,257±0,022 B
		Ortalama	0,101±0,001 D**	0,401±0,002 A	0,316±0,006 B	0,226±0,003 C	
	2021	Geleneksel	0,096±0,001	0,460±0,003	0,353±0,002	0,222±0,005	0,283±0,041 A*
		Doğrudan	0,095±0,002	0,450±0,001	0,343±0,007	0,213±0,002	0,275±0,040 B
		Ortalama	0,096±0,001 D**	0,455±0,002 A	0,348±0,004 B	0,218±0,003 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,099±0,001	0,432±0,002	0,340±0,003	0,223±0,004	0,274±0,038 A**
		Doğrudan	0,097±0,001	0,424±0,001	0,324±0,005	0,220±0,003	0,266±0,037 B
		Ortalama	0,098±0,001 D**	0,428±0,002 A	0,332±0,004 B	0,222±0,002 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	0,095±0,002 e*	0,408±0,004 a	0,208±0,005 c	0,112±0,004 d	0,206±0,038 A*
		Doğrudan	0,095±0,003 e	0,383±0,006 b	0,197±0,006 c	0,117±0,004 d	0,198±0,034 B
		Ortalama	0,095±0,002 D**	0,396±0,006 A	0,203±0,004 B	0,115±0,003 C	
	2021	Geleneksel	0,092±0,002 f**	0,457±0,003 a	0,221±0,006 c	0,120±0,003 e	0,222±0,043 A**
		Doğrudan	0,092±0,001 f	0,422±0,006 b	0,208±0,005 d	0,112±0,001 e	0,209±0,040 B
		Ortalama	0,092±0,001 D**	0,440±0,008 A	0,214±0,004 B	0,116±0,002 C	
	2020 2021	Geleneksel	0,093±0,002 f**	0,433±0,002 a	0,214±0,004 c	0,116±0,002 e	0,214±0,040 A**
		Doğrudan	0,094±0,001 f	0,403±0,004 b	0,203±0,005 d	0,114±0,003 e	0,204±0,037 B
		Ortalama	0,094±0,001 D**	0,418±0,007 A	0,209±0,004 B	0,115±0,002 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Hidrolik toprak özellikleri

Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında denemenin iki yılına ve iki yıl ortalamalarına ait tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı değerleri Tablo 43-45’de ve varyans analiz sonuçları da Ek 36-38’de verilmiştir.

Deneme öncesi başlangıç tarla kapasitesi değerlerine göre (Tablo 8) tüm uygulamalarda tarla kapasitesi değerleri artmış, atık suyla tam sulamada bu artış temiz suya kıyasla daha yüksek bulunmuş, ancak sulama suyu kısıntı seviyesinin artmasıyla artışlar sınırlanmıştır. Ayrıca doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeye göre tarla kapasitesinde daha fazla artış belirlenmiştir. Sulama uygulamalarının tarla kapasitesine etkisi tüm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi 0-30 cm ve 30-60 cm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde, 60-90 cm toprak tabakasında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 43 ve Ek 36).

Toprak başlangıç değerleriyle kıyaslandığında (Tablo 8) atık suyla tam sulamada temiz suyla sulamaya göre solma noktası değerleri daha fazla artış gösterirken, sulama seviyesindeki azalma ile artış seviyeleri de sınırlanmıştır. Ayrıca her iki toprak işleme-ekim uygulamasında da solma noktası değerleri artmış, doğrudan ekim uygulamasında bu artış daha fazla olmuştur. İki yıllık ortalama değerlere göre sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının solma noktasına etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 44 ve Ek 37).

Deneme öncesi toprak başlangıç değerlerine göre yarayışlı su miktarı (Tablo 8) tüm sulama uygulamalarında toprağın 0-30 cm tabakasında artış göstermiş, atık suyla tam sulamada bu artış daha yüksek seviyelerde ve tüm toprak tabakalarında belirlenmiştir. Genel olarak sulama seviyesindeki azalmaya bağlı olarak yarayışlı su miktarındaki artışlarda sınırlanmıştır. Ayrıca doğrudan ekimde yarayışlı su miktarı geleneksel toprak işlemeye göre daha yüksek artış göstermiştir. Sulama uygulamalarının yarayışlı su miktarına etkisi 0-30 cm toprak tabakasında $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, iki yıllık ortalama değerlere göre toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi 0-30 cm ve 30-60 cm toprak tabakalarında $p<0,01$ seviyesinde, 60-90 cm toprak tabakasında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 45 ve Ek 38).

Atık suyla tam sulamada yüzey tabakada tarla kapasitesindeki daha fazla artışın bir sonucu olarak yarayışlı su miktarının arttığı söylenebilir. Atık suyla sulama konularında tarla kapasitesi ve solma noktasının temiz suyla sulamaya göre daha yüksek seviyelerde olması atık

suyun topraklara sağlamış olduğu yüksek organik madde katkısıyla (Tablo 23) açıklanabilir. Özellikle tarla kapasitesi ve solma noktasının daha yüksek miktarlarda artış gösterdiği 0-30 cm toprak tabakasında, organik maddenin tarla kapasitesi ve solma noktasıyla önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonlar göstermesi de bu durumu desteklemiştir (Ek 7 ve 8). Benzer şekilde diğer bazı çalışmalarda da toprağa organik madde katkısının tarla kapasitesi ve solma noktasını artırdığı bildirilmiştir (Candemir ve Gülser 2011; Kadioğlu ve Canbolat 2019; Alaboz ve Çakmakcı 2020). Bu aynı zamanda kısıntılı sulama uygulamalarında azalan organik maddenin (Tablo 23) yarayışlı su tutmayla ilgili azalan değerlerini de açıklamaktadır. Ayrıca sulama suyu kısıntısının artmasıyla tarla kapasitesi ve solma noktasındaki azalışlar, bitki artıklarından organik madde kazanımının azalmasıyla da açıklanabilir. Gupta *et al.* (2011), bitki artıklarının organik maddeyi artırdığı için yarayışlı su miktarını da artırdığını ifade etmişlerdir. Mujdeci *et al.* (2017), organik madde katkısıyla agregatlar arasındaki boşluklardaki artışların, yarayışlı su tutma lehine gözenekliliği geliştirdiğini belirtmişlerdir. Ors *et al.* (2015b)'da su tutma kapasitesinin doğrudan gözenek büyüklük dağılımına bağlı olduğunu ve organik maddenin toprakta gözenek boyut dağılımını daha fazla su tutmayı sağlayacak şekilde iyileştirebildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca Abdelfattah (2013), özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde toprağa yüksek miktarlarda organik madde katkısının yarayışlı su miktarını önemli ölçüde artırdığını ifade etmiştir. Yine birçok araştırmada da atık suyla sulama koşullarında toprak özelliklerindeki gelişimlere bağlı olarak tarla kapasitesi ve/veya yarayışlı su miktarında pozitif gelişimler sağlandığı belirtilmiştir (Delibacak *et al.* 2009; Glenn *et al.* 2009; Tunc and Sahin 2015; Musazura *et al.* 2019; Ding *et al.* 2020; Badaou and Sahin 2021).

Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında toprağın daha yüksek tarla kapasitesi ve yarayışlı su tutma kapasitesine sahip olması, doğrudan ekim uygulamasının geleneksel toprak işlemeye göre toprakta sağladığı daha yüksek miktarda organik madde içeriğiyle (Tablo 23) açıklanabilir. Gozubuyuk *et al.* (2014), doğrudan ekim uygulamasında geleneksel ve azaltılmış toprak işlemeye göre yüzey toprak tabakasında (0-30 cm) daha yüksek yarayışlı su miktarlarının elde edildiğini bildirmişlerdir. Mallory *et al.* (2011), toprak işlemesiz koşullarda yarayışlı su miktarındaki artışların mikro ve makro gözenek dağılımıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Tunç (2013) ve Demir Doğan (2016), yarayışlı su miktarındaki artışların agregat stabilitesi ve porozite değişimlerinden kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada da doğrudan ekim uygulamasında daha yüksek agregat stabilitesi değerlerinin (Tablo 19) gözenek büyüklük dağılımına olası etkileriyle bu sonuçların elde edilmiş olduğu düşünülmektedir. Ayrıca toprak işleme-ekim uygulamalarının tarla kapasitesine ve/veya yarayışlı su miktarına etkilerinin irdelendiği diğer birçok çalışmada da

toprak işlemez uygulamalarda daha yüksek değerlerin elde edildiği ifade edilmiştir (Fernández-Ugalde *et al.* 2009; Sekwakwa and Dikinya 2012; Somasundaram *et al.* 2018).

Tablo 43. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında tarla kapasitesinde tutulan nem miktarları (Pw)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	29,7±0,12	30,9±0,09	30,1±0,03	29,9±0,09	30,2±0,14 B**
		Doğrudan	30,2±0,09	31,2±0,03	30,6±0,03	30,3±0,10	30,6±0,13 A
		Ortalama	30,0±0,14 C**	31,1±0,09 A	30,4±0,10 B	30,1±0,10 C	
	2021	Geleneksel	29,9±0,15	31,8±0,57	30,3±0,12	29,5±0,23	30,4±0,29 B**
		Doğrudan	30,5±0,06	32,2±0,18	30,7±0,15	30,3±0,15	30,9±0,24 A
		Ortalama	30,2±0,16 BC**	32,0±0,29 A	30,5±0,13 B	29,9±0,22 C	
	2020 2021	Geleneksel	29,8±0,02	31,3±0,32	30,2±0,05	29,7±0,15	30,3±0,21 B**
		Doğrudan	30,4±0,04	31,7±0,09	30,6±0,08	30,3±0,09	30,8±0,18 A
		Ortalama	30,1±0,14 C**	31,5±0,18 A	30,4±0,11 B	30,0±0,16 C	
30-60 cm	2020	Geleneksel	30,6±0,06	31,3±0,12	31,0±0,06	30,9±0,03	31,0±0,09
		Doğrudan	30,9±0,03	31,5±0,06	31,3±0,45	30,9±0,03	31,2±0,13
		Ortalama	30,8±0,07 B**	31,4±0,07 A	31,2±0,21 A	30,9±0,03 B	
	2021	Geleneksel	30,6±0,17	31,6±0,09	30,6±0,21	30,4±0,43	30,8±0,18 B**
		Doğrudan	31,0±0,12	31,9±0,06	31,0±0,12	31,7±0,07	31,4±0,13 A
		Ortalama	30,8±0,13 B**	31,8±0,08 A	30,8±0,14 B	31,0±0,34 B	
	2020 2021	Geleneksel	30,6±0,10	31,5±0,02	30,8±0,12	30,6±0,2	30,9±0,12 B**
		Doğrudan	30,9±0,06	31,7±0,05	31,1±0,19	31,3±0,05	31,3±0,10 A
		Ortalama	30,8±0,09 B**	31,6±0,05 A	31,0±0,12 B	31,0±0,18 B	
60-90 cm	2020	Geleneksel	29,3±0,19	29,9±0,09	29,3±0,12	29,5±0,07	29,5±0,10 B*
		Doğrudan	29,4±0,09	30,3±0,17	29,6±0,12	29,5±0,06	29,7±0,12 A
		Ortalama	29,4±0,10 B**	30,1±0,12 A	29,5±0,11 B	29,5±0,04 B	
	2021	Geleneksel	29,1±0,12	29,6±0,18	28,9±0,19	28,8±0,15	29,1±0,12
		Doğrudan	29,3±0,12	30,1±0,06	29,1±0,23	28,8±0,33	29,3±0,17
		Ortalama	29,2±0,08 B**	29,9±0,13 A	29,0±0,14 B	28,8±0,16 B	
	2020 2021	Geleneksel	29,2±0,15	29,8±0,09	29,1±0,14	29,1±0,11	29,3±0,10 B*
		Doğrudan	29,4±0,06	30,2±0,08	29,4±0,15	29,1±0,19	29,5±0,14 A
		Ortalama	29,3±0,08 B**	30,0±0,11 A	29,3±0,11 B	29,1±0,10 B	

** : p<0,01 * : p<0,05

Tablo 44. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında solma noktasında tutulan nem miktarları (Pw)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	17,3±0,10	18,1±0,09	17,5±0,03	17,4±0,03	17,6±0,09 B**
		Doğrudan	17,5±0,09	18,3±0,03	17,7±0,07	17,5±0,09	17,8±0,10 A
		Ortalama	17,4±0,07 C**	18,2±0,06 A	17,6±0,07 B	17,5±0,05 C	
	2021	Geleneksel	17,4±0,17	18,0±0,26	17,6±0,09	17,4±0,23	17,6±0,11
		Doğrudan	17,5±0,03	18,3±0,06	17,8±0,09	17,6±0,06	17,8±0,09
		Ortalama	17,5±0,08 B**	18,2±0,14 A	17,7±0,07 B	17,5±0,11 B	
	2020 2021	Geleneksel	17,3±0,10	18,0±0,10	17,5±0,04	17,4±0,10	17,6±0,09 B**
		Doğrudan	17,5±0,03	18,3±0,04	17,8±0,05	17,5±0,06	17,8±0,10 A
		Ortalama	17,4±0,06 C**	18,2±0,07 A	17,7±0,06 B	17,5±0,06 BC	
30-60 cm	2020	Geleneksel	17,8±0,03	18,0±0,09	17,9±0,12	17,8±0,01	17,9±0,04 B**
		Doğrudan	18,1±0,06	18,3±0,09	18,2±0,03	18,0±0,06	18,2±0,04 A
		Ortalama	18,0±0,08 B*	18,2±0,09 A	18,1±0,08 AB	17,9±0,06 B	
	2021	Geleneksel	17,9±0,06	18,2±0,18	18,0±0,06	17,6±0,20	17,9±0,09 B**
		Doğrudan	18,3±0,09	18,5±0,12	18,3±0,12	17,8±0,18	18,2±0,09 A
		Ortalama	18,1±0,09 A**	18,3±0,12 A	18,2±0,09 A	17,7±0,13 B	
	2020 2021	Geleneksel	17,9±0,04	18,1±0,12	18,0±0,05	17,7±0,10	17,9±0,06 B**
		Doğrudan	18,2±0,04	18,4±0,04	18,2±0,07	17,9±0,11	18,2±0,06 A
		Ortalama	18,1±0,08 B**	18,3±0,09 A	18,2±0,07 AB	17,8±0,08 C	
60-90 cm	2020	Geleneksel	17,3±0,06	17,6±0,09	17,1±0,03	17,2±0,10	17,3±0,07 B**
		Doğrudan	17,5±0,03	18,0±0,06	17,4±0,01	17,3±0,09	17,6±0,08 A
		Ortalama	17,4±0,06 B**	17,8±0,09 A	17,3±0,06 C	17,3±0,07 C	
	2021	Geleneksel	17,5±0,23	17,6±0,09	16,9±0,06	17,3±0,15	17,3±0,10
		Doğrudan	17,5±0,15	18,1±0,03	17,1±0,06	17,1±0,13	17,5±0,13
		Ortalama	17,5±0,12 B**	17,9±0,11 A	17,0±0,06 C	17,2±0,09 C	
	2020 2021	Geleneksel	17,4±0,09 cd*	17,6±0,04 b	17,0±0,04 f	17,2±0,03 e	17,3±0,07 B**
		Doğrudan	17,5±0,06 bc	18,0±0,02 a	17,3±0,03 de	17,3±0,07 de	17,5±0,10 A
		Ortalama	17,5±0,05 B**	17,8±0,09 A	17,2±0,06 C	17,3±0,04 C	

** : p<0,01 * : p<0,05

Tablo 45. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında yarayışlı su miktarları (mm)

	Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
0-30 cm	2020	Geleneksel	48,7±0,22	49,8±0,52	49,4±0,26	49,3±0,35	49,3±0,19 B**
		Doğrudan	51,1±0,22	51,2±0,13	50,6±0,35	51,0±0,13	51,0±0,12 A
		Ortalama	49,9±0,54	50,5±0,40	50,0±0,32	50,2±0,41	
	2021	Geleneksel	48,8±1,19	53,0±1,62	49,7±0,90	47,2±1,39	49,7±0,85 B**
		Doğrudan	52,1±0,13	54,2±1,21	51,2±0,66	50,4±1,13	52,0±0,57 A
		Ortalama	50,5±0,92 B**	53,6±0,94 A	50,5±0,61 B	48,8±1,08 B	
	2020 2021	Geleneksel	48,8±0,51	51,4±0,91	49,6±0,34	48,3±0,73	49,5±0,46 B**
		Doğrudan	51,6±0,13	52,7±0,63	50,9±0,34	50,7±0,57	51,5±0,31 A
		Ortalama	50,2±0,68 B**	52,1±0,58 A	50,3±0,37 B	49,5±0,69 B	
30-60 cm	2020	Geleneksel	54,3±0,49	55,2±0,36	54,5±0,76	54,6±0,23	54,7±0,24
		Doğrudan	55,0±0,37	55,6±0,38	55,4±0,90	55,0±0,42	55,3±0,44
		Ortalama	54,7±0,32	55,4±0,25	55,0±0,44	54,8±0,23	
	2021	Geleneksel	53,3±0,46	55,4±1,35	52,6±1,24	53,1±1,62	53,6±0,76 B*
		Doğrudan	55,1±0,50	56,8±0,78	53,7±0,62	58,9±1,10	56,1±0,68 A
		Ortalama	54,2±0,50	56,1±0,77	53,1±0,67	56,0±1,56	
	2020 2021	Geleneksel	53,8±0,19	55,3±0,52	53,6±0,94	53,9±1,23	54,1±0,42 B**
		Doğrudan	55,1±0,41	56,2±0,37	54,6±0,66	57,0±0,74	55,7±0,37 A
		Ortalama	54,5±0,35	55,8±0,35	54,1±0,56	55,5±0,97	
60-90 cm	2020	Geleneksel	46,8±0,91	47,5±0,77	47,0±0,56	47,7±0,25	47,3±0,31
		Doğrudan	47,5±0,24	48,2±0,91	48,0±0,79	48,1±0,36	48,0±0,28
		Ortalama	47,2±0,45	47,9±0,56	47,5±0,49	47,9±0,21	
	2021	Geleneksel	45,2±0,39	46,2±0,53	46,4±0,25	44,7±1,01	45,6±0,33
		Doğrudan	47,2±0,84	47,7±0,25	47,4±0,72	45,4±1,66	46,9±0,51
		Ortalama	46,2±0,60	46,9±0,42	46,9±0,40	45,0±0,88	
	2020 2021	Geleneksel	46,0±0,30	46,9±0,49	46,7±0,36	46,2±0,40	46,5±0,20 B*
		Doğrudan	47,4±0,30	48,0±0,34	47,7±0,65	46,8±0,87	47,5±0,29 A
		Ortalama	46,7±0,35	47,4±0,36	47,2±0,40	46,5±0,44	

**: p<0,01 *: p<0,05

Bitki Özellikleri

Deneme yıllarının sonunda silajlık mısır bitkilerinde fiziksel (bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot ve kuru madde verimi) kimyasal (suda çözünür kuru madde miktarı, asit deterjan lif ve nötr deterjan lif, azot, ham protein, fosfor, makro-mikro besin elementler ve ağır metaller) ve fizyolojik (klorofil miktarı, yaprak alan indeksi, yaprak oransal su içeriği ve membran zararlanma) özellikler değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Bitkide fiziksel ölçümler

Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında iki deneme yılı ve iki yılın ortalamasına ait silajlık mısırın bitki boyu, gövde çapı, silajlık ot ve kuru madde verimi değerleri Tablo 46-49'da ve varyans analiz sonuçları da Ek 39-40 ve Ek 43-44'de verilmiştir.

Bitki boyu

Toprak işleme-ekim uygulamalarının bitki boyuna etkisi önemsiz olurken, sulama uygulamalarının etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 46 ve Ek 39). İlk yıl atık su ve temiz suyla tam sulama uygulamalarında bitki boyu istatistiksel olarak benzer olurken, ikinci yıl atık suyla tam sulamada artan toprak verimliliğine bağlı olarak (Tablo 23-31) bitki boyu artmıştır.

Atık suyla sulamada temiz suya göre artan bitki boyunun atık suyun yüksek besin element içeriğiyle, özellikle de azot katkısıyla (Tablo 11), kısıntılı sulama konularında ise azalan bitki boyunun toprağa su girişinin dolayısıyla da besin elementlerinin girişinin azalmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde Selim (2008)'de atık suyla sulama koşullarında bitki boyu artışının yüksek besin elementi katkısından kaynaklandığını bildirmiştir. Atık suyla sulama koşullarında bitki boyunda artışlar (Khan *et al.* 2009; Abegunrin *et al.* 2013; Hirich *et al.* 2014; Alghobar and Suresha 2016; Alkhamisi *et al.* 2017; Cakmakci and Sahin, 2021b), sulama suyu kısıntısına bağlı olarak da azalışlar görüldüğüne dair birçok çalışma yürütülmüştür (Kırnak *et al.* 2002; Simsek *et al.* 2011; Bouazzama *et al.* 2012; Ertek and Kara 2013; Gönülal ve Soylu 2019; Akşit 2020; Bhattarai *et al.* 2020; Ketten 2020).

Tablo 46. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki bitki boyları (cm)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	213,2±1,4	217,0±0,8	197,0±0,8	142,3±2,1	192,4±9,0
	Doğrudan	216,0±1,9	219,3±1,7	200,6±1,9	144,0±4,2	195,0±9,2
	Ortalama	214,6±1,2 A**	218,2±1,0 A	198,8±1,2 B	143,2±2,1 C	
2021	Geleneksel	215,7±2,4	229,1±1,2	202,7±1,6	144,0±4,4	197,9±9,9
	Doğrudan	218,7±1,7	238,8±1,7	207,7±3,6	146,9±2,9	203,0±10,9
	Ortalama	217,2±1,5 B**	234,0±7,4 A	205,2±2,1 B	145,5±2,4 C	
2020 2021	Geleneksel	214,4±1,2	223,1±0,6	199,8±0,5	143,2±1,4	195,1±9,4
	Doğrudan	217,3±0,1	229,1±2,8	204,2±0,9	145,4±3,5	199,0±9,9
	Ortalama	215,9±0,9 B**	226,1±3,9 A	202,0±1,1 C	144,3±1,7 D	

** : p<0,01

Gövde çapı

Sulama uygulamalarının gövde çapına etkisi p<0,01 seviyesinde önemli olurken, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi ise p<0,05 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 47 ve Ek 40). Bitki boyu ile gövde çapı arasında geleneksel toprak işlemede P<0,05 seviyesinde, doğrudan ekimde ise p<0,01 seviyesinde pozitif korelasyonlar belirlenmiştir (Ek 41 ve 42). Böylece atık suyla sulamanın gövde çapını artırıcı ve su kısıntısının ise azaltıcı etkisi bitki boyu değişimi ile uyum sağlamıştır.

Mousavi and Shahsavari (2014), atık suyla sulama koşullarında temiz suya göre gövde çapının arttığını, Kirnak *et al.* (2002), Kale *et al.* (2018), Ekinçi ve Başbağ (2019), Akşit (2020) ile Keten (2020) ise kısıntılı sulama koşullarında gövde çapının azaldığını bildirmişlerdir. Gövde çapı değişiminin gübreleme miktarından kaynaklanabileceği dikkate alındığında (Keten 2020), doğrudan ekim koşullarında gövde çapının geleneksel toprak işlemeye göre daha yüksek olması, doğrudan ekimde toprağın daha fazla azot içermesiyle (Tablo 25) ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Kale *et al.* (2018)'da azot artışıyla gövde çapının arttığını belirlemişlerdir. Aikins *et al.* (2012)'da azaltılmış toprak işlemenin toprak verimliliğini artırarak verim ve verim parametrelerinde artış sağlandığını bildirmişlerdir.

Tablo 47. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki gövde çapları (mm)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	21,0±0,1	22,2±0,3	20,5±0,6	20,4±0,3	21,0±0,3 B*
	Doğrudan	21,8±0,5	23,2±0,3	21,3±0,3	20,8±0,4	21,8±0,3 A
	Ortalama	21,4±0,3 B**	22,7±0,3 A	20,9±0,3 B	20,6±0,2 B	
2021	Geleneksel	22,2±0,8	24,2±0,2	21,4±0,8	21,1±0,2	22,2±0,4 B*
	Doğrudan	22,6±0,3	24,8±0,2	22,4±0,2	21,9±0,5	22,9±0,4 A
	Ortalama	22,4±0,4 B**	24,5±0,2 A	21,9±0,5 B	21,5±0,3 B	
2020 2021	Geleneksel	21,6±0,4	23,2±0,1	21,0±0,7	20,7±0,2	21,6±0,3 B*
	Doğrudan	22,2±0,3	24,0±0,2	21,9±0,2	21,4±0,4	22,4±0,3 A
	Ortalama	21,9±0,3 B**	23,6±0,2 A	21,5±0,4 B	21,1±0,3 C	

**.: p<0,01 *: p<0,05

Silajlık ot verimi

Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının silajlık ot verimine etkisi p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 48 ve Ek 43). İki yıllık ortalama, atık suyla tam sulama koşullarında temiz suya göre % 11,3 daha fazla silajlık ot verimi sağlanırken, artan sulama suyu kısıntısıyla silajlık ot verimleri atık suyla tam sulamaya göre % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde % 19,4 ve % 62,3 oranlarında azalış göstermiştir. Silajlık mısırdaki bitki boyu ve gövde çapının artması, verim artışını destekleyen faktörler olarak değerlendirilmektedir (Keten 2020). Bu çalışmada da hem geleneksel toprak işleme hem de doğrudan ekimde silajlık ot verimiyle bitki boyu ve gövde çapı değerlerinin pozitif korelasyonlar göstermesi bu durumu desteklemiştir (Ek 41 ve 42).

Atık suyla sulama koşullarında temiz suyla sulamaya göre artan silajlık ot verimleri atık suyun yüksek besin element içeriğinden (Tablo 11) kaynaklı doğrudan gübreleme etkisiyle açıklanabilir. Yine temiz suya göre atık suyla sulanan toprakların artan makro ve mikro besin içerikleri de (Tablo 34-42) daha fazla silajlık ot verimi elde edilmesinin ikincil önemli bir nedeni olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde bazı araştırmacılar da atık suyun yüksek besin element içeriğinin gübreleme etkisiyle verimi artırma yönünde pozitif katkılar sağladığını bildirmişlerdir (Drechsel *et al.* 2006; Becerra-Castro *et al.* 2015; Tunc and Sahin 2016; Çakmakçı 2018). Yine birçok çalışmada da atık suyun sulamada kullanımıyla verim artışı sağlandığı belirlenmiştir (Kiziloğlu *et al.* 2007; Singh *et al.* 2012; Zema *et al.* 2012; Mousavi and Shahsavari 2014; Demir Doğan and Sahin 2017; Cakmakci and Sahin 2021b).

Sulama suyu kısıntısının artmasıyla silajlık ot verimindeki azalmalar toprağa su girişinin azalmasına bağlı olarak bitki gelişiminin yavaşlaması ve bitkinin besin elementlerini yeterince alamamasıyla ilişkili olarak değerlendirilebilir. Ek 41 ve 42’de silajlık ot veriminin

evapotranspirasyon ve sulama suyu miktarıyla olan önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonları da bu durumu desteklemiştir. Benzer şekilde Mengi and Ozgurel (2008)'de silajlık mısırdaki sulama suyu miktarı ile verim arasında yüksek pozitif bir korelasyonun olduğunu belirtmişlerdir. Yolcu and Cetin (2015), silajlık ot veriminin artan sulama suyu miktarlarına ve azot artışına bağlı olarak önemli ölçüde arttığına dikkat çekmişlerdir. Kısıntılı sulama koşullarında fotosentetik olarak aktif radyasyon ve radyasyon kullanım verimliliğinin azalması nedeniyle de bitki büyümesi ve biyokütlesi azalmaktadır (Gomaa *et al.* 2021). Tablo 68'den de görüleceği gibi kısıntılı sulama uygulamasıyla birlikte iyi bir fotosentetik gösterge olan SPAD değerleri önemli seviyede azalmıştır. Ayrıca bitkinin diğer fizyolojik ve fotosentetik özellikleri de (yaprak oransal su, yaprak alan indeksi ve membran zararlanma) silajlık verimin yorumlanmasına ilave katkılar sağlayan parametreler arasındadır. Ek 41 ve 42'de silajlık ot veriminin SPAD, yaprak oransal su ve yaprak alan indeksiyle pozitif korelasyonlar, membran zararlanmayla ise negatif korelasyon gösterdiği ve bu ilişkilerin $p<0,01$ seviyesinde önemli olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Çamoğlu vd (2011) ile Karasu *et al.* (2015) tarafından da silajlık verim ile bitkinin fizyolojik parametreleri arasında yüksek pozitif korelasyonlar olduğu bildirilmiştir. Önceki çalışmalarda da atık suyla kısıntılı sulama koşullarında verim azalışlarının gerçekleştiğinden bahsedilmiştir (Tunç 2013; Demir Doğan 2016; Çakmakçı 2018). Ek olarak silajlık mısırdaki sulama suyu seviyesindeki azalmaya bağlı olarak önemli verim kayıplarının yaşandığı başka araştırmacılar tarafından da ifade edilmiştir (Payero *et al.* 2008; Okursoy 2009; Arıtürk ve Erdem 2011; Rusere *et al.* 2012; Djaman *et al.* 2013; Akşit 2020; Keten 2020).

Doğrudan ekim koşullarında silajlık ot veriminin geleneksel toprak işlemeye göre % 3 daha fazla olması, bitki kalıntı yönetimine bağlı olarak doğrudan ekim toprağının zengin besin element içeriğiyle (Tablo 23-42) ilişkili olarak değerlendirilebilir. Ayrıca doğrudan ekim uygulamasında daha yüksek toprak nem değeri (Şekil 43 ve 44) stresi azaltarak verime katkı sağlamış olabilir. Nouri *et al.* (2019), doğrudan ekimde bitkisel verim artışının yüksek organik madde ile azot katkısıyla ve ayrıca doğrudan ekimde toprak nem içeriğinin daha uzun süre korunmasına bağlı olarak besin elementlerinin bitkiler tarafından alınabilirliğinin artmasıyla ilişkili olduğunu açıklamışlardır. da Silva *et al.* (2020), doğrudan ekimin geleneksel toprak işlemeyle kıyaslandığında soya fasulyesinde % 6, sorgumda % 100 ve mısırdaki % 17 verim artışı sağladığını bildirmişlerdir. Çıkman vd (2017), doğrudan ekimin mısır ve buğdayda verim artışı sağlamanın yanı sıra maliyeti de düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca yapılan birçok çalışmada da doğrudan ekim koşullarında verim artışlarının sağlandığı bildirilmiştir (De Vita *et al.* 2007; He *et al.* 2011; Buah *et al.* 2017; Si *et al.* 2018; Naeem *et al.* 2021).

Tablo 48. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki silajlık ot verimleri (kg/da)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	6515,0±60,2	6967,6±12,7	5703,7±53,1	2650,5±49,8	5459,2±508,0 B**
	Doğrudan	6627,8±38,9	7195,1±55,7	5832,7±57,3	2726,3±67,0	5595,5±520,9 A
	Ortalama	6571,4±40,8 B**	7081,4±56,9 A	5768,2±45,3 C	2688,4±41,0 D	
2021	Geleneksel	6610,3±62,5	7565,7±79,0	6037,1±45,2	2831,5±29,7	5761,2±536,5 B**
	Doğrudan	6802,2±120,9	7832,2±45,7	6255,8±49,4	2934,6±48,5	5956,2±553,9 A
	Ortalama	6706,3±74,5 B**	7699,0±72,2 A	6146,5±57,3 C	2883,1±34,3 D	
2020 2021	Geleneksel	6562,7±13,6	7266,7±33,7	5870,4±49,2	2741,0±39,7	5610,2±521,4 B**
	Doğrudan	6715,0±79,7	7513,6±50,7	6044,2±12,5	2830,4±26,5	5775,8±536,6 A
	Ortalama	6638,9±49,7 B**	7390,2±61,6 A	5957,3±45,0 C	2785,7±29,2 D	

** : p<0,01

Kuru madde verimi

Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının kuru madde verimine etkisi p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 49 ve Ek 44). Kuru madde veriminin sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarına bağlı değişimleri silajlık ot verimi değişimlerine benzerlik göstermiş, silajlık ot ve kuru madde verimleri arasında önemli (p<0,01) pozitif korelasyonlar belirlenmiştir (Ek 41 ve 42).

İki yıllık ortalamada atık suyla tam sulamada temiz suyla tam sulamaya göre kuru madde veriminde % 10,1 artış belirlenmiştir. Alkhamisi *et al.* (2017), atık suyla sulanan mısır bitkilerinin temiz suyla sulamaya göre daha fazla kuru madde verimi sağladığını ifade etmişlerdir. Sulama suyu kısıntısının artan seviyesinden dolayı silajlık ot verimindeki azalışla kuru madde verimindeki azalış, kuru madde verimiyle sulama suyu miktarı ve evapotranspirasyon arasındaki önemli (p<0,01) pozitif korelasyonlarla da desteklenmiştir (Ek 41 ve 42). Benzer şekilde Yolcu and Cetin (2015) tarafından da silajlık mısırın su kullanımı ile kuru madde verimi arasında pozitif korelasyon olduğu belirtilmiştir. Çakmakçı (2018)'da, atık suyla sulamada kuru madde veriminin temiz suya göre daha yüksek olduğunu, sulama suyu kısıntısıyla kuru madde veriminin azaldığını ve sulama uygulamalarına bağlı olarak kuru madde verimindeki değişimlerin doğrudan silajlık ot verimiyle ilişkili olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Aydınsakir *et al.* (2013) ile Kale *et al.* (2018)'da silajlık mısırdaki su stresine bağlı olarak kuru madde veriminin azaldığını ifade etmişlerdir. Yetersiz toprak suyu koşullarında, mısırın metabolik aktivitesinin ve yapraklardaki klorofil içeriğinin azalmasıyla düşen fotosentetik seviyenin kuru madde verimini azaltabileceği Gomaa *et al.* (2021) tarafından belirtilmektedir. Bu kapsamda, Bouazzama *et al.* (2012)'da su kısıntısına bağlı olarak bitki büyümesinin olumsuz etkilendiğini ve yaprak alan indeksinin azalmasına bağlı olarak kuru madde veriminin azaldığı bildirilmiştir. Bu çalışmada da SPAD ve yaprak alan

indeksinin kuru madde verimiyle önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonlar gösterdiği görülmüştür (Ek 41 ve 42).

Birçok çalışmada doğrudan ekim veya azaltılmış toprak işleme uygulamalarının verim parametrelerine olumlu katkılarının olduğundan bahsedilmiştir (Shao *et al.* 2016, Gozubuyuk *et al.* 2020; Oral vd 2020). Bu çalışmada da doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeye göre iki yıllık ortalamada % 7,7 daha fazla kuru madde verimi sağlanmasının, doğrudan ekimde toprakta daha yüksek azot içeriğinin (Tablo 25) silajlık ot verimini artırmasıyla (Tablo 48) ilgili olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Farhad *et al.* (2011)'da toprakta azot artışının mısırdaki kuru madde verimini artırdığını bildirmişlerdir. Yolcu and Cetin (2015)'de artan azot dozlarının silajlık mısırdaki kuru madde birikimini desteklediğini belirtmişlerdir. Ancak yüksek azot dozlarında kuru madde veriminin azaldığı da farklı bir çalışmada ifade edilmiştir (Kale *et al.* 2018).

Tablo 49. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki kuru madde verimleri (kg/da)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	1896,9±22,8	2045,4±47,6	1555,1±44,6	614,6±10,4	1528,0±168,5 B**
	Doğrudan	2038,3±63,0	2171,6±38,0	1655,4±41,1	717,2±22,0	1645,6±172,4 A
	Ortalama	1967,6±43,5 B**	2108,5±39,2 A	1605,3±35,2 C	665,9±25,4 D	
2021	Geleneksel	1961,0±24,2	2238,3±60,1	1618,0±49,9	639,6±8,2	1614,2±183,0 B**
	Doğrudan	2125,2±29,1	2379,3±117,1	1695,4±50,0	759,7±18,7	1739,9±187,7 A
	Ortalama	2043,1±40,4 B**	2308,8±66,8 A	1656,7±38,3 C	699,7±24,5 D	
2020 2021	Geleneksel	1929,0±11,3	2141,8±27,8	1586,5±34,3	627,1±9,0	1571,1±175,0 B**
	Doğrudan	2081,8±43,6	2275,4±40,0	1675,4±23,1	738,4±12,9	1692,8±179,0 A
	Ortalama	2005,4±39,4 B**	2208,6±35,0 A	1631,0±27,1 C	682,8±25,9 D	

** : $p<0,01$

Bitkide kimyasal analizler

Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında iki deneme yılı ve iki yılın ortalamasına ait silajlık mısırın suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM), asit deterjan lif (ADF) ve nötr deterjan lif (NDF) değerleri, ham protein oranı, makro ile mikro element ve ağır metal içerikleri (N, P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni) Tablo 50-67’de ve varyans analiz sonuçları da Ek 45-62’de verilmiştir.

Suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM)

Toprak işleme-ekim uygulamalarının suda çözünür kuru madde miktarına (SÇKM) etkisi önemsiz olurken, sulama uygulamalarının etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 50 ve Ek 45). Atık suyla sulama SÇKM’yi artırırken, sulama suyu seviyesindeki azalışla SÇKM azalmıştır.

Atık suyla sulamada artan SÇKM’nin atık suyun zengin besin içeriğiyle (Tablo 11) ilişkili olduğu düşünülmektedir. Kovacs and Gyuricza (2012), toprakta bulunan azot ve potasyumun SÇKM’yi artırdığını bildirmişlerdir. Dolayısıyla, deneme sonrası atık suyla tam sulanan topraklarda daha yüksek toplam azot (Tablo 25) ve alınabilir potasyum içerikleri (Tablo 27) atık suyla tam sulama konusundaki daha yüksek SÇKM değerlerini desteklemiştir. Ayrıca atık suyla sulamada SÇKM’nin artışı atık suyun yüksek tuzluluk içeriğine (Tablo 11) bağlı olarak da değerlendirilebilir. Yurtseven *et al.* (2005), artan sulama suyu tuzluluğu etkisiyle SÇKM’nin arttığını belirtmişlerdir. Sulama suyu kısıntısının artmasıyla azalan SÇKM değerleri ise toprağa su girişinin azalmasından dolayı bitkinin topraktan yeterli besin elementi alamamasıyla ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Acar *et al.* (2008) ile Polat *et al.* (2008)’da sulama seviyesindeki azalmanın SÇKM’yi azalttığını bildirmişlerdir.

Tablo 50. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki suda çözünür kuru madde miktarları (SÇKM) (°Brix)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	13,2±0,1	14,2±0,3	13,0±0,1	11,8±0,1	13,1±0,3
	Doğrudan	13,1±0,2	14,4±0,3	13,0±0,2	11,6±0,1	13,0±0,3
	Ortalama	13,2±0,1 B**	14,3±0,2 A	13,0±0,1 B	11,7±0,1 C	
2021	Geleneksel	14,2±0,5	16,1±0,6	13,5±0,4	12,5±0,5	14,1±0,5
	Doğrudan	14,3±0,4	16,2±0,2	13,7±0,1	12,3±0,7	14,1±0,5
	Ortalama	14,3±0,3 B**	16,2±0,3 A	13,6±0,2 B	12,4±0,4 C	
2020 2021	Geleneksel	13,7±0,3	15,1±0,4	13,2±0,2	12,2±0,3	13,6±0,3
	Doğrudan	13,7±0,2	15,3±0,2	13,3±0,1	12,0±0,4	13,6±0,4
	Ortalama	13,7±0,2 B**	15,2±0,2 A	13,3±0,1 B	12,1±0,2 C	

** $p<0,01$

Asit deterjan lif ve nötr deterjan lif

Toprak işleme-ekim uygulamalarının asit deterjan lif (ADF) ve nötr deterjan lif (NDF) değerlerine etkisi önemsiz olurken, sulama uygulamalarının etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 51-52 ve Ek 46-47). ADF ve NDF değerleri tam sulama uygulamalarında atık suyla sulamada daha düşük bulunmuş, artan su kısıntısıyla da artış göstermiştir.

ADF ve NDF hayvan yemi olarak kullanılan ürünlerde sindirilebilirliği ve hayvanın enerji alımını değerlendirmeyi sağlayan önemli parametrelerdir. ADF sindirimi zor olan selüloz ve ligninleri, NDF ise hücre duvarının selüloz ve hemi-selüloz gibi lifli karbonhidratlarını, lignini, bir kısım proteinler ve silisyumu temsil etmektedir (Canbolat 2019). Yüksek ADF değerleri lif içeriğinin artmasına bağlı olarak kalite düşüşüne, yüksek NDF değerleri ise rumen dolgusuna bağlı olarak alımın azalması sonucunda düşük kuru madde etkisiyle yetersiz enerjiye neden olmaktadır (Keskin vd 2018). NRC (2001), iyi bir yem kalitesi açısından ADF ve NDF değerlerinin sırasıyla % 25,0 ve % 45,8'in altında olması gerektiğini ifade etmiştir. Bu durumda, yürütülen bu araştırmada sadece atık suyla tam sulama koşullarında ADF ile NDF oranlarının bu öneri değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Tam sulama uygulamalarında, temiz suya göre atık suyla sulamada ADF ve NDF oranları azalırken, azalan sulama suyu seviyesiyle ADF ile NDF oranları artış göstermiş olup, en yüksek ADF ile NDF oranları % 33 sulama suyu seviyesi konusunda elde edilmiştir. Ek 41 ve 42'de ADF ve NDF değerleriyle sulama suyu miktarı ve evapotranspirasyon arasında önemli ($p<0,01$) negatif korelasyon ilişkilerinin belirlendiği görülmektedir. Çakmakcı (2018)'da hem atık su hem de temiz suyla kısıntılı sulama koşullarında benzer korelasyon değerlerinin elde edildiğini ve sulama suyu miktarındaki azalışa bağlı olarak ADF ile NDF değerlerinin artış gösterdiğini bildirmiştir.

Atık suyla sulama koşullarında daha düşük ADF ve NDF oranları, atık suyla sulanan bitkilerin azot içeriklerinin daha yüksek olmasıyla (Tablo 54) ilişkili olarak değerlendirilmiştir. ADF ve NDF'nin bitki azot içeriğiyle olan negatif korelasyonları da bu durumu desteklemektedir (Ek 41 ve 42). Carpici *et al.* (2010), Kaplan *et al.* (2016) ile Kale *et al.* (2018)'da silajlık mısırdaki artan azot içeriğinin ADF ve NDF değerlerini azalttığını bildirmişlerdir. Safdarian *et al.* (2014), azot ile ADF ve NDF arasındaki ilişkiyi, azot alan bitkilerin fizyolojik olarak daha uzun süre aktif kalması ve böylece bitkinin olgunlaşmasının gecikmesine bağlı olarak ADF ile NDF'nin azalmasıyla açıklamışlardır. Aynı zamanda ADF ile NDF'nin bitki boyu, gövde çapı, silajlık ve kuru madde verimleriyle olan negatif korelasyonları da dikkate alındığında (Ek 41 ve 42), ADF ile NDF'nin artan bitki gelişimi ve verimle azalış gösterdiği de ifade edilebilir. Benzer şekilde Çağan vd (2018), fiğ bitkisinde

NDF ile bitki boyu ve ADF ile yeşil ot verimi arasında, Mut ve Erbaş Köse (2018), tritikale bitkisinde ADF ile bitki boyu ve hem ADF hem de NDF ile başak sayısı, bin tane ağırlığı ve tane verimleri arasında negatif korelasyonlar belirlemiştir.

Tablo 51. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki asit deterjan lif (ADF) değerleri (%)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	28,7±0,7 b*	25,5±0,3 c	28,0±0,3 b	31,5±0,3 a	28,4±0,7
	Doğrudan	28,7±0,5 b	25,3±0,8 c	31,1±0,8 a	31,5±0,8 a	29,2±0,8
	Ortalama	28,7±0,4 B**	25,4±0,4 C	29,6±0,8 B	31,5±0,4 A	
2021	Geleneksel	27,4±1,0	24,2±0,3	27,5±0,3	31,0±0,8	27,5±0,8
	Doğrudan	27,6±0,5	24,7±1,3	28,6±0,6	30,9±0,9	28,0±0,8
	Ortalama	27,5±0,5 B**	24,5±0,6 C	28,1±0,4 B	31,0±0,6 A	
2020 2021	Geleneksel	28,0±0,3	24,9±0,1	27,8±0,1	31,3±0,6	28,0±0,7
	Doğrudan	28,1±0,4	25,0±1,0	29,9±0,1	31,2±0,8	28,6±0,8
	Ortalama	28,1±0,2 B**	24,9±0,4 C	28,9±0,5 B	31,3±0,4 A	

** : p<0,01 * : p<0,05

Tablo 52. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki nötr deterjan lif (NDF) değerleri (%)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	47,4±0,9	41,8±1,2	46,9±0,6	50,8±1,2	46,7±1,1
	Doğrudan	48,7±1,0	41,4±0,8	47,8±0,8	51,0±1,2	47,2±1,1
	Ortalama	48,1±0,7 B**	41,6±0,7 C	47,4 B	50,9±0,8 A	
2021	Geleneksel	47,3±0,5	39,3±0,4	45,8±0,7	49,2±2,0	45,4±1,2
	Doğrudan	48,6±0,4	39,5±0,1	46,6±0,5	50,2±1,6	46,2±1,3
	Ortalama	48,0±0,4 AB**	39,4±0,2 C	46,2±0,4 B	49,7±1,2 A	
2020 2021	Geleneksel	47,3±0,6	40,5±0,8	46,4±0,1	50,0±0,4	46,1±1,1
	Doğrudan	48,7±0,6	40,4±0,5	47,2±0,6	50,6±1,1	46,7±1,2
	Ortalama	48,0±0,5 B**	40,5±0,4 C	46,8±0,3 B	50,3±0,5 A	

** : p<0,01

Ham protein oranı

Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının ham protein oranına etkisi p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 53 ve Ek 48). Atık suyla sulama ham protein oranını artırırken, sulama suyu kısıntısının artışıyla ham protein oranı azalmıştır. Ayrıca ham protein oranı doğrudan ekim uygulamasına göre geleneksel toprak işleme uygulamasında artmıştır.

Atık suyla sulamanın etkisiyle artış gösteren ham protein oranı atık suyun yüksek azot içeriğiyle (Tablo 11) açıklanabilir. Benzer şekilde Alkhamisi *et al.* (2011)'da atık suyla sulanan silajlık mısırdaki ham protein oranının temiz suyla sulamaya göre % 13 oranında artış gösterdiğini, bu artışın atık suyun yüksek miktarda azot içeriğiyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Yine azot miktarı artışıyla mısır tanesinde ham protein oranında artış olduğu

başka bir çalışmada da belirlenmiştir (Kale *et al.* 2018). Tarighaleslami *et al.* (2012) ile Aydinsakir *et al.* (2013), su stresinde ham protein oranının azaldığını ve bu durumun bitkinin yetersiz besin alımıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Geleneksel toprak işleme uygulamasında bitkinin daha fazla azot içeriği de (Tablo 54) ham protein oranının doğrudan ekim uygulamasına göre daha yüksek olmasını sağlamıştır.

Tablo 53. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki ham protein oranları (%)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	9,75±0,06	13,31±0,10	12,13±0,06	7,69±0,08	10,72±0,65 A**
	Doğrudan	8,75±0,23	12,19±0,02	11,13±0,24	7,00±0,08	9,77±0,61 B
	Ortalama	9,25±0,25 C**	12,75±0,27 A	11,63±0,25 B	7,35±0,16 D	
2021	Geleneksel	9,90±0,25	13,98±0,11	11,94±0,18	7,63±0,38	10,86±0,72 A**
	Doğrudan	9,00±0,43	12,81±0,22	11,27±0,18	6,88±0,06	9,99±0,69 B
	Ortalama	9,45±0,30 C**	13,40±0,28 A	11,61±0,19 B	7,26±0,24 D	
2020 2021	Geleneksel	9,82±0,15	13,66±0,10	12,03±0,12	7,67±0,22	10,80±0,68 A**
	Doğrudan	8,88±0,31	12,49±0,12	11,21±0,20	6,95±0,07	9,88±0,65 B
	Ortalama	9,35±0,26 C**	13,08±0,27 A	11,62±0,21 B	7,31±0,19 D	

** : p<0,01

Bitkide makro ile mikro element ve ağır metal içerikleri

Sulama uygulamalarının bitkide makro ile mikro element ve ağır metal içeriklerine etkisi p<0,01 seviyesinde önemli olurken, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi iki yıllık ortalama değerlere göre sadece N ve Cd içeriklerinde önemli bulunmuştur (Tablo 54-67 ve Ek 49-62). Bitkide ağır metal içerikleri, atık suyla sulama koşullarında Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Ni>Pb>Cd şeklindeki bir birikimle sonuçlanmıştır.

Temiz suya göre atık suyla sulamada artan bitki makro ile mikro element ve ağır metal içerikleri atık suyun kimyasal özelliği kapsamında (Tablo 11) ilişkili olarak değerlendirilmiştir Çakmakçı (2018)'da, atık suların temiz suyla kıyaslandığında farklı elementleri önemli seviyelerde içermelerinden dolayı atık suyla sulama koşullarında yetiştirilen silajlık mısırdaki N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr ve Ni içeriklerini temiz suyla sulamaya göre önemli miktarlarda yüksek belirlemiştir. Ayrıca birçok çalışmanın sonuçları da atık suların yüksek element içeriklerine bağlı olarak toprakta birikimle bitkide de makro ile mikro element ve ağır metal birikimini artırdığını ortaya koymuştur (Kiziloğlu *et al.* 2008; Masona *et al.* 2011; Avcı and Deveci 2013; Kobaişi *et al.* 2014; Ma *et al.* 2015; Erel *et al.* 2019; Nzediegwu *et al.* 2019; Hajhashemi *et al.* 2020; Fattahi *et al.* 2020; Ugulu *et al.* 2020; Nawaz *et al.* 2021). Ayrıca mısırın potansiyel bir akümülatör bitki olduğu dikkate alındığında (Lu *et*

al. 2015), atık suyla sulama koşullarında toprakta artan ağır metal içerikleri (Tablo 34-42) mısırın organlarında daha fazla ağır metal birikimine neden olmuştur.

Su kısıntısının artmasıyla bitkide azalan makro ile mikro element ve ağır metal içerikleri, toprağa su girişinin azalmasıyla toprakta azalan birikimin (Tablo 25-31 ve Tablo 34-42) bitkiye geçişleri de azaltılmasıyla açıklanabilir. Çakmakcı ve Şahin (2020)'de atık suyla sulama koşullarında silajlık mısırdaki su kısıntısının artmasına bağlı olarak bitkide makro-mikro element ve ağır metal içeriklerinin azalış gösterdiğini belirtmişlerdir. Güneş (2007) ise silajlık mısırdaki artan transpirasyonla bitkinin besin elementi alımında artışlar olduğunu bildirmiştir. Ayrıca su stresinin artmasına bağlı olarak bitkide makro ile mikro element ve ağır metal içeriklerinin azalış gösterdiği birçok çalışmada da belirlenmiştir (Kuslu *et al.* 2008; Simsek *et al.* 2011; Kuscü *et al.* 2014; Demir Dogan and Sahin 2017; Tunc and Sahin 2017).

Genel olarak toprak işleme-ekim uygulamalarına göre silajlık mısırdaki makro ile mikro element ve ağır metal içerikleri istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Ancak N içeriğinin geleneksel toprak işlemede daha yüksek bulunması, geleneksel toprak işlemede daha yüksek bitki su tüketimine bağlı olarak (Şekil 45) bitkinin N alımının artmasıyla ilişkili olarak değerlendirilebilir. Benzer olarak Guan *et al.* (2014) da doğrudan ekim uygulamasına göre geleneksel toprak işleme koşullarında kök gelişiminin daha fazla olduğunu, iyi bir kök gelişiminin de topraktan daha fazla su alımıyla N alımını artırabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca bir bitkinin makro ve mikro besin elementlerini absorbe etmesinde toprak havalanma durumunun yeterliliğinden de bahsedilmektedir (Abuarab *et al.* 2019). Toprak havalanması, köklerin büyümesini ve yayılmasını desteklemekte, böylece bitkinin sulama suyundan yararlanma potansiyelini artırmaktadır. Dolayısıyla, geleneksel toprak işlemede artan toprak havalanmasının N alımını artırmış olabileceği de ifade edilebilir.

Kobaissi *et al.* (2014), atık suyla sulanan mısırdaki yaprakta en çok biriken ağır metalin Cd olduğunu belirtmişlerdir. Bitkilerin dokularındaki Cd içeriklerinin çözültedeki Cd konsantrasyonları ile yüksek oranda ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Grant *et al.* 1998). Bu durumda geleneksel toprak işleme koşullarında yetiştirilen bitkilerde Cd içeriğinin daha yüksek bulunması, geleneksel toprak işlemede toprakta Cd birikiminin doğrudan ekime göre daha yüksek olmasıyla (Tablo 40) ve yine bu uygulamada daha fazla su tüketiminin (Şekil 45) Cd alımına katkısıyla ilişkili olarak değerlendirilebilir. Ayrıca bitkideki N içeriği Cd alımını desteklemektedir. Grant *et al.* (1998), N ve Cd arasındaki etkileşimi, toprak çözeltisinin inosmotik mukavemetinin artmasından kaynaklı olarak değerlendirmişlerdir. Dolayısıyla bu çalışmada da bitkide artan N alımının Cd alımını da desteklediği söylenebilir. Ek olarak, toprak işleme-ekim uygulamaları arasında element alımı farklılıklarının toprak işleme-ekim

uygulamasının değişimine bağlı olarak değişen kök gelişimiyle oluşabileceği veya toprak işleme-ekim uygulamasının toprak özelliklerine olası etkileri sonucunda elementler arasındaki etkileşimlerin farklılaşmasından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Sungur *et al.* (2014) tarafından bitki bünyesine element alımının toprak pH'sı, CaCO₃, organik madde ve KDK başta olmak üzere birçok toprak özelliğiyle yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Sing *et al.* (2009), toprakta ağır metal birikiminin toprak pH'sı ile negatif, organik karbon içeriği ile pozitif korelasyon gösterdiği, dolayısıyla bitki bünyesine ağır metal alımının toprak özelliklerine göre farklılık gösterebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca Kobaisi *et al.* (2014) da topraktaki Fe içeriğinin, ağır metallerin özellikle de Cd'nin alımını azalttığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla, doğrudan ekim koşullarında toprakta Fe içeriğinin geleneksel toprak işleme uygulamasına göre daha yüksek belirlenmiş olması da (Tablo 35) bu durumu desteklemiş olabilir.

Ozpınar and Ozpınar (2009), geleneksel ve azaltılmış toprak işleme koşullarının silajlık mısırın kök, gövde ve yapraklarında makro ile mikro element ve ağır metal içeriklerine etkilerini araştırmışlar ve toprak işlemenin etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Aksine Ozpınar (2016), geleneksel toprak işleme ile iki farklı azaltılmış toprak işleme uygulamasının silajlık mısırdaki besin element birikimine etkilerini incelediği çalışmada, S, Mg, Na ve Cu açısından farklılık olmadığını ancak N, K, Ca, B, Zn, Mn, Fe, Al, Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb ve Se açısından uygulamalar arasında önemli farklılıklar olduğunu bildirmiş olmakla birlikte bitkide makro ile mikro element ve ağır metal birikiminin toprak işleme-ekimden daha çok toprak ve bitki özellikleri ile iklim koşullarına bağlı olarak ortaya çıkabileceğine de ayrıca dikkat çekmiştir. Bu kapsamda toprak işleme-ekimin bitkide makro ile mikro element ve ağır metal birikimine etkilerinin irdelendiği diğer birçok çalışmada da farklı sonuçların elde edildiği görülmüştür (Westermann and Sojka 1996; Martin-Rueda *et al.* 2007; Loke *et al.* 2013; Jug *et al.* 2015).

Tablo 54. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki azot (N) içerikleri (%)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	1,56±0,01	2,13±0,02	1,94±0,01	1,23±0,01	1,72±0,10 A**
	Doğrudan	1,40±0,04	1,95±0,01	1,78±0,04	1,12±0,01	1,56±0,10 B
	Ortalama	1,48±0,04 C**	2,04±0,04 A	1,86±0,04 B	1,18±0,03 D	
2021	Geleneksel	1,58±0,04	2,24±0,02	1,91±0,03	1,22±0,06	1,74±0,12 A**
	Doğrudan	1,44±0,07	2,05±0,03	1,80±0,03	1,10±0,01	1,60±0,11 B
	Ortalama	1,51±0,05 C**	2,15±0,05 A	1,86±0,03 B	1,16±0,04 D	
2020 2021	Geleneksel	1,57±0,02	2,19±0,02	1,93±0,02	1,23±0,04	1,73±0,11 A**
	Doğrudan	1,42±0,05	2,00±0,02	1,79±0,03	1,11±0,01	1,58±0,10 B
	Ortalama	1,50±0,04 C**	2,10±0,04 A	1,86±0,03 B	1,17±0,03 D	

** : p<0,01

Tablo 55. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki fosfor (P) içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	0,42±0,02	0,80±0,03	0,74±0,03	0,45±0,02	0,60±0,05
	Doğrudan	0,38±0,02	0,79±0,03	0,70±0,03	0,44±0,02	0,58±0,05
	Ortalama	0,40±0,01 C**	0,80±0,02 A	0,72±0,02 B	0,45±0,01 C	
2021	Geleneksel	0,47±0,03	0,85±0,03	0,76±0,01	0,45±0,03	0,63±0,05
	Doğrudan	0,46±0,03	0,89±0,01	0,75±0,02	0,43±0,03	0,63±0,06
	Ortalama	0,47±0,02 C**	0,87±0,02 A	0,76±0,01 B	0,44±0,02 C	
2020 2021	Geleneksel	0,44±0,02	0,83±0,03	0,75±0,02	0,45±0,02	0,62±0,05
	Doğrudan	0,42±0,01	0,84±0,01	0,73±0,01	0,44±0,02	0,61±0,06
	Ortalama	0,43±0,01 C**	0,84±0,01 A	0,74±0,01 B	0,45±0,01 C	

** : p<0,01

Tablo 56. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Ca içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	0,69±0,04	0,82±0,01	0,70±0,03	0,30±0,02	0,63±0,06
	Doğrudan	0,70±0,02	0,84±0,02	0,71±0,03	0,32±0,04	0,64±0,06
	Ortalama	0,70±0,02 B**	0,83±0,01 A	0,71±0,02 B	0,31±0,02 C	
2021	Geleneksel	0,75±0,02	0,85±0,02	0,68±0,02	0,36±0,03	0,66±0,06
	Doğrudan	0,75±0,03	0,89±0,01	0,70±0,03	0,33±0,01	0,67±0,06
	Ortalama	0,75±0,02 B**	0,87±0,01 A	0,69±0,02 C	0,35±0,02 D	
2020 2021	Geleneksel	0,72±0,02	0,84±0,01	0,69±0,02	0,33±0,01	0,65±0,06
	Doğrudan	0,73±0,01	0,87±0,01	0,71±0,01	0,32±0,01	0,66±0,06
	Ortalama	0,73±0,01 B**	0,86±0,01 A	0,70±0,01 B	0,33±0,01 C	

** : p<0,01

Tablo 57. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Mg içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	0,66±0,03	0,92±0,02	0,82±0,02	0,28±0,02	0,67±0,07
	Doğrudan	0,61±0,01	0,91±0,03	0,86±0,03	0,27±0,01	0,66±0,08
	Ortalama	0,64±0,02 C**	0,92±0,02 A	0,84±0,02 B	0,28±0,01 D	
2021	Geleneksel	0,69±0,02	0,91±0,03	0,78±0,02	0,22±0,01	0,65±0,08
	Doğrudan	0,74±0,05	0,91±0,03	0,82±0,04	0,23±0,01	0,68±0,08
	Ortalama	0,72±0,02 C**	0,91±0,02 A	0,80±0,02 B	0,23±0,01 D	
2020 2021	Geleneksel	0,68±0,01	0,91±0,02	0,80±0,01	0,25±0,01	0,66±0,08
	Doğrudan	0,67±0,02	0,91±0,03	0,84±0,03	0,25±0,01	0,67±0,08
	Ortalama	0,68±0,01 C**	0,91±0,01 A	0,82±0,02 B	0,25±0,01 D	

**: p<0,01

Tablo 58. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Na içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	0,090±0,001	0,182±0,004	0,178±0,002	0,162±0,002	0,153±0,011B**
	Doğrudan	0,095±0,002	0,188±0,002	0,183±0,002	0,167±0,003	0,158±0,011 A
	Ortalama	0,093±0,002 C**	0,185±0,002 A	0,181±0,002 A	0,165±0,002 B	
2021	Geleneksel	0,075±0,005	0,173±0,006	0,160±0,003	0,155±0,004	0,141±0,012
	Doğrudan	0,078±0,002	0,172±0,005	0,167±0,005	0,152±0,004	0,142±0,011
	Ortalama	0,077±0,002 D**	0,173±0,003 A	0,164±0,003 B	0,154±0,003 C	
2020 2021	Geleneksel	0,083±0,002	0,178±0,002	0,169±0,001	0,159±0,001	0,147±0,011
	Doğrudan	0,087±0,002	0,180±0,002	0,175±0,003	0,160±0,001	0,151±0,011
	Ortalama	0,085±0,001 D**	0,179±0,001 A	0,172±0,002 B	0,160±0,001 C	

**: p<0,01

Tablo 59. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki K içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	1,27±0,02	1,68±0,02	1,49±0,03	0,83±0,01	1,32±0,10
	Doğrudan	1,24±0,04	1,69±0,02	1,40±0,03	0,87±0,04	1,30±0,09
	Ortalama	1,26±0,02 C**	1,69±0,01 A	1,45±0,03 B	0,85±0,02 D	
2021	Geleneksel	1,31±0,04	1,84±0,02	1,54±0,02	0,85±0,01	1,39±0,11
	Doğrudan	1,27±0,01	1,82±0,02	1,51±0,04	0,85±0,02	1,36±0,11
	Ortalama	1,29±0,02 C**	1,83±0,02 A	1,53±0,02 B	0,85±0,01 D	
2020 2021	Geleneksel	1,29±0,03	1,77±0,01	1,52±0,02	0,84±0,01	1,36±0,10
	Doğrudan	1,26±0,02	1,75±0,01	1,45±0,03	0,86±0,03	1,33±0,10
	Ortalama	1,28±0,02 C**	1,76±0,01 A	1,49±0,02 B	0,85±0,01 D	

**: p<0,01

Tablo 60. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Fe içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	143,5±2,9 d*	177,3±2,2 a	151,2±0,9 c	117,8±2,8 e	147,5±6,5
	Doğrudan	146,4±2,6 cd	178,2±1,7 a	160,2±2,8 b	112,6±1,5 e	149,4±7,3
	Ortalama	145,0±1,9 C**	177,8±1,2 A	155,7±2,4 B	115,2±1,8 D	
2021	Geleneksel	151,9±1,5	188,3±1,6	153,3±4,0	111,6±0,6	151,3±8,3
	Doğrudan	151,4±2,2	186,8±4,2	153,5±4,2	110,8±2,6	150,6±8,3
	Ortalama	151,7±1,2 B**	187,6±2,0 A	153,4±3,8 B	111,2±1,2 C	
2020 2021	Geleneksel	147,7±2,2	182,8±1,8	152,3±2,6	114,7±1,6	149,4±7,3
	Doğrudan	148,9±2,4	182,5±1,3	156,9±4,0	111,7±2,0	150,0±7,7
	Ortalama	148,3±1,5 C**	182,7±1,0 A	154,6±2,4 B	113,2±1,4 D	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 61. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Cu içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	3,24±0,05	8,00±0,03	6,11±0,03	2,03±0,03	4,85±0,71
	Doğrudan	3,27±0,04	7,97±0,04	6,11±0,03	2,02±0,04	4,84±0,70
	Ortalama	3,26±0,03 C**	7,99±0,02 A	6,11±0,02 B	2,03±0,02 D	
2021	Geleneksel	4,51±0,24	6,64±0,27	5,69±0,30	2,62±0,19	4,87±0,47
	Doğrudan	4,73±0,21	6,60±0,21	5,53±0,32	2,95±0,11	4,95±0,41
	Ortalama	4,62±0,15 C**	6,62±0,15 A	5,61±0,20 B	2,79±0,12 D	
2020 2021	Geleneksel	3,88±0,15	7,32±0,14	5,90±0,15	2,32±0,11	4,86±0,58
	Doğrudan	4,00±0,12	7,29±0,11	5,82±0,17	2,49±0,05	4,90±0,55
	Ortalama	3,94±0,09 C**	7,31±0,08 A	5,86±0,10 B	2,41±0,06 D	

**: p<0,01

Tablo 62. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Mn içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	24,6±0,6	58,2±0,9	44,9±1,9	12,7±0,9	35,1±5,3
	Doğrudan	24,5±0,4	57,9±1,3	46,7±1,1	13,1±1,1	35,6±5,4
	Ortalama	24,6±0,3 C**	58,1±0,7 A	45,8±1,1 B	12,9±0,6 D	
2021	Geleneksel	23,5±0,7	65,6±0,9	50,8±0,5	14,7±0,4	38,7±6,2
	Doğrudan	24,3±0,7	66,9±2,1	52,3±0,3	14,3±1,5	39,5±6,4
	Ortalama	23,9±0,5 C**	66,3±1,1 A	51,6±0,4 B	14,5±0,7 D	
2020 2021	Geleneksel	24,1±0,4	61,9±0,8	47,9±0,7	13,7±0,2	36,9±5,7
	Doğrudan	24,4±0,4	62,4±0,4	49,5±0,6	13,7±0,2	37,5±5,8
	Ortalama	24,3±0,3 C**	62,2±0,4 A	48,7±0,6 B	13,7±0,1 D	

**: p<0,01

Tablo 63. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Zn içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	24,4±0,5	37,4±0,8	33,6±0,6	19,4±0,6	28,7±2,2
	Doğrudan	23,8±0,8	36,6±1,3	32,0±0,8	18,8±0,7	27,8±2,1
	Ortalama	24,1±0,4 C**	37,0±0,7 A	32,8±0,6 B	19,1±0,4 D	
2021	Geleneksel	24,2±0,5	48,3±1,6	40,8±1,0	20,6±0,5	33,5±3,5
	Doğrudan	24,3±0,2	49,0±1,3	41,4±0,9	20,8±1,0	33,9±3,6
	Ortalama	24,3±0,2 C**	48,7±0,9 A	41,1±0,6 B	20,7±0,5 D	
2020 2021	Geleneksel	24,3±0,1	42,9±0,4	37,2±0,7	20,0±0,6	31,1±2,8
	Doğrudan	24,0±0,4	42,8±0,4	36,7±0,8	19,8±0,4	30,8±2,8
	Ortalama	24,2±0,2 C**	42,9±0,3 A	37,0±0,5 B	19,9±0,3 D	

**: p<0,01

Tablo 64. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Pb içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	0,047±0,003 e*	0,210±0,003 a	0,177±0,004 c	0,126±0,002 d	0,140±0,019
	Doğrudan	0,046±0,002 e	0,196±0,002 b	0,175±0,004 c	0,134±0,003 d	0,138±0,017
	Ortalama	0,047±0,002 D**	0,203±0,004 A	0,176±0,003 B	0,130±0,003 C	
2021	Geleneksel	0,062±0,002	0,406±0,006	0,307±0,003	0,198±0,008	0,243±0,039
	Doğrudan	0,060±0,004	0,412±0,005	0,304±0,003	0,196±0,011	0,243±0,039
	Ortalama	0,061±0,002 D**	0,409±0,004 A	0,306±0,002 B	0,197±0,006 C	
2020 2021	Geleneksel	0,055±0,001	0,308±0,004	0,242±0,003	0,162±0,004	0,192±0,029
	Doğrudan	0,053±0,001	0,304±0,003	0,239±0,003	0,165±0,007	0,190±0,028
	Ortalama	0,054±0,001 D**	0,306±0,003 A	0,241±0,002 B	0,164±0,04 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 65. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Cd içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	0,059±0,003	0,185±0,002	0,135±0,004	0,067±0,006	0,112±0,016 A**
	Doğrudan	0,038±0,002	0,176±0,002	0,122±0,005	0,054±0,005	0,098±0,017 B
	Ortalama	0,049±0,005 D**	0,181±0,003 A	0,129±0,004 B	0,061±0,005 C	
2021	Geleneksel	0,060±0,001	0,216±0,003	0,143±0,002	0,068±0,004	0,122±0,019 A*
	Doğrudan	0,057±0,004	0,211±0,003	0,136±0,003	0,061±0,003	0,116±0,019 B
	Ortalama	0,059±0,002 C**	0,214±0,002 A	0,140±0,002 B	0,065±0,003 C	
2020 2021	Geleneksel	0,060±0,002	0,201±0,001	0,139±0,002	0,068±0,001	0,117±0,017 A**
	Doğrudan	0,048±0,003	0,193±0,003	0,129±0,004	0,058±0,001	0,107±0,018 B
	Ortalama	0,054±0,003 D**	0,197±0,002 A	0,134±0,003 B	0,063±0,002 C	

**: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 66. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Cr içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	0,21±0,02	0,87±0,04	0,61±0,09	0,49±0,01	0,55±0,08
	Doğrudan	0,18±0,02	0,75±0,03	0,59±0,02	0,46±0,02	0,50±0,06
	Ortalama	0,20±0,01 D**	0,81±0,04 A	0,60±0,04 B	0,48±0,01 C	
2021	Geleneksel	0,19±0,01 e**	1,09±0,04 a	0,83±0,03 c	0,46±0,02 d	0,64±0,10
	Doğrudan	0,20±0,01 e	0,95±0,01 b	0,86±0,03 c	0,42±0,01 d	0,61±0,09
	Ortalama	0,20±0,01 D**	1,02±0,04 A	0,85±0,02 B	0,44±0,01 C	
2020 2021	Geleneksel	0,20±0,01	0,98±0,04	0,72±0,06	0,48±0,02	0,60±0,09
	Doğrudan	0,19±0,01	0,85±0,02	0,72±0,02	0,44±0,01	0,55±0,08
	Ortalama	0,20±0,01 D**	0,92±0,03 A	0,72±0,03 B	0,46±0,01 C	

**: p<0,01

Tablo 67. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki Ni içerikleri (mg/kg)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	0,042±0,002	0,209±0,005	0,167±0,004	0,094±0,001	0,128±0,019
	Doğrudan	0,039±0,005	0,214±0,003	0,167±0,003	0,096±0,003	0,129±0,020
	Ortalama	0,041±0,003 D**	0,212±0,003 A	0,167±0,002 B	0,095±0,001 C	
2021	Geleneksel	0,035±0,002	0,208±0,005	0,161±0,004	0,081±0,003	0,121±0,020
	Doğrudan	0,036±0,005	0,199±0,003	0,161±0,001	0,083±0,002	0,120±0,019
	Ortalama	0,036±0,003 D**	0,204±0,003 A	0,161±0,002 B	0,082±0,002 C	
2020 2021	Geleneksel	0,039±0,001	0,209±0,004	0,164±0,001	0,088±0,002	0,125±0,020
	Doğrudan	0,038±0,002	0,206±0,002	0,164±0,002	0,089±0,002	0,124±0,020
	Ortalama	0,039±0,001 D**	0,208±0,002 A	0,164±0,001 B	0,089±0,001 C	

**: p<0,01

Bitkide fizyolojik ölçümler

Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında iki deneme yılı ve iki yılın ortalamasına ait klorofil içeriği, yaprak alan indeksi, yaprak oransal su içeriği ve membran zararlanma değerleri Tablo 68-71’de ve varyans analiz sonuçları da Ek 63-66’da verilmiştir.

Klorofil içeriği (SPAD)

Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının klorofil içeriğine (SPAD) etkisi iki yılın ortalamasında $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 68 ve Ek 63). Atık suyla tam sulama uygulamasında en yüksek SPAD değerleri elde edilirken, artan su stresine bağlı olarak SPAD değerleri azalmıştır. Ayrıca doğrudan ekimde SPAD değerleri geleneksel toprak işlemeye göre daha yüksek olmuştur.

Atık suyla tam sulamada daha yüksek SPAD değerleri, atık suyun klorofil biyosentez hızını artırmasından kaynaklanmış olabilir (Abdel Latef and Sallam 2015). Bu durumda atık su uygulamalarında daha yüksek SPAD değerleri ile atık suyun Fe içeriğinin ilişkilendirilmesi dikkate alınabilmektedir (Rout and Sahoo 2015). Fe hem kloroplast oluşumunda hem de protein geliştirme aşamasında önemli bir besin elementidir (Yerli vd 2020). Bu çalışmada SPAD değerleriyle Fe arasındaki önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonlar da bu durumu desteklemektedir (Ek 41 ve 42). Ayrıca azot da klorofilin bir bileşenidir. Azot eksikliği yapraklardaki klorofil konsantrasyonunu azalttığı için atık suyun azot içeriği (Tablo 11) yapraklarda klorofil artışını destekleyen önemli faktörlerden biri olarak görülebilir (Liu *et al.* 2018). Bir C4 mahsulü olan mısır, diğer bitkilerle kıyaslandığında daha fazla fotosentetik aktiviteye sahip olduğundan, atık sudan yüksek düzeyde azotu metabolize edebilir (Alkhamisi *et al.* 2011). Genel olarak birçok çalışmada da atık suyla sulama koşullarında SPAD değerlerinin temiz suyla sulamaya göre daha yüksek bulunduğu belirlenmiştir (Alkhamisi *et al.* 2011; Petousi *et al.* 2015; Cakmakci and Sahin 2021b).

Bauerle *et al.* (2004), klorofil içeriğinin bitki su stresinin belirgin bir göstergesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu yaklaşım, bu çalışmada artan sulama suyu kısıntısıyla SPAD değerlerinin önemli derecede azalışını açıklamaktadır. Diğer birçok çalışmada da su stresinin artmasına bağlı olarak SPAD değerlerinin azaldığı tespitleri yapılmıştır (Soureshjani *et al.* 2019; Ketten 2020; Cakmakci and Sahin 2021b). Çamoğlu vd (2011)’de sulama suyu seviyesinin azalmasıyla SPAD değerlerinin azaldığını, Carroll *et al.* (2017)’da kuraklıkla yönetilen bitkilerin tam sulamayla yönetilen bitkilerden daha düşük klorofil içeriğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Doğrudan ekim uygulamasında SPAD değerlerinin geleneksel toprak işleme uygulamasına göre daha yüksek bulunması, doğrudan ekimde toprak neminin daha uzun süre korunması (Şekil 43 ve 44) ve toprakta artan azot içeriğiyle (Tablo 25) açıklanabilir. János (2010), toprak azot içeriği ile SPAD değerleri arasında yüksek korelasyon olduğunu belirtmiştir. Liu and Wiatrak (2011)'da doğrudan ekim uygulamasında silajlık mısırdaki azot gübrelemesinin SPAD değerlerini önemli düzeyde artırdığına dikkat çekmişlerdir.

Tablo 68. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki klorofil içerikleri (SPAD)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	47,6±0,4	49,8±0,3	39,7±0,3	33,4±0,6	42,6±2,0 B**
	Doğrudan	48,5±0,6	50,8±0,2	40,6±0,5	33,8±0,1	43,4±2,0 A
	Ortalama	48,1±0,4 B**	50,3±0,3 A	40,2±0,3 C	33,6±0,3 D	
2021	Geleneksel	48,9±0,7	51,9±0,3	40,2±0,3	33,8±0,6	43,7±2,2 B*
	Doğrudan	50,1±0,2	52,3±0,3	41,7±0,3	34,2±0,4	44,6±2,2 A
	Ortalama	49,5±0,4 B**	52,1±0,2 A	41,0±0,4 C	34,0±0,3 D	
2020 2021	Geleneksel	48,2±0,1	50,8±0,3	40,0±0,2	33,6±0,2	43,2±2,1 B**
	Doğrudan	49,3±0,3	51,5±0,2	41,1±0,1	34,0±0,3	44,0±2,1 A
	Ortalama	48,8±0,3 B**	51,2±0,2 A	40,6±0,3 C	33,8±0,2 D	

** : p<0,01 * : p<0,05

Yaprak alan indeksi

Toprak işleme-ekim uygulamalarının yaprak alan indeksine etkisi önemsiz olurken, sulama uygulamalarının etkisi ise p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 69 ve Ek 64). Temiz suyla sulamaya göre atık suyla sulama uygulamasında yaprak alan indeksi artarken, artan su stresine bağlı olarak yaprak alan indeksi azalmıştır.

Atık suyla sulamada artan yaprak alan indeksinin atık suyun toprağa azot katkısından (Tablo 25) kaynaklandığı düşünülmektedir. Alkhamisi *et al.* (2011), yaprak alan indeksinin bitkideki azot içeriğiyle yüksek oranda ilişkili olduğunu ve atık suyun azot içeriğinin fazla olmasının yaprak alanını artırdığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada da yaprak alan indeksi bitki azot içeriğiyle önemli (p<0,01) pozitif korelasyon göstermiştir (Ek 41 ve 42). Ayrıca birçok çalışmada da atık suyun yüksek besin içeriğinden dolayı yaprak alan indeksinin arttığı belirtilmiştir (Alkhamisi *et al.* 2011; Abegunrin *et al.* 2013; Çakmakçı 2018; Paudel *et al.* 2018).

Toprağa su girişinin azalmasına bağlı olarak bitkinin yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için gerekli olan besin elementlerini topraktan yeterince alamaması yaprak alan indeksini azaltmıştır. Öztürk (2015)'de, su kısıntısıyla bitkide metabolizma faaliyetlerinin yavaşlamasının fizyolojik oluşumları olumsuz etkilendiğini, artan stresle yaprak sayısı ve

yaprak alanında azalmaların olduğunu ve devamında da bitki büyümesinin tamamen durabileceğini bildirmiştir. Ayrıca birçok çalışmada da artan su stresiyle yaprak alan indeksinde azalmalar olduğuna değinilmiştir (Çamoğlu vd 2011; Bouazzama *et al.* 2012, Rusere *et al.* 2012; Djaman *et al.* 2013; Haffani *et al.* 2014; Tabatabaei *et al.* 2017; Çakmakcı 2018; Cakmakci and Sahin 2021b).

Yaprak alan indeksi, su ve besin noksanlığı ile (Cakmakci and Sahin 2021b) toksik etki gibi birçok faktörün etkisiyle değişse de, normal koşullarda yaprak alan indeksinde artış fotosentez ve verim artışı açısından önemlidir. Bu kapsamda yaprak alan indeksi önemli bir verim göstergesi olarak değerlendirilebilir (Kaya 2011). Bu çalışmada da yaprak alan indeksinin sulama suyu miktarı, evapotranspirasyon, SPAD, bitki boyu, gövde çapı, silajlık verim ve kuru madde verimiyle önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonlar göstermesi oldukça önemli bulunmuştur (Ek 41 ve 42).

Tablo 69. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki yaprak alan indeksleri

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	5,21±0,08	5,47±0,01	4,39±0,06	3,25±0,05	4,58±0,26
	Doğrudan	5,28±0,12	5,53±0,08	4,48±0,06	3,28±0,06	4,64±0,27
	Ortalama	5,25±0,07 B**	5,50±0,04 A	4,44±0,04 C	3,27±0,04 D	
2021	Geleneksel	5,03±0,04	5,32±0,08	4,01±0,16	3,05±0,04	4,35±0,27
	Doğrudan	5,15±0,09	5,27±0,16	4,03±0,15	3,07±0,03	4,38±0,27
	Ortalama	5,09±0,05 A**	5,30±0,08 A	4,02±0,10 B	3,06±0,02 C	
2020 2021	Geleneksel	5,12±0,02	5,39±0,04	4,20±0,10	3,15±0,01	4,47±0,27
	Doğrudan	5,21±0,10	5,40±0,12	4,26±0,08	3,18±0,04	4,51±0,27
	Ortalama	5,17±0,05 B**	5,40±0,06 A	4,23±0,06 C	3,17±0,02 D	

** $p<0,01$

Yaprak oransal su içeriği

Sulama uygulamalarının yaprak oransal su içeriğine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi iki yılın ortalamasında $p<0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 70 ve Ek 65). Temiz su ve atık suyla tam sulama uygulamalarında eşit sulama suyuna bağlı olarak (Tablo 12 ve 13) yaprak oransal su içeriği değerleri istatistiksel olarak benzer olurken, artan su kısıntısıyla yaprak oransal su içeriği azalmıştır. Ayrıca iki yılın ortalamasında yaprak oransal su içeriği doğrudan ekimde geleneksel toprak işlemeye göre daha yüksek bulunmuştur.

Yaprak oransal su içeriğinin artan sulama suyu seviyesi ve bitki su tüketimiyle artması, yaprak oransal su içeriğiyle sulama suyu miktarı ve evapotranspirasyon arasındaki önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonlarla da desteklenmiştir (Ek 41 ve 42). Benzer şekilde

Çakmakcı (2018)'da hem atık hem de temiz suyla sulama koşullarında artan su stresinin silajlık mısırdaki yaprak oransal su içeriğini azalttığını ve yaprak oransal su içeriğiyle sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi arasında önemli pozitif korelasyonların bulunduğunu belirtmiştir. Sampathkumar *et al.* (2014)'da, su stresinin mısırın yaprak oransal su içeriğini azalttığını ve yaprak oransal su içeriğinin yeterli seviyede sulanan mısır yapraklarında stresli olanlara göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Nilahyane *et al.* (2020)'da kuraklık stresinin etkisiyle silajlık mısırdaki yaprak oransal su içeriğinde önemli azalmalar olduğunu, Çamoğlu vd (2011)'de su stresinin mısır bitkisinin yaprak oransal su içeriğini önemli şekilde azalttığını belirtmişlerdir.

Tablo 70. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki yaprak oransal su içerikleri (%)

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	84,3±0,3	84,8±0,1	80,6±0,7	73,4±0,6	80,8±1,4
	Doğrudan	86,8±0,7	85,5±0,6	81,7±0,5	72,4±0,7	81,6±1,7
	Ortalama	85,6±0,6 A**	85,2±0,5 A	81,2±0,4 B	72,9±0,5 C	
2021	Geleneksel	86,9±0,2	85,7±1,5	81,3±0,8	74,1±0,7	82,0±1,6
	Doğrudan	88,9±0,4	87,2±1,3	82,3±1,2	72,9±0,5	82,8±1,9
	Ortalama	87,99±0,5 A**	86,5±1,0 A	81,8±0,7 B	73,5±0,5 C	
2020 2021	Geleneksel	85,6±0,1 b*	85,3±0,5 b	80,9±0,5 c	73,7±0,4 d	81,4±1,5 B*
	Doğrudan	87,9±0,5 a	86,4±0,9 ab	82,0±0,6 c	72,7±0,2 d	82,2±1,8 A
	Ortalama	86,7±0,6 A**	85,8±0,5 A	81,5±0,4 B	73,2±0,3 C	

** : p<0,01 * : p<0,05

Membran zararlanma

Toprak işleme-ekim uygulamalarının membran zararlanmaya etkisi önemsiz olurken, sulama uygulamalarının etkisi ise p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 71 ve Ek 66). Atık suyla sulamada temiz suyla sulamaya göre membran zararlanma artarken, bu artış kısıntılı sulama uygulamalarında daha fazla olmuştur.

Atık suyla sulamada membran zararlanmanın daha fazla olması atık suyun tuz içeriğine (Tablo 11) bağlı olarak değerlendirilmiştir. Benzer şekilde Yakıt ve Tuna (2006)'da tuzluluğun mısır bitkisinde membran zararlanmayı artırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca birçok farklı bitkide yapılan çalışmalarda da tuzluluğa bağlı olarak hücre membran sistemlerinin zarar gördüğüne değinilmiştir (Önal ve Üney 2016; Deveci ve Tuğrul 2017; Kabay ve Alp 2017).

Su yetersizliği, bitkide hücre zar yapısını etkileyerek işlevini bozmaktadır. Bu da membran zararlanmada önemli artışlara yol açmaktadır (Yildirim *et al.* 2021). Dolayısıyla, su stresinin membran zararlanmayı artırıcı etkisinin yaprak oransal su içeriğinin azalmasından

(Tablo 70) kaynaklandığı söylenebilir. Bu çalışmada membran zararlanma ile yaprak oransal su içeriği arasında belirlenmiş olan önemli ($p<0,01$) negatif korelasyonlar da bu durumu desteklemektedir (Ek 41 ve 42). Yine Öztürk (2015)'de, su stresi yaşayan bitkilerde yaprak oransal su içeriğinin azalmasıyla stomalarının kapandığını ve sonuçta artan yaprak sıcaklığıyla hücre membran sistemlerinin zarar gördüğünü ve hücre ölümlerinin gerçekleştiğini belirtmiştir.

Tablo 71. Farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında silajlık mısırdaki membran zararlanma değerleri

Yıl	Toprak işleme	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ortalama
2020	Geleneksel	13,1±0,2	15,5±0,4	20,8±0,3	33,3±0,5	20,7±2,4
	Doğrudan	14,1±0,1	15,9±0,1	21,4±0,4	32,7±0,4	21,1±2,2
	Ortalama	13,6±0,3 D**	15,7±0,2 C	21,1±0,3 B	33,0±0,3 A	
2021	Geleneksel	15,4±0,6	17,7±0,8	22,6±0,4	33,9±0,4	22,4±2,2
	Doğrudan	15,4±0,2	17,5±0,3	22,6±0,7	33,9±0,5	22,4±2,2
	Ortalama	15,4±0,3 D**	17,6±0,4 C	22,6±0,4 B	33,9±0,3 A	
2020 2021	Geleneksel	14,2±0,4	16,6±0,3	21,7±0,2	33,6±0,3	21,5±2,3
	Doğrudan	14,7±0,1	16,7±0,2	22,0±0,5	33,3±0,4	21,7±2,2
	Ortalama	14,5±0,2 D**	16,7±0,15 C	21,9±0,2 B	33,5±0,3 A	

** : $p<0,01$

CO₂ Salınımı ve Bağılantılı Sıcaklık ile Nem Ölçümleri

Denemenin her iki yılında toprak işleme-ekim döneminde, konulu sulama öncesinde ve konulu sulama döneminde farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında CO₂ ve H₂O salınımı değerleri ile farklı derinliklerde (5 cm, 10 cm ve 20 cm) ölçülen toprak sıcaklığı ve toprak nemi değerleri Tablo 75-73'de ve t testi ile varyans analiz sonuçları da Ek 67-82'de verilmiştir.

Denemenin ilk yılında toprak işleme-ekim döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının CO₂ salınımına etkisi $p < 0,01$ seviyesinde, konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının CO₂ salınımına etkisi $p < 0,05$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının CO₂ salınımına etkisi $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 72 ve Ek 67). Toprak işleme-ekim döneminde, doğrudan ekime göre (0,295 g/m²/h) geleneksel toprak işlemede (0,612 g/m²/h) 2 kattan daha fazla CO₂ salınımı gerçekleşmiştir. Konulu sulama öncesinde, geleneksel toprak işlemede CO₂ salınımı (0,290 g/m²/h) doğrudan ekime göre (0,250 g/m²/h) % 16,0 daha yüksek seviyede olmuştur. Konulu sulama döneminde, atık suyla tam sulamada CO₂ salınımı (0,521 g/m²/h), temiz suyla tam (0,341 g/m²/h) ve atık suyla % 67 (0,386 g/m²/h) ile % 33 (0,323 g/m²/h) seviyelerinde sulama uygulamalarına göre sırasıyla % 52,8, % 35,0 ve % 61,3 daha yüksek belirlenmiştir. Doğrudan ekime göre (0,377 g/m²/h) geleneksel toprak işlemede ise (0,408 g/m²/h) % 8,2 daha yüksek CO₂ salınımı bulunmuştur.

Denemenin ikinci yılında toprak işleme-ekim, konulu sulama öncesi ve konulu sulama dönemlerinde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının CO₂ salınımına etkisi $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 73 ve Ek 68). Toprak işleme-ekim döneminde, atık suyla tam sulamada (0,611 g/m²/h) temiz suyla tam (0,464 g/m²/h) ve atık suyla % 67 (0,507 g/m²/h) ile % 33 (0,338 g/m²/h) seviyelerinde sulama uygulamalarına göre CO₂ salınımı sırasıyla % 31,7, % 20,5 ve % 80,8 daha yüksek olmuştur. Doğrudan ekime göre (0,313 g/m²/h) geleneksel toprak işlemede ise (0,646 g/m²/h) salınım değeri 2 kattan daha yüksek seviyelerde gerçekleşmiştir. Konulu sulama öncesinde, atık suyla tam sulamada (0,321 g/m²/h) temiz suyla tam (0,265 g/m²/h) ve atık suyla % 67 (0,246 g/m²/h) ile % 33 (0,204) sulama seviyelerine göre CO₂ salınımı sırasıyla % 21,1, % 30,5 ve % 57,4 daha yüksek belirlenmiştir. Geleneksel toprak işleme uygulamasında ise (0,299 g/m²/h) doğrudan ekime göre (0,220 g/m²/h) % 36,0 daha yüksek CO₂ salınımı gerçekleşmiştir. Konulu sulama döneminde, atık suyla tam sulamada (0,511 g/m²/h), temiz suyla tam (0,302 g/m²/h) ve atık suyla % 67 (0,303 g/m²/h) ile % 33 (0,224 g/m²/h) sulama seviyelerine göre CO₂ salınımı sırasıyla % 69,2, % 68,7 ve % 128,1 daha yüksek olmuştur. Doğrudan ekime göre (0,291

g/m²/h) geleneksel toprak işlemede ise (0,379 g/m²/h) CO₂ salınımı % 30,2 daha yüksek bulunmuştur.

Denemenin ilk yılında toprak işleme-ekim döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının H₂O salınımına etkisi p<0,01 seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının H₂O salınımına etkisi p<0,05 seviyesinde, sulama uygulamalarının etkisi ise p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 72 ve Ek 69). Toprak işleme-ekim döneminde, geleneksel toprak işleme uygulamasında (20,3 g/m²/h) doğrudan ekime göre (17,2 g/m²/h) % 18,0 daha fazla H₂O salınımı gerçekleşmiştir. Konulu sulama öncesinde, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında H₂O salınımları sırasıyla 17,8 g/m²/h ve 17,2 g/m²/h olarak belirlenmiştir. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulama konularında H₂O salınımları benzerlik göstermiş, sırasıyla 20,4 g/m²/h ve 20,8 g/m²/h olarak belirlenmiştir. Atık suyla tam sulamada H₂O salınımı % 67 (19,1 g/m²/h) ve % 33 (18,2 g/m²/h) sulama seviyelerine göre sırasıyla % 6,8 ve % 12,1 daha yüksek bulunmuştur. Doğrudan ekim uygulamasına göre (19,3 g/m²/h) geleneksel toprak işlemede ise (19,9 g/m²/h) H₂O salınımı % 3,1 daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.

Denemenin ikinci yılında toprak işleme-ekim döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının H₂O salınımına etkisi p<0,01 seviyesinde önemli olurken, konulu sulama öncesi ve konulu sulama dönemlerinde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının H₂O salınımına etkisi p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 73 ve Ek 70). Toprak işleme-ekim döneminde, farklı sulama uygulamalarının H₂O salınım değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur. Doğrudan ekime göre (15,9 g/m²/h) geleneksel toprak işleme uygulamasında ise (19,7 g/m²/h) H₂O salınımı % 23,9 daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Konulu sulama öncesinde, atık suyla tam sulamada H₂O salınımı diğer sulama uygulamalarına göre 17,5 g/m²/h olarak daha yüksek belirlenmiştir. Temiz su ile tam ve atık su ile % 67 ile % 33 sulama seviyelerinde ise H₂O salınımları benzer değerler almıştır. Geleneksel toprak işleme uygulamasında ise (18,4 g/m²/h) doğrudan ekime göre (17,0 g/m²/h) % 8,2 daha fazla H₂O salınımı gerçekleşmiştir. Konulu sulama döneminde, ilk yıl olduğu gibi atık su (20,4 g/m²/h) ve temiz su ile tam sulamada (20,3 g/m²/h) H₂O salınımları benzer değerler almıştır. Atık suyla tam sulamada H₂O salınımı, % 67 (19,3 g/m²/h) ve % 33 (18,5 g/m²/h) sulama seviyelerine göre sırasıyla % 5,7 ve % 10,3 daha yüksek bulunmuştur. Geleneksel toprak işleme uygulamasında ise (20,0 g/m²/h) doğrudan ekime göre (19,3 g/m²/h) H₂O salınımı % 3,7 daha yüksek belirlenmiştir.

Üç farklı derinlikte (5 cm, 10 cm ve 20 cm) ölçülmüş toprak nem ve sıcaklık değerleri incelendiğinde, derinlikle nem değerlerinin arttığı, sıcaklık değerlerinin ise azaldığı görülmüştür (Tablo 72 ve 73). Denemenin ilk yılında toprak işleme-ekim ve konulu sulama öncesi dönemlerde toprak işleme-ekim uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 72 ve Ek 71). Toprak işleme-ekim döneminde, doğrudan ekim uygulamasında (% 22,4) 5 cm toprak derinliğindeki nem değeri geleneksel toprak işlemeye göre (% 20,3) % 10,0 daha fazla olmuştur. Konulu sulama öncesinde, doğrudan ekim uygulamasında (% 24,7) 5 cm toprak derinliğindeki nem değeri geleneksel toprak işlemeye göre (% 24,0) % 2,9 daha fazla seviyede bulunmuştur. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulama ve atık suyla % 67 ile % 33 seviyelerinde sulama uygulamalarında 5 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 27,0, % 26,6, % 26,3 ve % 25,9 olmuştur. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ise aynı değerler sırasıyla % 26,3 ve % 26,6 olarak belirlenmiştir.

Denemenin ikinci yılında toprak işleme-ekim döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde, konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde, sulama uygulamalarının etkisi ise $p<0,05$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 73 ve Ek 72). Toprak işleme-ekim döneminde, sulama uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki nem değerleri değişimleri % 23,6 ile % 24,0 aralığında yer almıştır. Geleneksel toprak işlemeye göre (% 23,4) doğrudan ekim uygulamasında ise (% 24,0) 5 cm toprak derinliğindeki nem değeri % 2,6 daha fazla olmuştur. Konulu sulama öncesinde, atık su ve temiz suyla tam sulama ve atık suyla % 67 ile % 33 seviyelerinde sulama uygulamalarında 5 cm toprak derinliğindeki nem değerleri % 27,1 ile % 27,3 aralığında belirlenmiştir. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ise aynı değerler sırasıyla % 27,3 ve % 27,7 olmuş, geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında 5 cm toprak derinliğindeki nem değeri % 1,4 daha yüksek bulunmuştur. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulamada aynı miktarda sulama suyu uygulanmış olmasına bağlı olarak 5 cm toprak derinliğindeki nem değerleri benzerlik göstermiş ve sırasıyla % 26,9 ve % 26,8 olmuştur. Atık suyla % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde ise aynı değerler sırasıyla % 26,3 ve % 25,9, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ise sırasıyla % 26,4 ve % 26,6 olarak belirlenmiştir.

Denemenin ilk yılında toprak işleme-ekim ve konulu sulama öncesi dönemlerde toprak işleme-ekim uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 72 ve Ek 73). Toprak işleme-ekim döneminde, geleneksel toprak işlemeye göre (% 21,9) doğrudan ekim uygulamasında (% 23,9) 10 cm toprak derinliğindeki nem değeri % 9,1 daha fazla olmuştur. Konulu sulama öncesinde, doğrudan ekim uygulamasında (% 26,1) 10 cm toprak derinliğindeki nem değeri geleneksel toprak işlemeye göre (% 25,5) % 2,1 daha fazla bulunmuştur. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulama ve atık suyla % 67 ile % 33 sulama seviyelerinde 10 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 28,1, % 27,9, % 27,2 ve % 26,5 olarak belirlenmiştir. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ise bu değerler sırasıyla % 27,3 ve % 27,5 olmuştur.

Denemenin ikinci yılında konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,05$ seviyesinde önemli olurken, toprak işleme-ekim ve konulu sulama dönemlerinde sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 73 ve Ek 74). Toprak işleme-ekim döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulama ve atık suyla % 67 ile % 33 seviyelerinde sulama uygulamalarında 10 cm toprak derinliğindeki nem değerleri % 24,2 ile % 24,9 arasında yer almıştır. Geleneksel toprak işlemeye göre (% 24,3) doğrudan ekim uygulamasında ise (% 24,7) 10 cm toprak derinliğindeki nem değeri % 1,7 daha fazla olmuştur. Konulu sulama öncesinde, sulama uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki nem değerleri % 27,7 ile % 27,9 aralığında bulunmuştur. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ise 10 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 27,7 ve % 27,9 olarak belirlenmiştir. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulamada 10 cm toprak derinliğindeki nem değeri % 27,8 ve atık suyla % 67 ile % 33 sulama seviyelerinde ise aynı değerler sırasıyla % 27,2 ve % 26,6 olarak bulunmuştur. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ilk yıla benzer şekilde 10 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 27,3 ve % 27,5 olarak belirlenmiştir.

Denemenin ilk yılında toprak işleme-ekim döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur

(Tablo 72 ve Ek 75). Toprak işleme-ekim döneminde, geleneksel toprak işlemeye göre (% 21,9) doğrudan ekim uygulamasında (% 25,7) 20 cm toprak derinliğindeki nem değeri % 17,0 daha fazla olmuştur. Konulu sulama öncesinde, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 26,9 ve 27,2 olarak belirlenmiştir. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulamada 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri benzer olup sırasıyla % 28,5 ve % 28,4, atık suyla % 67 ve % 33 seviyelerinde sulama uygulamalarında ise sırasıyla % 27,7 ve % 26,8 olarak belirlenmiştir. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında da bu değerler sırasıyla % 27,8 ve % 28,0 olmuştur.

Denemenin ikinci yılında toprak işleme-ekim döneminde sulama uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde, konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,05$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki nem değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 73 ve Ek 76). Toprak işleme-ekim döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulama uygulamalarında 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 25,0 ve % 25,1 olmuştur. Atık suyla % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde ise 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri benzer olup, % 25,4 olarak belirlenmiştir. Toprak işleme-ekim koşullarında, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim için 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 25,2 ve % 25,3 olarak bulunmuştur. Konulu sulama öncesinde, sulama uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri aynı (% 28,2) olmuştur. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ise 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 28,1 ve % 28,3 olarak belirlenmiştir. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulamada 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri benzer olmuş (% 28,2), atık suyla % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde ise aynı değerler sırasıyla % 27,6 ve % 27,1 olarak belirlenmiştir. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ise 20 cm toprak derinliğindeki nem değerleri sırasıyla % 27,7 ve % 27,8 olarak bulunmuştur.

Denemenin ilk yılında konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 72 ve Ek 77). Toprak işleme-ekim döneminde, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekimde uygulamalarında 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri benzer olmuş ve sırasıyla 24,9 °C ve 25,3 °C olarak belirlenmiştir. Konulu sulama öncesinde, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri sırasıyla 23,6 °C ve 22,9 °C olarak ölçülmüştür. Konulu sulama döneminde,

atık suyla tam sulamada 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri 29,3 °C olurken, temiz suyla tam ve atık suyla % 67 ile % 33 sulama seviyelerinde 28,8 °C ile 29,0 °C aralığında benzer değerler belirlenmiştir. Geleneksel toprak işleme uygulamasında ise (29,2 °C) doğrudan ekime göre (28,8 °C) 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 1,4 daha fazla bulunmuştur.

Denemenin ikinci yılında konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,05$ seviyesinde, sulama uygulamalarının etkisi ise $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 73 ve Ek 78). Toprak işleme-ekim döneminde, sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarında 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri 19,7 °C ile 19,9 °C aralığında belirlenmiştir. Konulu sulama öncesinde, farklı sulama uygulamalarında 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri 24,6 °C ile 24,8 °C aralığında yer almıştır. Doğrudan ekim uygulamasına göre (24,6 °C) geleneksel toprak işlemede ise (24,9 °C) 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 1,2 daha fazla seviyede bulunmuştur. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulamada ve atık suyla % 67 ile % 33 sulama seviyelerinde 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri sırasıyla 30,5 °C, 30,3 °C, 30,7 °C ve 30,8 °C olarak belirlenmiştir. Geleneksel toprak işleme uygulamasında ise (30,7 °C) bu değer doğrudan ekime göre (30,4 °C) % 1,0 daha fazla bulunmuştur.

Denemenin ilk yılında konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,05$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 72 ve Ek 79). Toprak işleme-ekim döneminde, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri sırasıyla 24,5 °C ve 24,2 °C olmuştur. Konulu sulama öncesinde, 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri geleneksel toprak işleme uygulamasında (23,5 °C) doğrudan ekime göre (22,9 °C) % 2,6 daha yüksek olarak belirlenmiştir. Konulu sulama döneminde, atık suyla tam sulamada 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri 29,1 °C olurken, temiz suyla tam ve atık suyla % 67 ile % 33 sulama seviyelerinde sırasıyla 28,6 °C, 28,8 °C ve 28,7 °C olarak yakın değerler ölçülmüştür. Geleneksel toprak işleme uygulamasında ise (29,0 °C) doğrudan ekime göre (28,6 °C) 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 1,4 daha fazla bulunmuştur.

Denemenin ikinci yılında toprak işleme-ekim döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,05$ seviyesinde,

konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 73 ve Ek 80). Toprak işleme-ekim döneminde, farklı sulama uygulamalarında 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri 19,2 °C ile 19,6 °C aralığında değişmiş, doğrudan ekim uygulamasına göre (19,3 °C) geleneksel toprak işlemede ise (19,6 °C) 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 1,6 daha yüksek olmuştur. Konulu sulama öncesinde sulama uygulamalarında 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri 24,3 °C ile 24,5 °C aralığında belirlenirken, doğrudan ekime göre (24,2 °C) geleneksel toprak işleme uygulamasında (24,6 °C) 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 1,7 daha fazla olmuştur. Konulu sulama döneminde, atık su ve temiz suyla tam sulamada 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri 30,1 C° olarak belirlenmiştir. Atık suyla % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde ise aynı değerler sırasıyla 30,4 °C ve 30,5 °C olarak ölçülmüştür. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında da bu dönemde 10 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri sırasıyla 30,4 °C ve 30,2 °C olarak belirlenmiştir.

Denemenin ilk yılında konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde sulama uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,05$ seviyesinde, toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisi ise $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 72 ve Ek 81). Toprak işleme-ekim döneminde, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri sırasıyla 23,4 °C ve 24,5 °C olarak belirlenmiştir. Konulu sulama öncesinde, geleneksel toprak işleme uygulamasında (23,5 °C) doğrudan ekime göre (22,6 °C) 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 4,0 daha yüksek olmuştur. Konulu sulama döneminde, atık suyla tam sulamada 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri 28,9 °C olurken, temiz suyla tam ve atık suyla % 67 ile % 33 sulama seviyelerinde benzer değerler elde edilmiş ve sırasıyla 28,4 °C, 28,7 °C ve 28,4 °C olarak belirlenmiştir. Geleneksel toprak işlemede uygulamasında ise (28,7 °C) doğrudan ekime göre (28,4 °C) 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 1,1 daha fazla olmuştur.

Denemenin ikinci yılında toprak işleme-ekim döneminde toprak işleme-ekim uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,05$ seviyesinde, sulama uygulamalarının etkisi ise $p<0,01$ seviyesinde, konulu sulama öncesinde toprak işleme-ekim uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,01$

seviyesinde önemli olurken, konulu sulama döneminde toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarının 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerlerine etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Tablo 73 ve Ek 82). Toprak işleme-ekim döneminde, temiz suyla tam sulamada 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri 18,7 °C olarak belirlenirken, atık suyla tam ve % 67 ile % 33 sulama seviyelerinde benzer değerler elde edilmiş ve bu değerler 19,4 °C ile 19,6 °C aralığında bulunmuştur. Geleneksel toprak işlemede ise (19,4 °C) doğrudan ekim uygulamasına göre (19,1 °C) 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 1,6 daha yüksek olmuştur. Konulu sulama öncesinde, sulama uygulamalarında 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri 24,1 °C ile 24,2 °C aralığında değişmiş, doğrudan ekim uygulamasına göre (23,9 °C) geleneksel toprak işlemede ise (24,3 °C) 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değeri % 1,7 daha fazla seviyede ölçülmüştür. Konulu sulama döneminde, tam sulama konularında 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri aynı (29,7 °C) olmuştur. Atık suyla % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde de birbirine benzer değerler (30,2 °C) elde edilmiştir. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında ise 20 cm toprak derinliğindeki sıcaklık değerleri sırasıyla 30,0 °C ve 29,9 °C olarak belirlenmiştir.

Denemenin 2020 ve 2021 yıllarında toprak işleme-ekim, konulu sulama öncesi ve konulu sulama dönemlerinde CO₂ salınımı ölçümleri sırasında kaydedilen hava sıcaklıkları Şekil 46'da verilmiştir. Denemenin iki yılında da en düşük hava sıcaklığı değerleri toprak işleme-ekim döneminde, en yüksek hava sıcaklığı değerleri ise konulu sulama döneminde kaydedilmiştir.

Tablo 72. 2020 yılında farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında CO₂ ve H₂O salınımları ile toprak nemi ve toprak sıcaklıkları

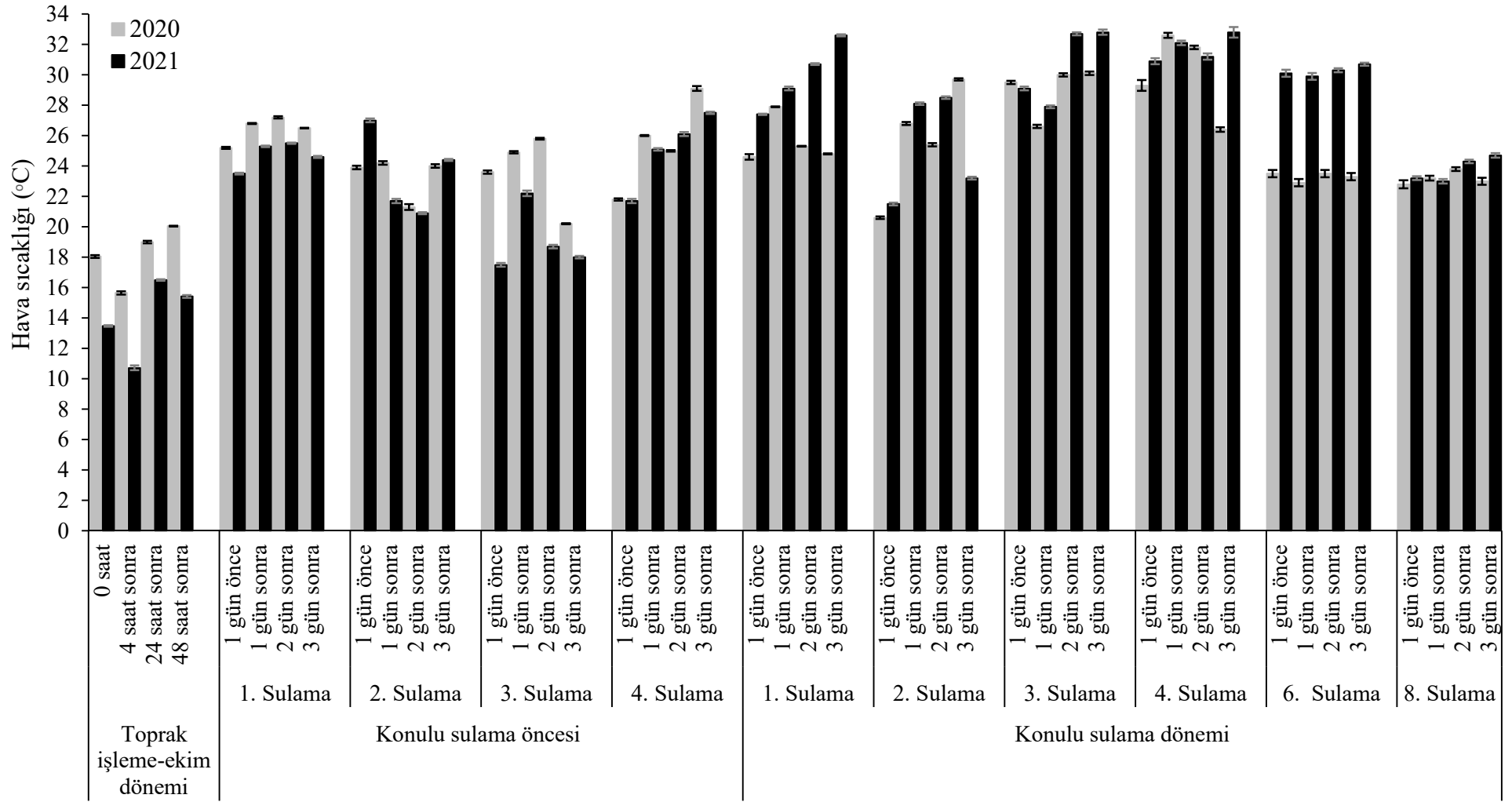
Parametre	Toprak işleme	Toprak işleme-ekim dönemi	Konulu sulama öncesi	Konulu sulama dönemi				Ort.
				TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	
CO ₂ (g/m ² /h)	G	0,612A**	0,290A*	0,354d*	0,550a	0,402c	0,328e	0,408A**
	D	0,295B	0,250B	0,327e	0,492b	0,371d	0,318e	0,377B
	Ort.	0,454	0,270	0,341C**	0,521A	0,386B	0,323D	
H ₂ O (g/m ² /h)	G	20,3A**	17,8	21,0	20,7	19,4	18,5	19,9A*
	D	17,2B	17,2	20,6	20,1	18,8	17,9	19,3B
	Ort.	18,8	17,5	20,8A**	20,4A	19,1B	18,2C	
Toprak nemi (Pv) 5 cm	G	20,3B**	24,0B**	26,5	26,9	26,2	25,7	26,3B**
	D	22,4A	24,7A	26,8	27,1	26,3	26,0	26,6A
	Ort.	21,4	24,4	26,6B**	27,0A	26,3C	25,9D	
Toprak nemi (Pv) 10 cm	G	21,9B**	25,5B*	27,7	27,9	27,1	26,4	27,3B**
	D	23,9A	26,1A	28,1	28,2	27,3	26,6	27,5A
	Ort.	22,9	25,8	27,9B**	28,1A	27,2C	26,5D	
Toprak nemi (Pv) 20 cm	G	21,9B**	26,9	28,3	28,4	27,7	26,6	27,8B**
	D	25,7A	27,2	28,5	28,6	27,7	27,0	28,0A
	Ort.	23,8	27,1	28,4A**	28,5A	27,7B	26,8C	
Toprak sıcaklığı (°C) 5 cm	G	24,9	23,6	28,9	29,5	29,2	29,2	29,2A**
	D	25,3	22,9	28,6	29,1	28,8	28,8	28,8B
	Ort.	25,1	23,3	28,8B**	29,3A	29,0B	29,0B	
Toprak sıcaklığı (°C) 10 cm	G	24,5	23,5A*	28,8	29,3	29,0	28,8	29,0A**
	D	24,2	22,9B	28,5	28,9	28,5	28,5	28,6B
	Ort.	24,4	23,2	28,6B**	29,1A	28,8B	28,7B	
Toprak sıcaklığı (°C) 20 cm	G	23,4	23,5A**	28,5	29,1	28,9	28,5	28,7A**
	D	24,5	22,6B	28,1	28,7	28,4	28,3	28,4B
	Ort.	24,0	23,1	28,4B*	28,9A	28,7B	28,4B	

G: Geleneksel toprak işleme, D: Doğrudan ekim, Ort.: Ortalama, **: p<0,01 *: p<0,05

Tablo 73. 2021 yılında farklı toprak işleme-ekim ve sulama uygulamalarında CO₂ ve H₂O salınımları ile toprak nemi ve toprak sıcaklıkları

Parametre	Toprak işleme	Toprak işleme-ekim dönemi					Konulu sulama öncesi					Konulu sulama dönemi				
		TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ort.	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ort.	TS % 100	AS % 100	AS % 67	AS % 33	Ort.
CO ₂ (g/m ² /h)	G	0,639	0,816	0,673	0,456	0,646A**	0,305	0,373	0,285	0,231	0,299A**	0,336	0,588	0,342	0,248	0,379A**
	D	0,289	0,405	0,340	0,220	0,313B	0,226	0,269	0,208	0,176	0,220B	0,267	0,434	0,265	0,200	0,291B
	Ort.	0,464C**	0,611A	0,507B	0,338D		0,265B**	0,321A	0,246C	0,204D		0,302B**	0,511A	0,303B	0,224C	
H ₂ O (g/m ² /h)	G	19,7	19,8	19,8	19,7	19,7A**	18,5	18,2	18,5	18,5	18,4A**	20,7	20,7	19,7	18,8	20,0A**
	D	15,9	15,9	15,9	16,1	15,9B	17,1	16,8	17,2	17,1	17,0B	20,0	20,0	19,0	18,1	19,3B
	Ort.	17,8	17,8	17,8	17,9		17,8A**	17,5B	17,9A	17,8A		20,3A**	20,4A	19,3B	18,5C	
Toprak nemi (Pv) 5 cm	G	23,1	23,2	23,7	23,4	23,4B**	26,9	27,1	27,0	27,3	27,1B**	26,7	26,8	26,2	25,9	26,4B**
	D	24,1	24,0	24,3	23,8	24,0A	27,2	27,4	27,2	27,4	27,3A	26,9	27,0	26,4	25,9	26,6A
	Ort.	23,6	23,6	24,0	23,6		27,1B*	27,3AB	27,1B	27,3A		26,8A**	26,9A	26,3B	25,9C	
Toprak nemi (Pv) 10 cm	G	24,3	23,9	24,5	24,6	24,3B**	27,8	27,8	27,6	27,6	27,7B*	27,7	27,7	27,1	26,5	27,3B**
	D	24,6	24,5	24,6	25,2	24,7A	28,0	27,8	27,8	27,9	27,9A	28,0	27,9	27,3	26,7	27,5A
	Ort.	24,5BC**	24,2C	24,5B	24,9A		27,9	27,8	27,7	27,7		27,8A**	27,8A	27,2B	26,6C	
Toprak nemi (Pv) 20 cm	G	25,0	25,0	25,2	25,4	25,2	28,1	28,2	28,1	28,0	28,1B*	28,1	28,1	27,5	27,0	27,7B**
	D	25,1	25,0	25,6	25,4	25,3	28,2	28,2	28,2	28,3	28,3A	28,3	28,3	27,7	27,1	27,8A
	Ort.	25,1B**	25,0B	25,4A	25,4A		28,2	28,2	28,2	28,2		28,2A**	28,2A	27,6B	27,1C	
Toprak sıcaklığı (°C) 5 cm	G	19,8	19,9	19,8	19,6	19,8	24,9	24,8	24,9	24,9	24,9A**	30,4	30,7	30,8	30,9	30,7A*
	D	19,6	19,8	19,7	20,1	19,8	24,5	24,4	24,7	24,7	24,6B	30,3	30,3	30,6	30,7	30,4B
	Ort.	19,7	19,8	19,7	19,9		24,7	24,6	24,8	24,8		30,3C**	30,5BC	30,7AB	30,8A	
Toprak sıcaklığı (°C) 10 cm	G	19,5	19,8	19,6	19,6	19,6A*	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6A**	30,2	30,3	30,6	30,7	30,4A**
	D	18,8	19,5	19,3	19,6	19,3B	24,2	24,1	24,4	24,4	24,2B	30,0	30,0	30,3	30,3	30,2B
	Ort.	19,2	19,6	19,5	19,6		24,4	24,3	24,5	24,5		30,1B**	30,1B	30,4A	30,5A	
Toprak sıcaklığı (°C) 20 cm	G	19,1b*	19,4ab	19,6ab	19,4ab	19,4A*	24,3	24,3	24,4	24,3	24,3A**	29,7	29,7	30,3	30,4	30,0A*
	D	18,2c	19,3ab	19,2ab	19,7a	19,1B	23,9	23,8	23,9	24,1	23,9B	29,7	29,6	30,0	30,1	29,9B
	Ort.	18,7B**	19,4A	19,4A	19,6A		24,1	24,1	24,2	24,2		29,7B**	29,7B	30,2A	30,2A	

G: Geleneksel toprak işleme, D: Doğrudan ekim, Ort.: Ortalama, **: p<0,01 *: p<0,05



Şekil 46. Deneme yıllarında CO₂ salınımı ölçümleri sırasında kaydedilen hava sıcaklıkları

Atık suyla sulamada CO₂ salınımının temiz suyla sulamaya göre daha yüksek bulunmuş olması atık suyun temiz suya göre daha fazla besin elementi içermesiyle (Tablo 11) açıklanabilir. Atık sularla topraklara kazandırılan organik karbon, CO₂ salınımının temel sebebi olarak değerlendirilebilir. Toprakta biriken organik karbon O₂ ile karşılaştıktan sonra CO₂ formuna dönüşerek topraktan atmosfere yayılmaktadır (Yerli vd 2019). Bu araştırmada atık suyla sulama koşullarında organik karbon miktarının temiz suyla sulamaya göre daha yüksek belirlenmiş olması da (Tablo 24) bu durumu desteklemektedir. Benzer şekilde Mahmoud *et al.* (2012)'da atık suyun içeriğinde bulunan besin maddelerinin sulamadan sonra mineralize olmasıyla CO₂ salınımının arttığını belirtmişlerdir. Rosso and Stenstrom (2008), Thangarajan *et al.* (2012) ile Kudal ve Müftüoğlu (2014)'da atık sularla yapılan sulamalarda toprakta organik karbon içeriğinde artışlar olduğunu bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada da atık suyla sulanan topraklarda organik karbon miktarının temiz suyla sulanan topraklara göre 1,2 kattan daha fazla olduğu belirlenmiştir (Biswas and Mojid 2018). Yine Fernández-Luqueño *et al.* (2010)'da, atık suyla sulanan topraklarda CO₂ salınımının temiz suyla sulanan topraklara göre 2,4 kat daha fazla olduğunu ve atık suyla sulama koşullarında CO₂ salınımındaki artışın toprak organik karbonundan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ayrıca Shakeel *et al.* (2021)'da, mısır yetiştiriciliğinde en fazla CO₂ salınımının ham atık su parsellerinden elde edildiğini belirtmişlerdir.

Atık sularla sulamada toprakta artan azot miktarı da CO₂ salınımındaki artışın başka bir nedeni olarak dikkate alınabilir. Yeterli nem koşullarında topraktaki azot oksidasyona uğrayarak topraktan CO₂ salınımlarını tetikleyebilmektedir (Yu *et al.* 2014). Bu araştırmada atık suyla sulanan topraklardaki toplam azot miktarının temiz suyla sulanan topraklara göre daha yüksek olması da (Tablo 25) bu yaklaşımı desteklemektedir. Toprakta bulunan azot ve organik karbonun birbirleriyle olan yüksek ilişkisi (Zang *et al.* 2016), organik karbon ve azot oranının (C/N) önemini ortaya çıkarmaktadır. Topraktaki C/N oranı organik maddenin oksidasyon sürecini ve miktarını değiştirerek (Sainju *et al.* 2002), CO₂ salınımını önemli oranda değiştirebilmektedir (Al-Kaisi and Yin 2005). Bu kapsamda, Xue *et al.* (2012), azot gübrelemesinin yapıldığı ve yapılmadığı koşullarda farklı seviyelerde temiz suyla seyreltilmiş atık suyun CO₂ salınımına etkilerini araştırdıkları çalışmada, azot uygulanmış koşulda % 40, % 60 ve % 80 temiz suyla seyreltilmiş atık sularla sulanan topraklardan CO₂ salınımının 2,40 mg/kg ile 3,66 mg/kg aralığında, azotun uygulanmadığı koşulda ise aynı seyreltme oranları için salınım değerlerinin azalarak 1,47 mg/kg ile 2,26 mg/kg aralığında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Mikrobiyal aktiviteyi etkileyen faktörler arasında toprak nemi ve sıcaklığı ilk sıralarda gelmektedir (Kim *et al.* 2012). CO₂ salınımı toprak havalanmasının kısıtlandığı seviyeye kadar toprak nemi artışıyla artarken, nemin daha fazla artışıyla O₂ miktarının azalmasının mikrobiyal aktiviteyi azaltmasıyla CO₂ salınımı azalmaktadır (Elik ve Sakin 2021). Aksine Hou *et al.* (2016), toprak gözeneklerinin tamamen suyla dolduğu koşullarda CO₂ salınımlarının en yüksek seviyeye ulaştığına dikkat çekmişlerdir. Toprak ile kök solunumlarıyla ortaya çıkmış ve boşluklarda depolanmış CO₂'in topraktan dışarı çıkması bu durumun sebebi olarak görülebilir. Bu çalışmada, uygulanan sulama programında toprak nemi tarla kapasitesini aşmadığından tam sulama koşullarında bile havalanmayı sağlayan gözeneklerin suyla doldurulması söz konusu olmamıştır. Dolayısıyla tam sulama koşullarında CO₂ salınımının, topraktaki nem ve sıcaklık artışına bağlı olarak artan mikrobiyal aktiviteyle organik maddenin mineralizasyonun artmasından kaynaklı olarak arttığı düşünülmektedir. CO₂ salınımıyla toprak nemi ve sıcaklığı arasındaki önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonlarda bu durumu desteklemiştir (Ek 83). Benzer şekilde Jabro *et al.* (2008), toprak nemi artışıyla artan mikrobiyal aktivitenin organik maddenin ayrışmasına ve böylece CO₂ salınımının artmasına neden olduğunu, Entry *et al.* (2008)'da toprağa düzenli su sağlanmasıyla bitki köklerinden ve ölü bitki artıklarından toprağa daha fazla organik karbon kazanımıyla salınımların arttığını ifade etmişlerdir. Li *et al.* (2010), sulama suyu miktarının toprak biyolojisini etkileyerek topraktaki organik madde dinamiklerini değiştirebildiğine dikkat çekmişlerdir. Böylece kısıntılı sulama koşullarında salınım değerlerinin azalmasının da toprağa su girişinin azalmasına bağlı olarak organik karbon girişinin azalması (Tablo 24) ve dolayısıyla mikroorganizma faaliyetinin yavaşlamasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Mancinelli *et al.* (2015), % 100, % 75 ve % 50 sulama suyu seviyelerinde CO₂ salınımını inceledikleri çalışmada, sulama miktarının azalmasıyla topraktan CO₂ salınımının da azaldığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde Sinaie *et al.* (2019), azalan sulama suyu miktarıyla mikroorganizma faaliyetlerinin de yavaşladığını, buna bağlı olarak da CO₂ salınımlarının azaldığını ve en düşük salınım değerinin % 50 su kısıntısı uygulanan konudan elde edildiğini bildirmişlerdir. Yine birçok araştırmacı da tam sulama koşullarında CO₂ salınımlarının arttığına, kısıntılı sulama uygulamalarına bağlı olarak da CO₂ salınımlarının azaldığına (Şenyiğit ve Akbolat 2010; Zornoza *et al.* 2016; Zhong *et al.* 2021) ve atık suyla sulama koşullarında ise daha yüksek salınım değerlerine ulaşıldığına dikkat çekmişlerdir (Nosalewicz *et al.* 2013; Gonzalez-Mendez *et al.* 2015; Shakeel *et al.* 2021).

Araştırmanın ikinci yılında, toprak işleme-ekim ve konulu sulama öncesi dönemlerde, sulama uygulamalarında CO₂ salınımı farklılıkları, bir önceki yıl temiz suyla tam ve atık suyla farklı seviyelerdeki sulamaların topraklara sağlamış olduğu organik karbon desteğiyle

açıklanabilir. Araştırmanın ilk yılının sonunda topraklarda organik karbon dağılımının sırasıyla atık suyla tam sulama, atık suyla % 67 seviyesinde sulama, temiz suyla tam sulama ve atık suyla % 33 seviyesinde sulama uygulamalarından elde edilmiş olması da bu durumu desteklemiştir (Tablo 24).

Toprak işlemeyle toprağın biyolojik aktivitesinin O₂ girişiyle uyarılarak ve böylece organik maddenin oksidasyon süreci hızlandırılarak da CO₂ salınımlarında artış meydana gelmektedir (Yerli vd 2019). Dolayısıyla, doğrudan ekim uygulamasına göre geleneksel toprak işleme uygulamasında CO₂ salınımının daha yüksek bulunması yoğun toprak işlemenin ortama O₂ girişini artırması ve dolayısıyla organik maddenin oksidasyon sürecini hızlandırmasıyla ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Altikat *et al.* (2012)'da artan toprak işleme yoğunluğunun toprağı ayrıştırıp havalanmasını iyileştirerek topraktaki organik karbonunun ayrışmasını artırdığını belirtmişlerdir. Six *et al.* (2004), organik karbonun toprağa herhangi bir müdahale olmadığı sürece yüzyıllar boyunca stabil kalarak korunabileceğini vurgulamışlardır. Bu nedenle toprak karbonunun ve toprak mikrobiyal popülasyonlarının korunmasını sağlayan azaltılmış toprak işleme uygulamalarının CO₂ salınımlarının azaltılmasında etkili bir toprak işleme pratiği olduğu ifade edilmiştir (Altikat *et al.* 2012). Aynı zamanda koruma amaçlı toprak işleme uygulamalarında toprak yüzeyinde bırakılan bitki artıklarının hem salınımları azalttığı hem de toprakta organik karbon birikimine katkı sağladığı da bildirilmiştir (Sharif *et al.* 2018). Bu durumda geleneksel toprak işlemede fiziksel müdahaleyle kalıntı ve artıkların parçalanmasının mikrobiyal faaliyetlerin hızını artırmasıyla da salınım değerlerinin arttığı düşünülebilir. Benzer şekilde Vurarak ve Bilgili (2015) toprak işlemenin hem toprağın O₂ seviyesini artırarak hem de yüzey artıklarının toprak partikülleriyle daha fazla temasını sağlayarak mikrobiyal faaliyetler için uygun bir ortam oluşturduğuna, De Oliveira Silva *et al.* (2019) toprak işlemede toprağa uygulanan fiziksel müdahalelerle toprak yapısının değişmesine bağlı olarak CO₂ salınımlarının arttığına vurgu yapmışlardır. Talantimur (2014)'da toprak işleme derinliğiyle CO₂ salınımı arasında güçlü bir ilişki olduğunu ifade etmiştir. Dolayısıyla, minimum toprak işleme veya doğrudan ekim uygulamaları toprakta karbon korunumunu teşvik ederek toprak verimliliğini artırmanın yanı sıra CO₂ salınımlarının azaltılmasına da önemli katkılar sağlamaktadır (Koçyiğit 2008).

Doğrudan ekim uygulamasında daha düşük CO₂ salınımının başka bir nedeni olarak da geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında toprak sıkışıklığının daha fazla (Tablo 17) ve dolayısıyla porozitenin daha düşük olması (Tablo 18) gösterilebilir. Artan toprak sıkışıklığı veya azalan poroziteyle toprağa O₂ girişinin azalmasıyla mineralizasyonun azaldığı düşünülmektedir. Barut *et al.* (2012), doğrudan ekim uygulamasında toprağın artan

kütle yoğunluğuna bağlı olarak havalanmanın azalmasıyla toprakta organik karbon tutulumunun arttığını ve böylece CO₂ salınımlarının azaldığını bildirmişlerdir. Buragiene *et al.* (2019), doğrudan ekim koşullarında toprak porozitesindeki azalışla CO₂ salınımlarının da azaldığını belirtmişlerdir. Feng *et al.* (2003) ile Gosai *et al.* (2010), doğrudan ekim uygulamasında porozite etkisine bağlı olarak CO₂ salınımının diğer toprak işleme uygulamalarına göre azaldığını ifade etmişlerdir. Abdalla *et al.* (2016) ile Nyambo *et al.* (2020), yoğun toprak işlemenin toprak kümelerini bozduğunu, toprak yapısını olumsuz etkilediğini, toprakta havalanmayı artırarak mikrobiyal faaliyetlerin hızının artması sonucunda CO₂ salınımı yoluyla topraktan karbon kayıplarının artırdığını bildirmişlerdir. Akbolat *et al.* (2016), geleneksel toprak işlemede CO₂ salınımının doğrudan ekim uygulamasına göre % 44 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca birçok araştırmada da yoğun toprak işleme uygulamalarında daha fazla salınımların oluştuğu ifade edilmiştir (Akbolat vd 2007; Jabro *et al.* 2008; Talantimur 2014; Bilandžija *et al.* 2016; Buragiene *et al.* 2019).

Sulamadan sonra H₂O salınımlarının artmasının toprakta nem artışından ve porların suyla dolmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla kısıntılı sulama uygulamalarına göre tam sulama uygulamalarında daha yüksek H₂O salınımları, tam sulama koşullarında topraktaki porların daha fazla su içermesiyle (Tablo 72 ve 73) ilişkili olarak değerlendirilebilir. H₂O salınımlarıyla farklı derinliklerde (5 cm, 10 cm ve 20 cm) toprak nemleri arasında belirlenmiş olan önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonlarda bu durumu desteklemektedir (Ek 83). Benzer şekilde Akbolat and Senyigit (2012), artan sulama suyu kısıntısıyla gözeneklerin suyla doluluk oranından kaynaklı olarak H₂O salınımlarının azaldığına dikkat çekmişlerdir. Diğer bir çalışmada da Şenyigit ve Akbolat (2010), damla, mikro ve yüzey sulama yöntemlerinde sırasıyla 42 mm, 127 mm ve yine 127 mm sulama yapılması sonucunda H₂O salınımının en düşük damla sulama yönteminde olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca hava sıcaklığından etkilenen toprak sıcaklığı ve doğrudan H₂O salınımına etkide bulunan hava sıcaklığı da topraktan olan buharlaşma üzerinde önemli etkiye ($p<0,01$) sahip olmuştur (Ek 83).

Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında daha yüksek toprak nem değerleri belirlenmiş olmasına rağmen (Tablo 72 ve 73) daha düşük H₂O salınımları toprak yüzeyinde bırakılan bitki kalıntılarının buharlaşmayı azaltmasıyla bağlantılı olarak değerlendirilebilir. Doğrudan ekim uygulamasında daha düşük toprak sıcaklıkları da (Tablo 72 ve 73) buharlaşmada azalmayı destekleyebilecek bir diğer faktör olarak görülebilir. Yine doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeye göre daha az sulama suyu uygulamaları da (Tablo 12 ve 13) H₂O salınımlarındaki azalışa katkı sağlamış olabilir. Akbolat

et al. (2016), geleneksel toprak işleme uygulamasında H₂O salınımının doğrudan ekime göre % 25 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca birçok araştırmacı da koruma amaçlı toprak işleme uygulamalarının toprakta nem tutulumunu artırdığını ve toprak yüzeyindeki kalıntıların yüzeyi örtmesine bağlı olarak buharlaşmanın azaldığını bildirmişlerdir (Mkoga *et al.* 2010; Gözübüyük vd 2012b; Mishra and Kushwaha 2016; Gozubuyuk *et al.* 2020; Burke *et al.* 2021).

Tam sulamaya göre kısıntılı sulama uygulamalarında toprakta nem seviyelerinin daha düşük olması sulama suyu miktarıyla ilgilidir. Atık su ve temiz suyla tam sulama uygulamalarında aynı miktarda sulama suyu uygulanmış olmasına rağmen (Tablo 12 ve 13), atık suyla sulamada 5 ve 10 cm toprak derinliğindeki nem değerlerinin daha yüksek olması atık suyla sulamanın toprakta su tutulumunu artırmasıyla açıklanabilir. Atık suyla tam sulamada H₂O salınımının daha düşük olması da bu durumu desteklemektedir (Tablo 72 ve 73).

Doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeye göre daha yüksek toprak nemi değerleri, doğrudan ekimde toprağa minimum müdahalenin O₂ girişini ve toprak sıcaklık değişimini sınırlandırmasıyla ve ayrıca toprak yüzeyindeki kalıntıların buharlaşmayı önleyici etkisiyle ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Doğrudan ekim uygulamasında H₂O salınımlarının daha düşük seviyelerde gerçekleşmesi bu durumu desteklemektedir (Tablo 72 ve 73). Mitchell *et al.* (2012), doğrudan ekim uygulamasında toprak yüzeyinin bitki artıkları ve kalıntılarıyla örtülmesine bağlı olarak toprakta nem korunumunun % 13 arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca geleneksel toprak işleme uygulamasında toprakta nem miktarının daha düşük olması yoğun toprak işleme sonucunda toprakta suyun tutulumunu sağlayan mikro gözeneklerin azalmasıyla ilişkili olarak da değerlendirilebilir. Strudley *et al.* (2008) ile Subbulakshmi *et al.* (2009), doğrudan ekim uygulamasında toprak yüzeyinde bırakılan kalıntıların toprakta mikro gözenekliliği artırdığını ve toprağın yüzey ile alt tabakası arasında gözenek bağlantılarını geliştirmesine bağlı olarak toprakta suyun korunmasına katkı sağlandığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Gozubuyuk *et al.* (2014)'da doğrudan ekimde mikro gözeneklerin arttığını ve makro gözeneklerin azaldığını bunun sonucunda da doğrudan ekimin daha uzun süre nem korunumu sağlayan bir uygulama olduğunu bildirmişlerdir.

Sulamadan sonra toprak sıcaklığının düşmesi toprağa su girişinin serinletici etkisinden, kısıntılı sulama uygulamalarında ise toprağa daha az miktarda su girişinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde Mancinelli *et al.* (2015) toprağa su girişinin toprak nemini artırmasıyla beraber toprakta serinletici bir etki oluşturabileceğini bildirmişlerdir. Atık suyla sulama uygulamasında toprak sıcaklığındaki artış atık suyun

toprağa sağlamış olduğu organik maddenin oksidasyonunun bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Yerli and Sahin (2021), toprağa karıştırılan koyun ve tavuk gübresinin artan miktarıyla toprak sıcaklığının arttığını ve bu artışın azot ve organik maddenin ayrışma sürecinde gerçekleşen kimyasal reaksiyon etkisiyle ilişkili olduğunu vurgulamışlardır. Yine Simeckova *et al.* (2016)'da, gübre uygulamalarının toprak sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ve bu etkinin toprağın farklı derinliklerine göre de değişiklik gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca hava sıcaklığı da, özellikle yüzey toprak sıcaklığını önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Hava sıcaklığının toprağın 5 cm, 10 cm ve 20 cm derinliklerindeki sıcaklık değerleriyle olan önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonları da bu durumu desteklemektedir (Ek 83).

Geleneksel toprak işleme uygulamasında toprak sıcaklığının doğrudan ekim uygulamasına göre daha yüksek olması, doğrudan ekim uygulamasına göre geleneksel toprak işlemede daha erken nem kayıplarının bir sonucu olarak (Tablo 72 ve 73) boşluklardaki hava geçirgenliğinin artmasıyla ilişkili değerlendirilmiştir. Ayrıca doğrudan ekimde toprak yüzeyinde bırakılan kalıntıların toprak sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu da ifade edilebilir. De Oliveira Silva *et al.* (2019), toprak işleme operasyonlarının toprak yapısını ve böylece de toprak sıcaklığını değiştirebildiğini belirtmişlerdir. Van Wie *et al.* (2013), toprak işleme uygulamalarının toprağın organik madde içeriğini, kütle yoğunluğunu ve agregat stabilitesini değiştirerek toprağın ısı kapasitesi ve ısı iletkenliğini önemli ölçüde etkilediğini vurgulamışlardır. Licht and Kaisi (2005), yoğun toprak işleme koşullarına göre doğrudan ekimde daha düşük toprak sıcaklıklarının gözlemlendiğini ve bu durumun toprakta artan nemin daha düşük toprak sıcaklıklarına neden olmasıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Shen *et al.* (2018), yoğun toprak işleme uygulamalarına göre doğrudan ekim uygulamasında toprak yüzeyinde bırakılan kalıntıların etkisiyle toprak sıcaklığının 0 ile 1,5 °C arasında daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Yine Salem *et al.* (2016)'da doğrudan ekim koşullarında toprak sıcaklığının daha düşük olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Topraktan CO₂ salınımı birçok faktörün birlikte etkisiyle gerçekleşen bir süreçtir. CO₂ salınımı, toprak sıcaklığı ve nemi yanında (Evans and Burke 2013; Hou *et al.* 2020) toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerindeki değişimlerden de önemli ölçüde etkilenebilmektedir (Haddaway *et al.* 2017). Bu çalışmada topraktan CO₂ salınımı ile hava sıcaklığı ($p<0,05$) ve yine CO₂ salınımı ile H₂O salınımı ve farklı derinliklerde (5 cm, 10 cm ve 20 cm) toprak sıcaklıkları ile toprak nemleri arasında önemli ($p<0,01$) pozitif korelasyonlar belirlenmiştir (Ek 83). Toprak sıcaklığı ve toprak neminin CO₂ salınımına etkisinin doğrudan, hava sıcaklığının etkisinin ise dolaylı yoldan olduğu değerlendirilmektedir. Hava sıcaklığının,

toprak sıcaklığı ve toprak nemini etkileyerek CO₂ salınımlarına neden olduğu, nem ve sıcaklık değişimlerinin mikroorganizma faaliyetlerine etki etmesi sonucunda oluşan mineralizasyonla da salınımların değiştiği düşünülmektedir. Jabro *et al.* (2008), toprak sıcaklığının CO₂ salınımını % 59 oranında artırdığını bildirmişlerdir. Sainju *et al.* (2008), Rey *et al.* (2011), Nosalewicz *et al.* (2013), Chen *et al.* (2018), Du *et al.* (2019) ile Zhao *et al.* (2020) toprağın biyolojik faaliyetlerini etkileyen toprak sıcaklığının CO₂ salınımı ile pozitif korelasyon gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Ancak, Mariko *et al.* (2007) ile Gonzalez-Mendez *et al.* (2015), mikroorganizma aktivitesinin sadece belli sıcaklıklar arasında artacağını ve her zaman CO₂ salınımı ile toprak sıcaklığı arasında lineer bir ilişkinin olamayacağını belirtmişlerdir. Ayrıca toprağa su girişiyle beraber özellikle yüzey toprağının serinletilmesine ve toprakta nem içeriğinin artmasına böylece toprağın ısı iletkenliğinin değişmesine bağlı olarak CO₂ salınımının artma veya azalma eğilimi gösterebileceği de düşünülmektedir. Benzer şekilde Mancinelli *et al.* (2015)'da toprağa su girişiyle toprak sıcaklığındaki değişime vurgu yapmışlar ve CO₂ salınımının ortam sıcaklığına göre değişiklik gösterebileceğine dikkat çekmişlerdir. Karşıt bir görüş olarak Buragiene *et al.* (2019), toprak sıcaklığı ve topraktan CO₂ salınımlarının birbiriyle ilişkili olmadığını belirtmiş olsalar da, toprak nemi ile CO₂ salınımı arasında pozitif bir korelasyon olduğunu da rapor etmişlerdir. Sonuçta toprağın nem dengesi ve nemli kalma süreçleri toprakta organik karbon ile azotun oksidasyonunu büyük ölçekte etkilemektedir (Morugan-Coronado *et al.* 2011; Shi and Marschner 2014). Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde kurumuş toprağın tekrar ıslatılmasının mikrobiyal faaliyetleri tetikleyerek salınımları artırdığı bilinmektedir (Lamparter *et al.* 2009).

Birim alan ve birim ürün başına CO₂ salınımları

Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının silajlık mısır üretiminde vejetasyon periyodu boyunca birim alan başına (1 ha) gerçekleşen CO₂ salınımlarına etkisi p<0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Şekil 47-49 ve Ek 84). Birim alan başına en yüksek CO₂ salınımları geleneksel toprak işleme ve atık suyla tam sulama uygulamalarında gerçekleşmiştir

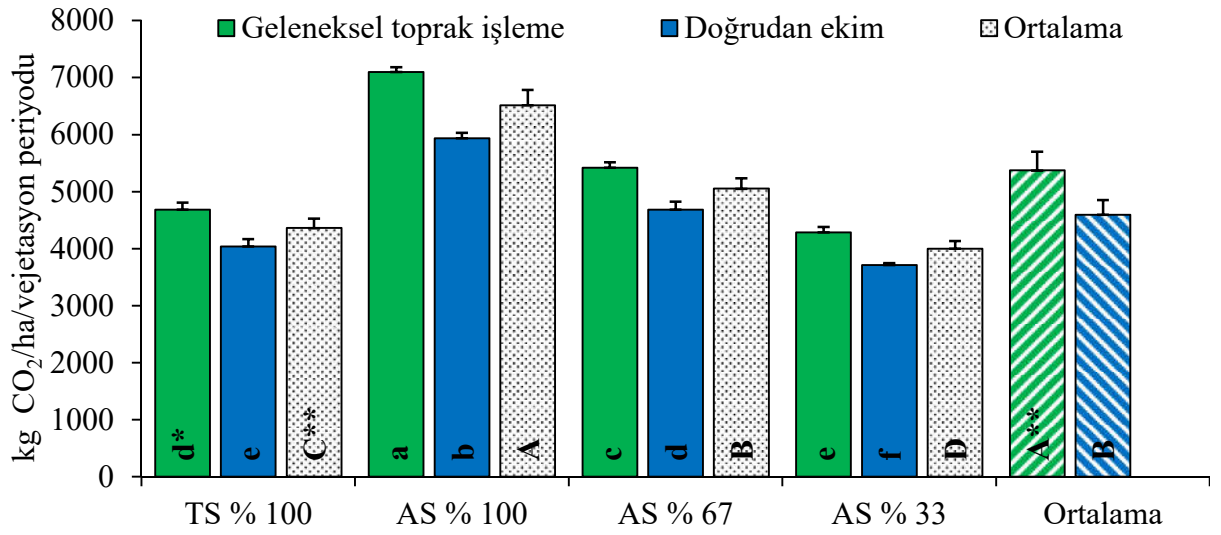
Denemenin ilk yılında atık suyla tam sulamada (6516 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) birim alan başına CO₂ salınımı temiz suyla tam (4362 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ve atık suyla % 67 (5052 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ile % 33 (3999 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) seviyelerinde sulama uygulamalarına göre sırasıyla % 49,4, % 29,0 ve % 62,9 daha yüksek olmuştur. Doğrudan ekim uygulamasına göre (4593 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) geleneksel toprak işlemede ise (5372 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) % 16,9 daha yüksek

seviyede birim alan başına CO₂ salınımı gerçekleşmiştir. Denemenin ikinci yılında atık suyla tam sulamada (6237 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) birim alan başına CO₂ salınımı temiz suyla tam (4368 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ve atık suyla % 67 (4449 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ile % 33 (2880 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) seviyelerinde sulama uygulamalarına göre sırasıyla % 42,8 % 40,2 ve % 116,5 daha yüksek olmuştur. Doğrudan ekime göre (5455 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) geleneksel toprak işlemede uygulamasında ise (3512 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) % 55,3 daha yüksek seviyede birim alan başına CO₂ salınımı belirlenmiştir.

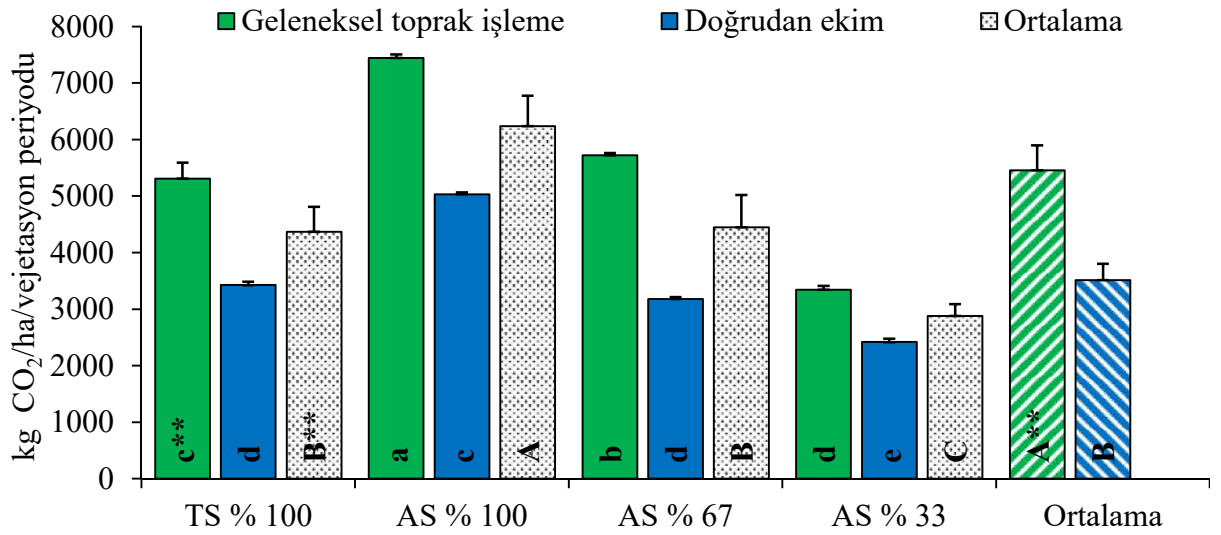
İkinci yıla göre ilk yılda 1 ha alanda silajlık mısır üretimi için vejetasyon periyodunda gerçekleşen CO₂ salınımları atık suyla tam sulamada ve % 67 ile % 33 sulama seviyeleri ile doğrudan ekimde sırasıyla % 4,5, % 13,6, % 38,9 ve % 30,7 oranlarında artarken, temiz suyla tam sulama ve geleneksel toprak işleme uygulamalarında benzer değerler görülmüştür. Bu durum, ilk yıl sulama suyu miktarının daha fazla (Tablo 12 ve 13) ve ikinci yılvejetasyon periyodunun daha kısa olmasıyla ilişkili olarak değerlendirilebilir.

İki yılın ortalamasında birim alan başına CO₂ salınımları incelendiğinde, atık suyla tam sulamada (6377 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) temiz suyla tam (4365 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ve atık suyla % 67 (4751 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ile % 33 (3440 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) seviyelerinde sulama uygulamalarına göre birim alan başına CO₂ salınımları sırasıyla % 46,1, % 34,2 ve % 85,4 daha yüksek olmuştur. Doğrudan ekime göre (4053 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) geleneksel toprak işlemede ise (5413 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) % 33,6 daha yüksek seviyede birim alan başına CO₂ salınımı gerçekleşmiştir.

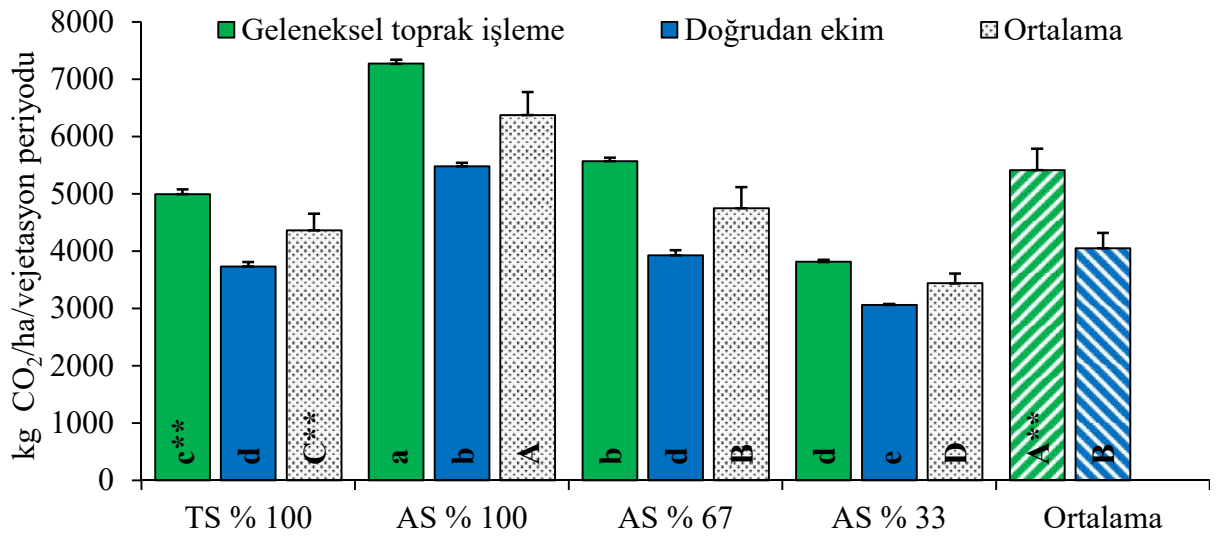
İki yıllık ortalama verilere göre sulama x toprak işleme interaksyonu dikkate alındığında, birim alan başına en düşük CO₂ salınımı doğrudan ekimde atık suyla % 33 seviyesinde sulama uygulamasında (3065 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) olmuştur. Bu değere göre doğrudan ekimde temiz (3733 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ve atık suyla tam sulama (5482 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ile atık suyla % 67 seviyesinde sulama (3930 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) uygulamalarında sırasıyla % 21,8, % 78,9 ve % 28,2 daha fazla birim alan başına CO₂ salınımları belirlenmiştir. Aynı değere göre geleneksel toprak işlemede temiz (4997 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ve atık suyla tam sulama (7271 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ve atık suyla % 67 (5571 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) ile % 33 (3814 kg CO₂/ha/vejetasyon periyodu) seviyelerinde sulama uygulamalarında ise sırasıyla % 63,0, % 137,2, % 81,8 ve % 24,4 daha fazla birim alan başına CO₂ salınımları gerçekleşmiştir.



Şekil 47. 2020 yılında birim alan başına CO₂ salınımları



Şekil 48. 2021 yılında birim alan başına CO₂ salınımları



Şekil 49. İki yılın ortalamasında birim alan başına CO₂ salınımları

Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının vejetasyon periyodu boyunca birim ürün başına (1 kg silajlık ot verimi) gerçekleşen CO₂ salınımlarına etkisi $p<0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Şekil 50-52 ve Ek 85). Birim ürün başına CO₂ salınımlarında en yüksek değerler geleneksel toprak işleme ve atık suyla % 33 seviyesinde sulama uygulamalarında gerçekleşmiştir.

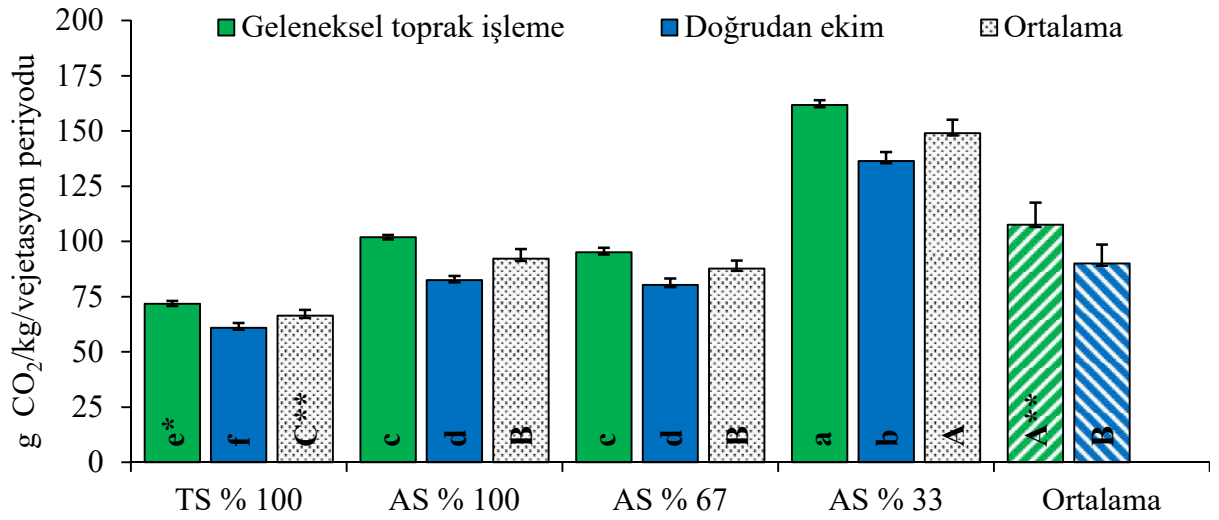
Denemenin ilk yılında atık suyla % 33 seviyesinde sulamada (149,1 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) birim ürün başına CO₂ salınımı temiz (66,4 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) ve atık suyla tam sulama (92,2 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) ile atık suyla % 67 seviyesinde sulama (87,7 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) uygulamalarına göre sırasıyla % 124,51, % 61,7 ve % 70,0 daha yüksek olmuştur. Doğrudan ekime göre (90,1 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) geleneksel toprak işleme uygulamasında ise (107,6 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) % 19,5 daha yüksek seviyede birim ürün başına CO₂ salınımı gerçekleşmiştir. Denemenin ikinci yılında atık suyla % 33 seviyesinde sulamada (100,3 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) birim ürün başına CO₂ salınımı temiz (65,3 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) ve atık suyla tam sulama (81,3 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) ile atık suyla % 67 seviyesinde sulama (72,8 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) uygulamalarına göre sırasıyla % 53,5, % 23,4 ve % 37,8 daha yüksek olmuştur. Doğrudan ekime göre (62,0 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) geleneksel toprak işlemede ise (97,9 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) % 58,0 daha yüksek seviyede birim ürün başına CO₂ salınımı belirlenmiştir.

1 kg silajlık ot verimi için vejetasyon periyodunda gerçekleşen CO₂ salınımları, ilk yıla göre ikinci yılda temiz ve atık suyla tam sulama ile % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde sırasıyla % 1,6, % 11,8, % 17,0 ve % 32,7, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekimde ise sırasıyla % 9,0 ve % 31,2 oranlarında azalmıştır. Bu durum, ilk yıla göre ikinci yılda birim alan başına CO₂ salınımlarının daha düşük (Şekil 47-49) ve ikinci yılda tüm uygulamalarda silajlık ot veriminin ilk yıla göre daha yüksek olmasıyla (Tablo 48) ilişkili olarak açıklanabilir.

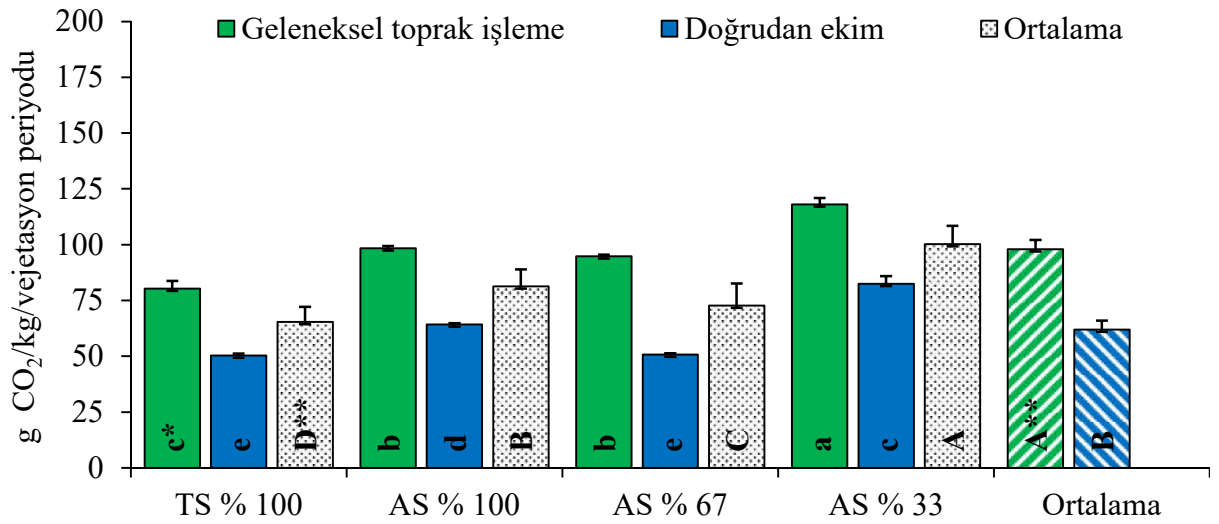
İki yılın ortalamasında birim ürün başına CO₂ salınımları incelendiğinde, atık suyla % 33 seviyesinde sulamada (124,7 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) temiz (65,9 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) ve atık suyla tam sulama (86,8 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) ile atık suyla % 67 seviyesinde sulama (80,2 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) uygulamalarına göre birim ürün başına CO₂ salınımı sırasıyla % 89,3, % 43,7 ve % 55,4 daha yüksek olmuştur. Doğrudan ekim uygulamasına göre (76,0 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) geleneksel toprak işlemede ise (102,8 g CO₂/kg/vejetasyon periyodu) % 35,2 daha yüksek seviyede birim ürün başına CO₂ salınımı gerçekleşmiştir.

İki yıllık ortalama verilere göre sulama x toprak işleme interaksiyonu dikkate alındığında, birim ürün başına en düşük CO₂ salınımı doğrudan ekimde temiz suyla tam sulama uygulamasında (55,7 g CO₂/kg/vegetasyon periyodu) olmuştur. Bu değere göre doğrudan ekim altında atık suyla tam sulama (73,4 g CO₂/kg/vegetasyon periyodu) ve atık suyla % 67 (65,6 g CO₂/kg/vegetasyon periyodu) ile % 33 (109,4 g CO₂/kg/vegetasyon periyodu) seviyelerinde sulama uygulamalarında sırasıyla % 31,7, % 17,7 ve % 96,5 daha fazla birim alan başına CO₂ salınımları belirlenmiştir. Aynı değere göre geleneksel toprak işleme altında temiz (76,1 g CO₂/kg/vegetasyon periyodu) ve atık suyla tam sulama (100,1 g CO₂/kg/vegetasyon periyodu) ve atık suyla % 67 (94,9 g CO₂/kg/vegetasyon periyodu) ile % 33 (139,9 g CO₂/kg/vegetasyon periyodu) seviyelerinde sulama uygulamalarında ise sırasıyla % 36,6, % 79,8, % 70,4 ve % 151,2 daha fazla birim alan başına CO₂ salınımları gerçekleşmiştir.

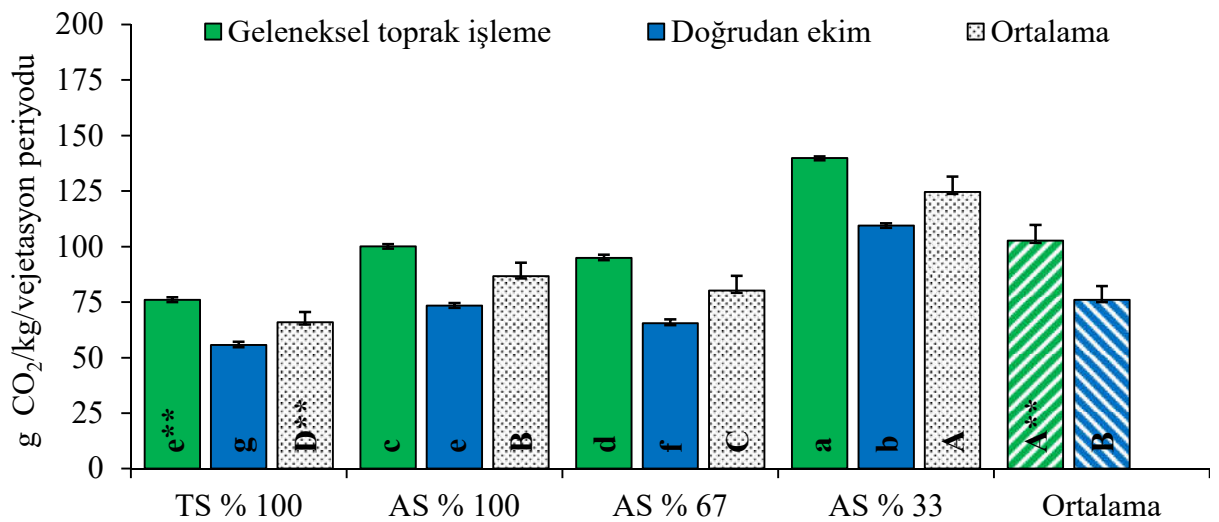
Atık suyla % 33 seviyesinde sulama uygulaması birim alan başına daha düşük CO₂ salınımı sağlamasına rağmen (Şekil 47-49), sulama uygulamaları arasında bu uygulama en fazla birim ürün başına CO₂ salınımı sağlayan uygulama olmuştur (Şekil 50-52). Bu durumun, atık suyla % 33 seviyesinde sulamada silajlık verim (Tablo 48) ile su verimliliğinin (Tablo 14) daha düşük olmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Doğrudan ekimde atık su ile tam sulama uygulamasında kontrol uygulaması olan geleneksel toprak işlemede temiz su ile tam sulama uygulamasına göre % 9,7 daha fazla birim alan başına CO₂ salınımı gerçekleşmiş olsa da (Şekil 49) birim ürün başına CO₂ salınımı bu uygulamada daha yüksek silajlık verime bağlı olarak (Tablo 48) % 3,7 daha düşük bulunmuştur (Şekil 52). Aynı zamanda doğrudan ekimde atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulaması kontrol uygulamasıyla karşılaştırıldığında, % 13,8 daha az birim ürün başına CO₂ salınımı sağladığı görülmektedir (Şekil 52). Aynı uygulama kombinasyonlarına göre birim alan başına CO₂ salınımı da % 21,4 daha az belirlenmiştir (Şekil 49). Doğrudan ekimde atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulamasının en yüksek su ve sulama suyu verimliliği sağladığı da (Tablo 14 ve 15) dikkate alındığında, arıtılmış atık suyun sulamada kullanıldığı koşullarda doğrudan ekimde % 67 seviyesinde sulama uygulamasının hem su kaynaklarının etkin kullanımına hem de sera gazı emisyonlarının daha düşük seviyelerde tutulmasına önemli katkılar sağlayacağı görülmüştür.



Şekil 50. 2020 yılında birim silajlık ot verimi başına CO₂ salınımları



Şekil 51. 2021 yılında birim silajlık ot verimi başına CO₂ salınımları



Şekil 52. İki yılın ortalamasında birim silajlık ot verimi başına CO₂ salınımları

Silajlık mısırdaki yürütülen birçok çalışmada sulama, gübreleme, toprak işleme ve diğer uygulama pratiklerine bağlı olarak yıllık veya sezonluk CO₂ salınımlarıyla ilgili geniş aralıkta değişen değerler belirlenmiştir. Ancak tespitler sulama sıklığının artmasının CO₂ salınımını artırdığı, azalan sulama miktarıyla ve doğrudan ekim uygulamasıyla CO₂ salınımlarının azaldığı yönünde olmuştur. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda; Ashiq *et al.* (2020), mısır yetiştiriciliğinde farklı gübreleme ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak sezonluk CO₂ salınımlarının 5576 kg CO₂/ha ile 7834 kg CO₂/ha arasında değişiklik gösterdiğini, azotlu gübre uygulamasının daha yüksek sezonluk CO₂ salınımına neden olduğunu belirtmişlerdir. Maris *et al.* (2016), sık ve aralıklı sulama uygulamalarından kaynaklanan CO₂ salınımlarını araştırdıkları çalışmada, sık sulamada sezonluk CO₂ salınımının (8416 kg CO₂/ha) aralıklı sulamaya göre (6045 kg CO₂/ha) önemli derecede daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Pareja-Sánchez *et al.* (2019), Akdeniz koşullarında sulu tarımda azotlu gübre kullanımının mısır tarlasından CO₂ salınımına etkisini inceledikleri çalışmada, kümülatif salınımın 2256 kg CO₂/ha ile 3255 kg CO₂/ha aralığında değişiklik gösterdiğini ve benzer değerlerin aynı bölgede Guardia *et al.* (2017) tarafından da belirtildiğini ifade etmişlerdir. Ancak aynı bölgede benzer koşullarda mısır tarlasından 655 kg CO₂/ha/yıl salınım değerleri de bildirilmiştir (Al-Kaisi and Yin 2005). Maris *et al.* (2015), yüzey üstü ve yüzey altı damla sulama yöntemleri altında % 100 ve % 50 seviyelerinde sulamaların topraktan CO₂ salınımına etkilerini araştırdıkları çalışmada, sezonluk CO₂ salınım değerlerinin yüzey üstü damla sulamada % 100 ve % 50 sulama seviyeleri için sırasıyla 771 kg CO₂/ha ve 681 kg CO₂/ha, yüzey altı damla sulamada ise aynı sulama suyu seviyeleri için sırasıyla 801 kg CO₂/ha ve 645 kg CO₂/ha olduğunu belirtmişlerdir. Macharia *et al.* (2020), gübrelemenin yapılmadığı, organik ve inorganik gübreleme ile organik+inorganik gübrelemenin yapıldığı mısır tarlasından kümülatif CO₂ salınımlarının sırasıyla 1391 kg CO₂/ha, 1909 kg CO₂/ha, 3574 kg CO₂/ha ve 2703 kg CO₂/ha olduğunu bildirmişlerdir. Hou *et al.* (2019), farklı sulama seviyelerinde topraktan salınan kümülatif CO₂'nin 3581 kg CO₂/ha ile 4805 kg CO₂/ha aralığında değiştiğini belirtmişlerdir. Kısıntılı sulamanın topraktan salınan CO₂'ye etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada, artan kısıntı seviyesiyle salınımların azaldığı, CO₂ salınımının tam sulamada 4100 kg CO₂/ha/yıl, % 50 kısıntılı sulamada ise 2510 kg CO₂/ha/yıl seviyelerinde olduğu bildirilmiştir (Zornoza *et al.* 2016). Guo *et al.* (2019), geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamaları altında yetiştirilen mısır tarlası toprağından salınan sezonluk CO₂ salınımlarını inceledikleri çalışmada, doğrudan ekim için 3420 kg CO₂/ha, geleneksel toprak işleme için ise 3911 kg CO₂/ha değerlerini belirtmişlerdir. Farklı toprak işleme uygulamalarında CO₂ salınımlarının araştırıldığı başka bir çalışmada, artan toprak işleme yoğunluğu ve derinliğine bağlı olarak sezonluk CO₂ salınımlarının arttığı, yatay milli

L tipi rototiller, yatay milli I tipi rototiller ve düşey milli rototiller olmak üzere üç farklı azaltılmış toprak işleme ve geleneksel toprak işleme uygulamaları için sezonluk CO₂ salınım değerlerinin sırasıyla 21 940 kg CO₂/ha, 21 490 kg CO₂/ha, 21 980 kg CO₂/ha ve 23 010 kg CO₂/ha olduğu bildirilmiştir (Talantimur 2014).



SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin doğusunda, yarı kurak iklime sahip Van ili Van Gölü Havzası'nda yürütülmüş olan bu çalışmada, geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim koşullarında, temiz suyla % 100 ve arıtılmış evsel atık suyla % 100, % 67 ve % 33 seviyelerinde sulama suyu uygulamalarının önemli bir yem bitkisi olan silajlık mısırın verimine, ürün kalitesine, su tüketimine, sulama suyu ve su verimliliğine, toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerine etkileri ve farklı uygulamalar altında topraktan CO₂ salınımları araştırılmıştır.

Denemenin iki yılında da temiz ve atık suyun analizlerinde su kalitesi açısından dönem içerisinde ve yıllar arasında önemli farklılıklar görülmemiş, temiz suyun kimyasal içeriği tamamen sorunsuz kategoride değerlendirilmiştir. Arıtılmış atık su ise pH ve EC değerleri bakımından “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırması ve “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ne göre kullanımında sıkıntı olmayan sular sınıfında, toksik etki bakımından Na, Cl ve B içeriklerine göre de sorunsuz veya az-orta derecede zarar oluşturabilecek sular sınıfında yer almıştır. Atık suyun ağır metal içerikleri hem ulusal ve hem de uluslararası mevzuatlarda belirtilen izin verilebilir maksimum konsantrasyonları aşmamıştır. Atık su N, P, NO₃ ve BOİ₅ içeriklerine göre IV. sınıf, KOİ içeriğine göre de II. sınıf su kategorisinde değerlendirilmiştir. Atık suyun SAR, % Na ve RSC değerleri de toprakta yapısal bozulma açısından sorunsuz bulunmuştur. Denemede, damla sulama sisteminde kireç birikme olasılığını işaret eden pozitif LSI değerlerine rağmen deneme sürecinde sayaç okumalarından ve damlatıcı debi kontrollerinden tıkanma sorunu gözlenmemiştir. Ayrıca atık suyun askıda katı madde içeriği de “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ne göre damla sulama sisteminde kullanılabilirlik sınır değeri olan 50 mg/l'nin altında olduğundan risk oluşturmamıştır. Denemede kullanılan atık su fekal koliform açısından “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” kıta içi su kaynakları sınıflandırması'nda II. sınıfta yer almış ve ABD Çevre Koruma Ajansı'nın belirlediği sınır değerleri de aşmadığından sulamada kullanılmasında sakınca bulunmadığı anlaşılmıştır.

Geleneksel toprak işleme uygulamasına göre doğrudan ekim uygulamasında birinci yıl % 9,1 ile % 10,3 ve ikinci yıl % 9,8 ile 11,2 aralığında sulama suyundan tasarruf sağlanmıştır. Gerçek bitki su tüketimi de (evapotranspirasyon) doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeye göre birinci yıl % 5,2 ile % 10,3 ve ikinci yıl % 5,4 ile % 8,6 aralığında daha düşük belirlenmiştir. Atık su ve temiz suyla tam sulama koşullarında aynı miktarda sulama

suyu uygulanmış olmasından kaynaklı olarak evapotranspirasyon değerleri benzer bulunmuş, su kısıntısıyla azalmıştır. Tüm uygulamalarda toprak nem içeriği değişim trendleri de yıllar arasında benzerlik göstermiş ve doğrudan ekim uygulamasında toprak nem içeriklerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Sulama uygulamaları arasında en yüksek su verimliliği (WP) değerleri atık suyla tam ve atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulamalarında, en düşük WP değeri ise atık suyla % 33 seviyesinde sulama uygulamasında, en yüksek sulama suyu verimliliği (WP_{irrig}) atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulamasında, en düşük WP_{irrig} değeri ise temiz suyla tam sulama uygulamasında belirlenmiştir. Atık suyla sulama koşullarında artan silajlık ot verimleri WP değerlerindeki artışın nedeni olarak görülürken, azalan sulama suyunun da WP_{irrig} artışında katkısı öne çıkmıştır. Doğrudan ekim uygulamasında da daha fazla silajlık ot veriminin etkisiyle geleneksel toprak işlemeye göre sırasıyla % 12,0 ve % 13,2 daha yüksek WP ve WP_{irrig} değerleri belirlenmiştir.

Deneme başlangıç değerleriyle kıyaslandığında toprakların deneme sonrası fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerinde farklı sulama ve toprak işleme-ekim uygulamalarının etkisiyle önemli değişimler olmuştur. Atık suyla tam sulama koşullarında hem toprak başlangıç değerlerine hem de diğer sulama uygulamaları değerlerine göre agregat stabilitesi ve porozitenin daha yüksek, kütle yoğunluğunun ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında da agregat stabilitesinin daha yüksek, porozite ve kütle yoğunluğunun daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Atık suyla tam sulamada toprak pH'sı azalmış, EC değerleri artmıştır. Temiz suyla tam ve atık suyla kısıntılı sulamalarda ise toprak pH'sındaki azalış ve EC değerlerindeki artışlar daha sınırlı olmuştur. Atık suyla tam sulamada EC değerleri araştırma öncesine göre 2,5 kat artışa karşılık gelmiş, ancak toprak ve bitkide sorun oluşturacak seviyeye ulaşmamıştır. Daha az sulama suyu uygulanan doğrudan ekim uygulamasında geleneksel toprak işlemeye göre EC değerleri daha düşük bulunmuştur. Atık suyla sulamada toprakta $CaCO_3$ içeriği azalmış, atık suyun toprakta pH'yı düşürme etkisiyle $CaCO_3$ içeriğinin azalması bu parametreler arasındaki doğrusal korelasyonla da desteklenmiştir.

Atık suyla sulama ve doğrudan ekim uygulamaları toprak organik madde (organik karbon) içeriğini artırmış ve deneme başlangıç değerlerine göre de yüzey toprak tabakasında organik madde içeriğinin orta sınıfa yükselmesini sağlamıştır. Atık suyun besin elementi içeriğinin etkisiyle atık suyla tam sulama koşullarında daha belirgin olmak üzere toprakların makro element içerikleri önemli seviyede artmıştır. Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında da toprakta artan organik maddenin katkısıyla makro besin

içeriklerinin arttığı belirlenmiştir. Atık suyla tam sulamada ve geleneksel toprak işleme uygulamasında toprakta artan değişebilir katyon içerikleri, bu uygulamalarda daha yüksek katyon değişim kapasitesi değerleri sağlamıştır. Atık suyla tam sulama koşullarında daha yüksek değişebilir Na içerikleri de değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerlerinin artmasını sağlamış, ancak ESP değerleri toprakta sodyumluluk sorununa işaret eden eşik değerin oldukça altında kalmıştır.

Araştırma sonunda geleneksel toprak işleme ve tüm seviyelerde atık suyla sulama uygulamalarında doğrudan ekim ve temiz suyla tam sulama uygulamalarına göre toprakta mikro element ve ağır metal içerikleri daha yüksek bulunmuş ve aynı zamanda bu değerler toprak başlangıç içeriklerinin de üzerine çıkmıştır. Ancak ağır metal içeriklerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Ulusal Yönetmelik” sınır değerlerinin oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun atık suyun sulamada kısa süreli ve sınırlı miktarlarda kullanılmasından ve atık suyun düşük ağır metal içeriğinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Geleneksel toprak işlemeye göre doğrudan ekim uygulamasında ve temiz suyla tam sulamaya göre atık suyla tam sulama koşullarında tarla kapasitesi, solma noktası ve yarayışlı su miktarı gibi toprağın hidrolik özelliklerini tanımlayan değerler daha yüksek bulunmuş ve deneme öncesi değerlerine göre de artış olduğu tespit edilmiştir. Atık suyla sulanan ve doğrudan ekim yapılan koşullarda toprakta daha fazla organik madde birikimi sağlanmasının, organik maddenin toprak fiziksel, kimyasal ve hidrolik özelliklerindeki pozitif gelişmelerin en önemli faktörü olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Sulama ve toprak işleme-ekim uygulamaları silajlık mısırın fiziksel, kimyasal ve fizyolojik özelliklerini önemli seviyede etkilemiştir. Atık suyla tam sulama uygulamasında atık suyun doğrudan besleyici etkisi ve bu koşullarda artan toprak verimliliğinin katkısıyla daha fazla bitki boyu ve gövde çapı değerleri elde edilmiş, artan bitki boyu ve gövde çaplarının doğrudan etkisiyle temiz suyla tam sulamaya göre % 11,3 ve % 10,1 daha fazla silajlık ot verimi ve kuru madde verimi sağlanmıştır. Araştırmanın ikinci yılında atık suyla tam sulama gübre ihtiyacını tamamen ortadan kaldırarak daha yüksek verim artışı sağlamıştır. Ancak sulama suyu kısıntısıyla silajlık ot verimleri atık suyla tam sulamaya göre % 67 ve % 33 sulama seviyelerinde sırasıyla % 19,4 ve % 62,3 azalmıştır. Ayrıca doğrudan ekim uygulamasında da geleneksel toprak işlemeye göre silajlık ot ve kuru madde verimleri sırasıyla % 3,0 ve % 7,8 daha fazla belirlenmiştir.

Atık suyla tam sulama uygulamasında suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM) ve ham protein oranı daha yüksek, asit deterjan lif (ADF) ve nötr deterjan lif (NDF) değerleri ise

daha düşük bulunmuştur. Su kısıtıyla da SÇKM ve ham protein oranı azalırken, ADF ve NDF değerleri artmıştır. Doğrudan ekim uygulamasında ise geleneksel toprak işlemeye göre bitki azot içeriğinin daha düşük olması nedeniyle daha düşük ham protein oranı belirlenmiştir.

Atık suyla tam sulama uygulamasında temiz suyla tam sulamaya göre silajlık mısırdaki N, P, K, Ca, Mg ve Na içerikleri sırasıyla % 40,0, % 95,3, % 37,5, % 17,8, % 33,8 ve % 110,6 oranlarında artmıştır. Yine atık suyla tam sulama uygulamasında temiz suyla tam sulamaya kıyasla silajlık mısırın Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr ve Ni içeriklerinde sırasıyla 1,2, 1,9, 2,6, 1,8, 5,7, 3,7, 4,6 ve 5,3 kat artışlar belirlenmiş, ancak artışlar risk oluşturacak seviyelere ulaşmamıştır. Ayrıca bitkide makro, mikro element ve ağır metal içeriklerinde su kısıtıyla da önemli düşüşler belirlenmiştir. Bitki dokularında mikro element ve ağır metal birikimi $Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd$ şeklinde sonuçlanmıştır. Toprak işleme-ekim uygulamalarının ise bitkide sadece N ve Cd içeriklerine etkisi önemli bulunmuş, doğrudan ekim uygulamasına göre geleneksel toprak işlemede % 9,5 ve % 9,3 daha fazla N ve Cd içerikleri tespit edilmiştir.

Temiz suyla tam sulamaya göre atık suyla tam sulamanın silajlık mısırın klorofil içeriğini (SPAD), yaprak alan indeksini ve membran zararlanmasını artırdığı belirlenmiştir. Su kısıtının da SPAD değerini, yaprak alan indeksini ve yaprak oransal su içeriğini azalttığı, membran zararlanmayı ise artırdığı, yine doğrudan ekim uygulamasının da SPAD değeri ve yaprak oransal su içeriğini artırdığı tespit edilmiştir. Bitki fizyolojik özelliklerindeki gelişmeler mısır silaj verimine doğrudan pozitif katkılar sağlamıştır.

CO₂ salınımları geleneksel toprak işleme uygulamasında ve atık suyla sulama koşullarında artmıştır. Toprak işleme-ekim döneminde, doğrudan ekime göre geleneksel toprak işleme uygulamasında CO₂ salınımı iki kattan daha fazla olmuş ancak toprak işleme-ekimin CO₂ salınımına etkisi sonraki dönemlerde azalmıştır. Atık su ile sulamaların yapıldığı konulu sulama döneminde atık su ile tam sulamada temiz su ile tam sulamaya göre ilk yıl % 52,8 ve ikinci yıl ise % 69,2 daha fazla CO₂ salınımı gerçekleşmiştir. Denemenin ikinci yılında atık suyla sulamanın önceki yıldan bakiye etkisiyle atık suyla tam sulama koşullarında temiz suyla tam sulamaya göre toprak işleme-ekim döneminde % 31,7 ve konulu sulama öncesinde % 20,9 daha fazla salınım değerleri belirlenmiştir.

Doğrudan ekim uygulamasına göre geleneksel toprak işlemede birim alanda (1 ha) silajlık mısır üretimi için vejetasyon periyodunda gerçekleşen CO₂ salınımı % 33,6 daha yüksek belirlenmiştir. Atık suyla tam sulamada ise birim alan başına CO₂ salınımı temiz suyla tam ve atık suyla % 67 ile % 33 seviyelerinde sulama uygulamalarına göre sırasıyla % 46,1, % 34,2 ve % 85,4 daha yüksek seviyelerde olmuştur. Ancak doğrudan ekimde atık suyla % 67

ve % 33 seviyelerinde sulama uygulamaları kontrol uygulaması olan geleneksel toprak işlemede temiz su ile tam sulama uygulamasına göre birim alan başına CO₂ salınımlarını sırasıyla % 21,4 ve % 38,7 azaltmış, doğrudan ekimde atık suyla tam sulama uygulaması değeri de % 9,7 artışla kontrol konusuna yakın bulunmuştur. Bir kg silajlık mısır üretimi birim ürün başına vejetasyon periyodunda gerçekleşen CO₂ salınımları geleneksel toprak işlemede doğrudan ekim uygulamasına göre % 35,2 daha fazla olmuştur. Doğrudan ekimde atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulaması kontrol uygulamasından % 13,8 daha az birim ürün başına CO₂ salınımı sağlamıştır. Sonuçta, geleneksel toprak işlemede temiz su ile tam sulamayla kıyasladığında, doğrudan ekimde atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulaması hem su ve sulama suyu verimliliğini artıran hem de birim alan ve ürün başına salınımı azaltan bir uygulama olmuştur.

Toprakta CO₂ salınımlarının ölçüldüğü anda H₂O salınımları ile farklı derinliklerde (5 cm, 10 cm ve 20 cm) ölçülmüş sıcaklık ve nem değerlerine göre, atık suyla tam sulama uygulamasının kısmen H₂O salınımlarını azalttığı ve nem içeriğini artırdığı belirlenmiştir. Doğrudan ekim uygulamasının evaporasyonu azaltıcı etkisiyle H₂O salınımları daha düşük ve toprak nem içerikleri daha yüksek bulunmuştur. Atık suyla tam sulama koşullarında toprak sıcaklıklarında artış olduğu ve ayrıca doğrudan ekim uygulamasında toprağın daha nemli kalma sürecinin etkisiyle toprak sıcaklık değerlerinin daha düşük olduğu da belirlenmiştir.

Topraktan CO₂ salınımları ile hava sıcaklığı, H₂O salınımı ve farklı derinliklerde (5, 10 ve 20 cm) toprak sıcaklıkları ile toprak nemleri arasında önemli pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. CO₂ salınımı ile toprak sıcaklığı ve nemi arasındaki ilişkileri belirlemek için 5, 10 ve 20 cm toprak derinliklerde yapılan ölçümlerin hem birbirleriyle olan yüksek korelasyonları hem de CO₂ salınımlarıyla sıcaklık ve nem verilerinin yüksek ilişkileri dikkate alındığında, daha kolay ve pratik bir yaklaşım olarak 5 cm toprak derinliğindeki sıcaklık ve nem değerlerinin kullanılmasının yeterli olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak atık suyla sulama toprağın fiziksel, kimyasal ve hidrolik özellikleri ile silajlık mısırın verim ile kalite özelliklerine pozitif katkılar sağlamıştır. Doğrudan ekim uygulamasıyla bu katkılar daha da geliştirilmiş, aynı zamanda doğrudan ekim uygulamasında azalan sulama suyu miktarının etkisiyle su ve sulama suyu verimliliği de artırılmıştır. Ayrıca başta atık suyla tam sulama olmak üzere tüm sulama uygulamalarında CO₂ salınımlarının azaltılması yönünde de doğrudan ekim uygulamasının kolay, pratik ve ekonomik bir uygulama olduğu ve toprak karbon stoklarını geliştirdiği sonucuna varılmıştır.

Temiz su kaynaklarının yetersiz olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde, bitkisel verimi ve orta bünyeli toprak yapısal özellikleri ile üretkenliğini artırıcı etkisi ve aynı zamanda atık

suların bertarafıyla çevresel bir katkıyla da arıtılmış evsel atık suların kısa vadeli süreçte risklerinin de minimize edilmesiyle silajlık mısır yetiştiriciliğinde güvenle kullanılabileceği ve bitki fizyolojik göstergeleriyle verim ilişkilendirmelerinin de yüksek doğrulukla gerçekleştirilebileceği söylenebilir. Su ve sulama verimliliğinin artırılması için arıtılmış atık suyla % 67 seviyesinde sulama uygulamasının tercih edilebileceği, verime, üretkenliğe ve su tasarrufuna katkı sağlayan bir uygulama olarak doğrudan ekim pratiğinin de kullanılması gerektiği önerilebilir. Aynı zamanda tarımsal faaliyetlerden kaynaklı küresel ısınmayı artıran sera gazı katkılarının azaltılması gereği dikkate alındığında, atık suyla sulama koşullarında CO₂ salınımlarının azaltılması açısından doğrudan ekim uygulaması ve kısıntılı sulama yaklaşımlarının birlikte tercih edilmesinin önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



KAYNAKLAR

- Abdalla, K., Chivenge, P., Ciais, P. and Chaplot V., 2016. No-tillage lessens soil CO₂ emissions the most under arid and sandy soil conditions: results from a meta-analysis. *Biogeosciences Discussions*, 12, 15495-15535.
- Abdel Latef, A.A.H. and Sallam M.M., 2015. Changes in growth and some biochemical parameters of maize plants irrigated with sewage water. *Austin Journal of Plant Biology*, 1 (1), 1004.
- Abdelfattah, M.A., 2013. Pedogenesis, land management and soil classification in hyper- arid environments: results and implications from a case study in the United Arab Emirates. *Soil Use and Management*, 29 (2), 279-294.
- Abd-Elwahed, M.S., 2019. Effect of long-term wastewater irrigation on the quality of alluvial soil for agricultural sustainability. *Annals of Agriculture Science*, 64 (2), 151-160.
- Abegunrin, T.P., Awe, G.O., Idowu, D.O., Onigbogi, O.O. and Onofua O.E., 2013. Effect of kitchen wastewater irrigation on soil properties and growth of cucumber (*Cucumis sativus*). *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 4 (7), 139-145.
- Abuarab, M.E., El-Mogy, M.M., Hassan, A.M., Abdeldaym, E.A., Abdelkader, N.H. and El-Sawy M.B.I., 2019. The effects of root aeration and different soil conditioners on the nutritional values and water productivity of potato in clay loam soil. *Agronomy*, 9, 418.
- Acar, B., Paksoy, M., Türkmen, O. and Seymen M., 2008. Irrigation and nitrogen level affect lettuce yield in greenhouse condition. *African Journal of Biology*, 7 (24), 4450-4453.
- Agyei, P.A. and Ensink J., 2016. Wastewater use in urban agriculture: an exposure and risk assessment in Accra, Ghana. *Journal of Science and Technology*, 36 (1), 7-14.
- Ahmed, T.A. and Al-Hajri H.H., 2009. Effects of treated municipal wastewater and sea water irrigation on soil and plant characteristics. *Int. J. of Env. Research*, 3 (4), 503-510.
- Aikins, S.H.M., Afuakwa, J.J. and Owusu-Akuoko O., 2012. Effect of four different tillage practices on maize performance under rainfed conditions. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3 (1), 25-30
- Akbolat, D. and Senyigit U., 2012. Short-term effect of different irrigation water levels on soil carbon dioxide emission. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21 (12), 3869-3873.
- Akbolat, D., 2009. Tohum yatağı hazırlığında tapan kullanımının topraktan CO₂ çıkışına etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4 (1), 23-30.
- Akbolat, D., Barut, Z., Turgut, M.M. and Celik I., 2016. Soil CO₂ emissions under conventional and conservational tillage methods in soybean cultivation in Cukurova Plain of Turkey. *Agronomy Series*, 59, 15-20.
- Akbolat, D., Ekinci, K., Uysal, S. ve Onursal E., 2007. Elma bahçelerinde yabancı ot kontrolünde yaygın olarak kullanılan toprak işleme aletlerinin yabancı ot gelişimi ve topraktan CO₂ çıkışı üzerine etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3 (2), 87-96.
- Akbolat, D., Evrendilek, F., Coskan, A. and Ekinci K., 2009. Quantifying soil respiration in response to short-term tillage practices: a case study in southern Turkey. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 59 (1), 50-56.
- Akhtar, K., Wang, W., Ren, G., Khan, A., Enguang, N., Khan, A., Feng, Y., Yang, G. and Wang H., 2020. Straw mulching with inorganic nitrogen fertilizer reduces soil CO₂ and N₂O emissions and improves wheat yield. *Science of the Total Env.*, 741, 140488.
- Akın, H.F., 2015. Nilüfer Çayı ve Farklı Arıtma Tesisleri Atık Sularının Toprak Özellikleri ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Aksay, C.S., Ketenoğlu, O. ve Kurt L., 2005. Küresel ısınma ve iklim değişikliği. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, 1 (25), 29-42.
- Akşit, C., 2020. Yüzeyaltı Damla Sulama Yöntemi ile Uygulanan Farklı Sulama Suyu Miktarlarının Silajlık Mısır Verimine Etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Alaboz, P. ve Çakmakçı T., 2020. Kumlu tın ve killi tın toprakta kokopit uygulamasının tarla kapasitesi ve devamlı solma noktası üzerine etkisi. Mediterranean Agricultural Sciences, 33 (2), 285-290.
- Alagöz, M. ve Türk M., 2020. Bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üni. Ziraat Fakültesi Derg., 15 (2), 186-191.
- Al-Azzawi, G., 2018. Farklı Derinlikte Çizel ile Tohum Yatağı Hazırlığının Toprak Karbondioksit Emisyonu ve Bazı Toprak Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Alghobar, M.A. and Suresha S., 2016. Effect of wastewater irrigation on growth and yield of rice crop and uptake and accumulation of nutrient and heavy metals in soil. Applied Ecology and Environmental Sciences, 4 (3), 53-60.
- Alijani, K., Bahrani, M.J., Kazemeini, S.A. and Yasrebi J., 2021. Soil and sweet corn quality responses to tillage, residue, and nitrogen management in Southern Iran. International Journal of Plant Production, 1-12.
- Al-Kaisi, M.M. and Yin X., 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and CO₂ emission in corn-soybean rotations. Journal Environmental Quality, 34, 437-445.
- Alkhamisi, S.A., Abdelrahman, H.A., Ahmed, M. and Goosen M.F.A., 2011. Assessment of reclaimed water irrigation on growth, yield, and water-use efficiency of forage crops. Applied Water Science, 1 (1-2), 57-65.
- Alkhamisi, S.A., Ahmed, M., Al-Wardy, M., Prathapar, S.A. and Choudri B.S., 2017. Effect of reclaimed water irrigation on yield attributes and chemical composition of wheat (*Triticum aestivum*), cowpea (*Vigna sinensis*) and maize (*Zea mays* L.) in rotation. Irrigation Science, 35, 87-98.
- Allen, R.G., Pereira L.S., Raes, D. and Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56.
- Altikat, S., Celik, A. and Bilen S., 2012. Effects of various tillage systems on soil CO₂-C fluxes and bacteria and fungi populations in *Zea mays*. African Journal of Agricultural Research, 7 (19), 2926-2934.
- Angelakis, A. and Snyder S., 2015. Wastewater treatment and reuse: past, present, and future. Water, 7, 4887-4895.
- Angelakis, A.N., Koutsoyiannis, D. and Tchobanoglous G., 2005. Urban wastewater and stormwater dynamics in Ancient Greece. Water Research, 39, 210-220.
- Anonim, 2008. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/02/20080213-13.htm> (03.04.2021).
- Anonim, 2010a. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100320-7.htm> (03.04.2021).
- Anonim, 2010b. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/08/20100803-5.htm> (03.04.2021).
- Anonim, 2018. Tema. Toprağı koruyun, küresel ısınmaya el koyun, www.panel.org/tema (25.10.2018).
- Anonim, 2019. Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/707/Kullanilmis-Sularin-Yeniden-Kullanim-Alternatifleri-Havza-Bazinda-Belirlendi> (05.02.2022).
- Anonim, 2020. Tarım Ürünleri Araç Gereç İthalat İhracat ve Ticaret Anonim Şirketi (TAREKS). <https://www.tarekstohum.com.tr/%C3%BCr%C3%Bcnlerimiz/misir-tohumu/ossk-644/> (21.11.2020).

- Anonim, 2021. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler_istatistik.aspx?m=VAN (15.09.2021).
- Anonymous, 2007. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf> (05.05.2018).
- Anonymous, 2012. 2030 Water Resources Group. Background, Impact and the Way Forward. Briefing Report Prepared 195ynamic World Economic Forum Annual Meeting 2012 in Davos-Klosters, Switzerland.
- Anonymous, 2019. The State of Food and Agriculture. <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC> (15.03.2021).
- APHA, 1995. Standard Methods 195ynamic Examination of Water and Wastewater. https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf (17.10.2018).
- APHA-AWWA-WPCF, 1989. Standart methods for examination of water and wastewater. https://www.techstreet.com/standards/standard-methods-for-the-examination-of-water-and-wastewater-23rdedition?gclid=EAIaIQobChMI8cO8p8K24AIVFojVCh3qvwxIEAAYASAAEgLc_vD_BwE&sid=goog&product_id=1974889 (18.09.2018).
- Arar, A., 2006. The future role of the use of sewage effluent for irrigation in the Near East, land and water sevelopment sivision. Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI000392> (08.06.2021).
- Arıtürk, M.E. ve Erdem Y., 2011. İkinci ürün silajlık mısırın (*Zea Mays* L.) sulama zamanının planlanması ve su-verim-kalite ilişkilerinin belirlenmesi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 8 (1), 73-82
- Arıtürk, M.E., 2008. İkinci Ürün Silajlık Mısırın Sulama Zamanının Planlanması ve Su Verim Kalite İlişkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Ashiq, W., Nadeem, M., Ali, W., Zaeem, M., Wu, J., Galagedara, L., Thomas, R. and Cheema M., 2020. Biochar amendment mitigates greenhouse gases emission and global warming potential in dairy manure based silage corn in boreal climate. Environmental Pollution, 265, 114869.
- Aslan, V., 2008. Türkiye’de Su Potansiyeli ve Atıksuların Geri Kullanımı. TMMOB Su Politikaları Kongresi, Çevre ve Orman Bakanlığı-Çevre Yönetimi Genel Müd., Ankara.
- Austin, D., 2006. Influence of cation 195ynamics capacity (CEC) in a tidal flow, flood and drain wastewater treatment wetland. Ecological Engineering, 28 (1), 35-43.
- Avcı, H. and Deveci T., 2013. Assessment of trace element concentrations in soil and plants from cropland irrigated with wastewater. Ecotoxicology and Env. Safety, 98, 283-291.
- Avramidis, P., Nikolaou, K. and Bekiari V., 2015. Total organic carbon and total nitrogen in sediments and soils: a comparison of the wet oxidation-titration method with the combustion-infrared method. Agricultural Science Procedia, (4), 425-430.
- Aydın, A. ve Kahraman Ş., 2017. Diyarbakır koşullarında ana ve ikinci ürün olarak yetiştirilen tane mısırın bazı tarımsal ve teknolojik özelliklerinin biplot analiz yöntemiyle karşılaştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27 (4), 507-515.
- Aydinsakir, K., Erdal, S., Buyuktas, D., Bastug, R. and Toker R., 2013. The influence of regular deficit irrigation applications on water use, yield, and quality components of two corn (*Zea mays* L.) genotypes. Agriculture Water Management, 128, 65-71.
- Ayers, R.S. and Westcot D.W., 1994. Water Quality for Agriculture-FAO Irrigation and Drainage Paper No: 29, Food and Agr. Organisation of the United Nations, Roma.
- Ayyıldız, M., 1983. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Aziz, F. and Farissi M., 2014. Reuse of treated wastewater in agriculture: solving water deficit problems in arid areas. Annals West University Timisoara Series of Biolgy, 17, 95-117.

- Babaoğlu, 2015. Mısır Tarımı. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=89> (15.02.2021).
- Badaou, A.N.A.D. and Sahin U., 2021. Effects of sewage sludge amendment and wetting-drying cycles of wastewater irrigation on structural improvement of clay soil. *Int. Journal of Env. Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03585-8>
- Badewa, E., Unc, A., Cheema, M., Kavanagh, V. and Galagedara L., 2018. Soil moisture mapping using multi-frequency and multi-coil electromagnetic induction sensors on managed podzols. *Agronomy*, 8 (10), 224.
- Barreto, A., Do Nascimento, J., Medeiros, E., Nobrega, J. and Bezerra J., 2013. Changes in chemical attributes of a fluvent cultivated with castor bean and irrigated with wastewater. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 17, 480-486.
- Barut, B.Z., Turgut, M.M., Akbolat, D. and Celik I., 2012. Effects of tillage systems on CO₂ emissions from soil. *Int. Conference of Agr. Eng. CIGR-Ageng*, Spain.
- Barut, Z.B., Çelik İ. ve Turgut M.M., 2010. Buğday tarımında farklı toprak işleme sistemlerinin toprağın bazı fiziksel özelliklerine etkisi. *Tarım Mak. Bilimi Dergisi*, 6 (4), 237-246.
- Basso, B. and Ritchie J.T., 2018. Evapotranspiration in high-yielding maize and under increased vapor pressure deficit in the US Midwest. *Agricultural & Environmental Letter*, 3,170039.
- Başer, I. and Gençtan T., 1999. Heritability and effects of some chracters on silage yield in dent corn varieties (*Zea Mays indentata sturt.*) grown under drought conditions. *Korean Grass Science Journal*, 19 (2), 177-182.
- Bauerle, W.L., Weston, D.J., Bowden, J.D., Dudley, J.B. and Toler J.E., 2004. Leaf absorptance of photosynthetically active radiation in relation to chlorophyll meter estimates among woody plant species. *Scientia Horticulturae*, 101, 169-178.
- Becerra-Castro, C., Lopes, A.R., Vaz-Moreira, I., Silva, E.F., Manaia, C.M. and Nunes O.C., 2015. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Env. International*, 75, 117-135.
- Bedbabis, S., Rouina, B.B., Boukhris, M. and Ferrara G., 2014. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management*, 133, 45-50.
- Bedbabis, S., Trigui, D., Ahmed, C.B., Clodoveo, M.L., Camposeo, S., Vivaldi, G.A. and Rouina B.B., 2015. Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield, olive oil quality. *Agriculture Water Management*, 160, 14-21.
- Behnke, G. D., Zuber, S. M., Pittelkow, C. M., Nafziger, E. D. and Villamil M. B., 2018. Long-term crop rotation and tillage effects on soil greenhouse gas emissions and crop production in Illinois, USA. *Agr., Ecosystems & Environment*, 261, 62-70.
- Bernier, M.H., Levy, G.J., Fine, P. and Borisover M., 2013. Organic matter composition in soils irrigated with treated wastewater: FT-IR spectroscopic analysis of bulk soil samples. *Geoderma*, 209, 233-240.
- Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P., Ritchie, G.L. and Trostle C.L., 2020. Effect of deficit irrigation on physiology and forage yield of forage sorghum, pearl millet, and corn. *Crop Science*, 60 (4), 2167-2179.
- Bilandžija, D., Zgorelec, Ž. and Kisić I., 2016. Influence of tillage practices and crop type on soil CO₂ emissions. *Sustainability*, 8 (1), 90.
- Biswas, S.K. and Mojid M.A., 2018. Changes in soil properties in response to irrigation of potato by urban wastewater. *Comm. in Soil Science and Plant Analysis*, 4 (7), 828-839.
- Biswas, S.K., Mojid, M.A. and Wyseure G.C.L., 2017. Physicochemical properties of soil under wheat cultivation by irrigation with municipal wastewater in Bangladesh. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48 (1), 1-10.
- Bixio, D. and Wintgens T., 2006. *Water Reuse System Management Manual Aquarec*. Office for Official Publications of the European Communities, European Commission, Brussels, Belgium.

- Blake, G.R. and Hartge K.H., 1986a. Bulk Density. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Blake, G.R. and Hartge K.H., 1986b. Particle Density. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Blanco-Canqui, H. and Ruis S.J., 2018. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma*, 326, 164-200.
- Botti, P., Virdis, A., Solinas, G., Buscarinu, P., Ferralis, M., Marras, G., Spanu, P. and Vacca S., 2009. Reclamation and agricultural reuse of wastewater: the experience of the Cagliari sewage treatment plant (Sardinia). *Water Science Technology*, 59 (1), 65-72.
- Bouazzama, B., Xanthoulis, D., Bouaziz, A., Ruelle, P. and Mailhol J.C., 2012. Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in semi-arid climate of Tadla (Morocco). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16 (4), 1-10.
- Bozkurt S. ve Ödemiş B., 2007. Geri dönüşüm sularının damla sulamada kullanım olanakları. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Bozkurt, S. and Yazar A., 2011. Effects of different drip irrigation levels on yield and some agronomic characteristics of raised bed planted corn. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (23), 5291-5300.
- Bremner, J.M. and Mulvaney C.S., 1982. Nitrogen-Total 1. Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Buah, S.S.J., Ibrahim, H., Derigubah, M., Kuzie, M., Segtaa, J.V., Bayala, J., Zougmore, R. and Ouedraogo M., 2017. Tillage and fertilizer effect on maize and soybean yields in the Guinea savanna zone of Ghana. *Agriculture and Food Security*, 6 (1), 1-11.
- Buragiene, S., Sarauskis, E., Romanekas, K., Adamaviciene, A., Kriauciuniene, Z., Avizienyte, D., Marozas, V. and Naujokiene V., 2019. Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of the Total Environment*, 662, 786-795.
- Burak, S. and Margat J., 2016. Water management in the Mediterranean region: concepts and policies. *Water Resources Management*, 30 (15), 5779-5797.
- Burke, J.A., Lewis, K.L., Ritchie, G.L., DeLaune, P.B., Keeling, J.W., Acosta-Martinez, V., More, J.M. and McLendon T., 2021. Net positive soil water content following cover crops with no tillage in irrigated semi-arid cotton production. *Soil and Tillage Research*, 208, 104869.
- Cakmak, B., Kendirli, B. and Ucar Y., 2007. Evaluation of agricultural water use: A case study for Kizilirmak Basin. *Tekirdag Ziraat Fakultesi Dergisi*, 4 (2), 175-185.
- Cakmakci, T. and Sahin U., 2021a. Productivity and heavy metal pollution management in a silage maize field with reduced recycled wastewater applications with different irrigation methods. *J. of Environmental Management*, 291, 112602.
- Cakmakci, T. and Sahin U., 2021b. Improving silage maize productivity using recycled wastewater under different irrigation methods. *Agr. Water Management*, 255, 107051.
- Calzadilla, A., Rehman, K. and Tol R.S., 2011. Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis. *Agricultural Economics*, 42, 305-323.
- Canbolat, Ö., 2019. Yem Analiz Yöntemleri ve Yem Değerlendirme. Medyay Kitabevi Yayınları, Bursa.
- Candemir, F. ve Gülser C., 2011. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes at clay and loamy sand fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42 (1), 13-28.

- Carpici, E.B., Celik, N. and Bayram G., 2010. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. *Turkish Journal of Field Crops*, 15 (2), 128-132.
- Carroll, D.A., Hansen, N.C., Hopkins, B.G. and DeJonde K.C., 2017. Leaf temperature of maize and crop water stress index with variable irrigation and nitrogen supply. *Irrigation Science*, 35, 549-560.
- Casper, J.K., 2010. *Greenhouse Gases: Worldwide Impacts*. Infobase Publishing, 11 p, Unites States of America.
- Chaieb, N., Rezgui, M., Ayed, S., Bahri, H., Cheikh-M'hamed, H., Rezgui, M. and Annabi M., 2020. Effects of tillage and crop rotation on yield and quality parameters of durum wheat in Tunisia. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 44 (2), 7654-7676.
- Chaoua, S., Boussaa, S., El Gharmali, A. and Boumezzough A., 2019. Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. *J. of the Saudi Society of Agricultural Sci.*, 18 (4), 429-436.
- Chen, G.C., Tam, N.F.Y., Wong, Y.S. and Ye Y., 2011. Effect of wastewater discharge on greenhouse gas fluxes from mangrove soils. *Atmospheric Environment*, 45 (5), 1110-1115.
- Chen, H., Hou, H., Wang, X., Zhu, Y., Saddique, Q., Wang, Y. and Cai H., 2018. The effects of aeration and irrigation regimes on soil CO₂ and N₂O emissions in a greenhouse tomato production system. *Journal of Integrative Agriculture*, 17 (2), 449-460.
- Cheng-Fang, L., Dan-Na, Z., Zhi-Kui, K., Zhi-Sheng, Z., Jin-Ping, W., Ming-Li, C. and Cou-Gui C., 2012. Effects of tillage and nitrogen fertilizers on CH₄ and CO₂ emissions and soil organic carbon in paddy fields of central China. *PloS One*, 7 (5), e34642.
- Christou, A., Eliadou, E., Michael, C., Hapeshi, E. and Fatta-Kassinou D., 2014. Assessment of long-term wastewater irrigation impacts on the soil geochemical properties and the bioaccumulation of heavy metals to the agricultural products. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 (8), 4857-4870.
- Chunfang, W., Xiaohou, S., Huilian, X., Tingting, C. and Weina W., 2016. Effects of compound microbial inoculant wastewater irrigation on soil nutrients and enzyme activities. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9 (6), 100-108.
- Cicek, A., Karaman, M.R., Turan, M., Gunes, A. and Cigdem A., 2013. Yield and nutrient status of wheat plant (*T. aestivum*) influenced by municipal wastewater irrigation. *Journal Food Agricultural Environment*, 11, 733-737.
- Corcoran, E. 2010. *Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development*. Birkeland Trykkeri AS, 36 p, Norway.
- Cornish, G.A. and Kielen N.C., 2004. *Wastewater Irrigation-Hazard or Lifeline? Empirical results from Nairobi, Kenya and Kumasi, Ghana. Wastewater Use in Irrigated Agriculture Coordinating the Livelihood and Environmental Realities*, Ed: C.A. Faruqui, N.I. Raschid-Sally. CAB International, United Kingdom.
- Corwin, D.L. and Rhoades J.D., 1984. Measurement of inverted electrical conductivity profiles using electromagnetic induction. *Soil Science Society of America J.*, 48 (2), 288-291.
- Çağan, E., Kökten, K., Kaplan, M. ve Yılmaz H.Ş., 2018. Bazı adi fiğ hat ve çeşitlerinin (*Vicia sativa* L.) ot verimi ve ot kalitesi açısından değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22 (1), 47-61.
- Çakmakçı, T. ve Şahin U., 2020. Arıtılmış atık suyun farklı sulama yöntemleriyle uygulanmasının silajlık mısırdaki makro-mikro element ve ağır metal birikimine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17 (1), 12-23.
- Çakmakçı, T., 2018. *Farklı Yöntemlerle Değişen Seviyelerde Arıtılmış Atık Su Uygulamalarının Silajlık Mısırdaki Su Kullanımı, Bitki ve Toprak Özelliklerine Etkisi*. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çakmakçı, T., Uçar, Y. ve Erbaş S., 2016. Atık su uygulamalarının kanola'da (*brassica napus* L.) yağ oranı ve yağ asitleri kompozisyonuna etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26 (2), 145-151.

- Çamoğlu, G., Genç, L. Ve Aşık Ş., 2011. Tatlı mısırdan (*Zea mays saccharata Sturt*) su stresinin fizyolojik ve morfolojik parametreler üzerine etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 48 (2), 141-149.
- Çay, Ş., 2013. Konya Kentsel Atık Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılması ve Mısır Bitkisi Yetiştiriciliğine Etkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Çelebi F.G. ve Türk M., 2021. Yüzey altı damla sulama yöntemi ile sulanan silajlık mısırdan (*Zea Mays L.*) kısıtlı su uygulamalarının verim ve kalite üzerine etkileri. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16 (2), 207-213.
- Çelebi, R., Çelen, A.E., Çelebi Zorer, Ş. ve Şahar A.K., 2010. Farklı azot ve fosfor dozlarının mısırın (*Zea mays L.*) silaj verimi ve kalitesine etkisi. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 24 (4), 16-24.
- Çevik, 2012. Mısır Raporu. Ulusal Hububat Konseyi (UHK), Konya.
- Çıkman, A., Monis, T., Acar, A.S. ve Vurarak Y., 2017. Şanlıurfa koşullarında buğday ve mısır münavebesinde geleneksel toprak işleme ile anıza doğrudan ekim yöntemlerinin verime olan etkileri. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 13 (2), 113-119.
- Çiğdem, İ. ve Uzun F., 2006. Samsun ili taban alanlarında ikinci ürün olarak yetiştirilebilecek bazı silajlık sorgum ve mısır çeşitleri üzerine bir araştırma. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 21 (1), 14-19.
- Da Silva, P.C.G., Tiritan, C S., Echer, F.R., dos Santos Cordeiro, C.F., Rebonatti, M.D. and dos Santos C.H., 2020. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. Field Crops Research, 258, 107947.
- Dagdelen, N., Yılmaz, E., Sezgin, F. and Gurbuz T., 2006. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum L.*) and second crop corn (*Zea mays L.*) in western Turkey. Agricultural Water Management, 82, 63-85.
- Dağdelen, N., Akçay, H., Sezgin, F., Ünay, A. ve Gürbüz T., 2009. Farklı sulama rejimleri altında silajlık mısırın su üretim fonksiyonlarının belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 7, 53-64.
- Dalal, R.C., Allen, D.E., Wang, W.J., Reeves, S. and Gibson I., 2011. Organic carbon and total nitrogen stocks in a Vertisol following 40 years of no-tillage, crop residue retention and nitrogen fertilisation. Soil and tillage research, 112 (2), 133-139.
- Danielson, R.E. and Sutherland P.L., 1986. Porosity. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- De Oliveira Silva, B., Moitinho, M.R., de Araujo Santos, G.A., Teixeira, D.D.B., Fernandes, C. and La Scala Jr N., 2019. Soil CO₂ emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations. Soil and Tillage Research, 186, 224-232.
- De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N. and Pisante M., 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil and Tillage Research, 92 (1-2), 69-78.
- Delibacak, S., Okur, B. and Ongun A.R., 2009. Effects of treated sewage sludge levels on temporal variations of some soil properties of a Typic Xerofuvent soil in Menemen Plain, Western Anatolia Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 148, 85-95.
- Demir Dogan, A. and Sahin U., 2017. Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. Environmental Science and Pollution Research, 24 (32), 24856-24879.
- Demir Dogan, A. and Sahin U., 2020. Effects of recycled wastewater applications with different irrigation practices on the chemical properties of a vertisol. Environmental Engineering Science, 37 (2), 132-141.
- Demir Doğan, A 2016. Farklı Sulama Stratejileri ile Atık Su Uygulamalarının Bingöl Koşullarında Domates Bitkisinin Verim ve Kalitesi ile Toprak Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Denardin, L.G.D.O., Carmona, F.D.C., Veloso, M.G., Martins, A.P., de Freitas, T.F.S., Carlos, F.S., Marcolin, E., Camargo, F.A.D.O. and Anghinoni I., 2019. No-tillage increases irrigated rice yield through soil quality improvement along time. *Soil and Tillage Research*, 186, 64-69.
- Denef, K., Stewart, C.E., Brenner, J. and Paustian K., 2008. Does long-term center-pivot irrigation increase soil carbon stocks in semi-arid agro-ecosystems? *Geoderma*, 145, 121-129.
- Denek, N., Can, A. ve Tüfenk Ş., 2004. Mısır, sorgum ve ayçiçeği hasıllarına değişik katkı maddeleri katılmasının silaj kalitesi ve in vitro kuru madde sindirimine etkisi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (2), 1-10.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., da Silva Dias, P.L., Wofsy, S.C. and Zhang X., 2007. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, M. Qin, Z. Manning, K.B. Marquis, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 500-547.
- Deveci, M. ve Tuğrul B., 2017. Ispanakta tuz stresinin yaprak fizyolojik özelliklerine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 89-98.
- Ding, W., Cai, Y., Cai, Z., Yagi, K. and Zheng X., 2007. Soil respiration under maize crops: effects of water, temperature, and nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 71 (3), 944-951.
- Ding, Z., Kheir, A.M.S., Ali, M.G.M., Ali, O.A.M., Abdelaal, A.I.N., Lin, X., Zhou, Z., Wang, B., Liu, B. and He Z., 2020. The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. *Scientific Reports*, 10, 2736.
- Djaman, K., Irmak, S., Rathje, W.R., Martin, D.J. and Eisenhauer D.E., 2013. Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *Transactions of the ASABE*, 56 (2), 273-293.
- Drechsel, P., Blumenthal, U.J. and Keraita B., 2002. Balancing health and livelihoods, Adjusting wastewater irrigation guidelines for resource-poor countries. *Urban Agriculture Magazine*, 8, 7-9.
- Drechsel, P., Graefe, S., Sonou, M. and Cofie, O.O., 2006. Informal Irrigation in Urban West Africa: An Overview Int. Water Management Institute (IWMI). Colombo, Sri Lanka.
- Drechsel, P., Scott, A., Sally, R., Redwood, M. and Bachir A., 2010. Wastewater Irrigation and Health. Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries, Ed: P. Drechsel, C.A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood, A. Bahri, International Water Management Institute, Earthscan, London, United Kingdom.
- DSİ, 2020. 2020 Yılı Faaliyet Raporu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 41 s, Ankara, Türkiye.
- Du, Y., Gu, X., Wang, J. and Niu W., 2019. Yield and gas exchange of greenhouse tomato at different nitrogen levels under aerated irrigation. *Sci. Total Environ.* 668, 1156-1164.
- Du, Z.L., Ren, T.S., Hu, C.S., Zhang, Q.Z. and Blanco-Canqui H., 2013. Soil aggregate stability and aggregate-associated carbon under different tillage systems in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 12 (11), 2114-2123.
- Duman, H., 2017. Arıtılmış Kentsel Atık Suların Sulamada Yeniden Kullanımı; Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği. Uzmanlık Tezi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Eaton, F.M., 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science*, 69, 123-133.
- Ekinci, R. ve Başbağ S., 2019. Kısıntılı sulamanın pamuğun (*G. Hirsutum L.*) bazı morfolojik özelliklerine etkilerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üni. Tarım Bil. D.*, 29 (4), 792-800.

- Elik, N. ve Sakin E., 2021. Toprağa uygulanan farklı nem ve biyoçarın CO₂-C emisyonuna ve NO₃-NH₄ içeriğine etkisi. ADYUTAYAM, 9 (1), 1-12.
- El-Nahhal, Y., Tubail, K., Safi, M. and Safi J.M., 2013. Effect of treated waste water irrigation on plant growth and soil properties in Gaza Strip, Palestine. American Journal of Plant Sciences, 4, 1736-1743.
- Ensink, J.H., Mahmood, T., Van der Hoek, W., Raschid-Sally, L. and Amerasinghe F.P., 2004. A nationwide assessment of wastewater use in Pakistan: An obscure activity or a vitally important one? Water Policy, 6, 197-206.
- Entry, J.A., Mills, D., Mathee, K., Jayachandran, K., Sojka, R.E. and Narasimhan G., 2008. Influence of irrigated agriculture on soil microbial diversity. Applied Soil Ecology Journal, 40, 146-154.
- EPA, 2004. Guidelines For Water Reuse. United States Environmental Protection Agency, Washington, USA.
- Ercin, A.E. and Hoekstra A.Y., 2014. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. Environment International, 64, 71-82.
- Erdal, Ş., Pamukçu, M., Ekiz, H., Soysal, M., Savur, O. ve Toros A., 2009. Bazı silajlık mısır çeşit adaylarının silajlık verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22 (1), 75-81.
- Erel, R., Eppel, A., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Levy, G., Zipori, I., Schaumann, G. E. and Dag A., 2019. Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management, soil chemistry and olive (*Olea europaea L.*) performance. Agricultural Water Management, 213, 324-335.
- Ergül, F.Y., 2011. Farklı Toprak İşleme ve Ekim Nöbeti Sistemleri Altında Su Bütçesi, Bazı Toprak Fiziksel Özellikleri ve Buğday Verimindeki Değişimlerin Saptanması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ertek, A. and Kara B., 2013. Yield and quality of sweet corn under deficit irrigation. Agricultural Water Management, 129, 138-144.
- Eşiyok, D., Bozokalfa, M.K. ve Atnan U., 2004. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen şeker mısır (*Zea mays L. Var. Saccharata*) çeşitlerinin verim kalite ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi D., 41 (1), 35-46.
- Evans, S.E. and Burke I.C., 2013. Carbon and nitrogen decoupling under an 11-year drought in the shortgrass steppe. Ecosystems, 16, 20-33.
- FAO, 2020. The State of Food and Agriculture. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal_eng.pdf (12.05.2021).
- Farahat, E. and Linderholm H.W., 2013. Effects of treated wastewater irrigation on size-structure, biochemical products and mineral content of native medicinal shrubs. Ecological Engineering, 60, 235-241.
- Fares, A., Bensley, A., Bayabil, H., Awal, R., Fares, S., Valenzuela, H. and Abbas F., 2017. Carbon dioxide emission in relation with irrigation and organic amendments from a sweet corn field. Journal of Environmental Science and Health, 52 (6), 387-394.
- Farhad, W., Saleem, M.F., Cheema, M.A., Khan, H.Z. and Hammad H.M., 2011. Influence of poultry manure on the yield and quality of spring maize. Crop and Env., 2 (1), 6-10.
- Farhadkhani, M., Nikaeen, M., Yadegarfar, G., Hatamzadeh, M., Pourmohammadbagher, H., Sahbaei, Z. and Rahmani H.R., 2018. Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. Water Research, 144, 356-364.
- Fattahi, F., Danshvar, M., Rahmani, H.R., Modarress Sanavy, S.A.M. and Sami M., 2020. Effect of irrigation with municipal wastewater on heavy metal and fecal coliform concentrations in plant and soil. Global NEST Journal, 22 (1), 42-47.
- Feder, F., 2021. Irrigation with treated wastewater in humid regions: Effects on Nitisols, sugarcane yield and quality. Agricultural Water Management, 247, 106733.

- Feng, Y., Motta, A.C., Reeves, D.W., Burmester, C.H., Van Santen, E. and Osborne J.A., 2003. Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (12), 1693-1703.
- Fernández-Luqueño, F., Reyes-Varela, V., Cervantes-Santiago, F., Gómez-Juárez, C., Santillán-Arias, A. and Dendooven L., 2010. Emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from soil receiving urban wastewater for maize (*Zea mays* L.) cultivation. *Plant and Soil*, 331 (1), 203-215.
- Fernández-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M.J., Enrique, A. and Karlen D.L., 2009. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. *Soil Tillage Research*, 106, 29-35.
- Follett, R.F., Jantalia, C.P. and Halvorson A.D., 2013. Soil carbon 202dynamics for irrigated corn under two tillage systems. *Soil Science Society of America*, 77, 951-963.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. and Dorland R.V., 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Ed: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Tignor, H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 129-234.
- Franco-Luesma, S., Cavero, J., Plaza-Bonilla, D., Cantero-Martínez, C., Arrúe, J.L. and Alvaro-Fuentes J., 2020. Tillage and irrigation system effects on soil carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) emissions in a maize monoculture under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*, 196, 104488.
- Fredj, F.B., Wali, A., Khadhraoui, M., Han, J., Funamizu, N., Ksibi, M. and Isoda H., 2014. Risk assessment of heavy metal toxicity of soil irrigated with treated wastewater using heat shock proteins stress responses: case of El Hajeb, Sfax, Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 21 (6), 4716-4726.
- Gal, A., Vyn, T.J., Michéli, E., Kladienko, E.J. and McFee W.W., 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil and Tillage Research*, 96 (1-2), 42-51.
- Galavi, M., Jalali, A., Ramroodi, M., Mousavi, S.R. and Galavi H., 2010. Effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and heavy metal uptake by sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Agricultural Science*, 2 (3), 235-241.
- García-Marco, S., Gómez-Rey, M.X. and González-Prieto S.J., 2014. Availability and uptake of trace elements in a forage rotation under conservation and plough tillage. *Soil and Tillage Research*, 137, 33-42.
- Gee, G.W. and Bauder J.W., 1986. Particle-Size Analysis. *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Gerten, D., Lucht, W., Ostberg, S., Heinke, J., Kowarsch, M., Kreft, H., Kundzewicz, Z. W., Rastgooy, J., Warren, R. And Schellnhuber H.J., 2013. Asynchronous exposure to global warming: freshwater resources and terrestrial ecosystems. *Environmental Research Letters*, 8 (3), 1-12.
- Gezgin, S. ve Hamurcu M., 2006. Bitki beslemede besin elementleri arasındaki etkileşimin önemi ve bor ile diğer besin elementleri arasındaki etkileşimler. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*. 20 (39), 24-31.
- Ghanbari, A., Abedi, K.J. and Taie S.J., 2007. Effect of municipal wastewater irrigation on yield and quality of wheat and some soil properties in Sistan Zone. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10, 59-75.
- Ghosh, T., Maity, P.P., Das, T.K., Krishnan, P., Bhatia, A., Bhattacharya, P. and Sharma D.K., 2020. Variation of porosity, pore size distribution and soil physical properties under conservation agriculture. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90 (11), 2051-2058.

- Glenn, E.P., Mckeon, C., Gerhart, V., Nagler, P.L., Jordan, F. and Artiola J., 2009. Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city. *Landscape and Urban Planning*, 89 (3-4), 57-64.
- Gomaa, M.A., Kandil, E.E., El-Dein, A.A.M.Z., Abou-Donia, M.E.M., Ali, H.M. and Abdelsalam N.R., 2021. Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress, *Science Reports*, 11, 224.
- Gómez-Rey, M.X., García-Marco, S. and González-Prieto S.J., 2014. Soil P and cation availability and crop uptake in a forage rotation under conventional and reduced tillage. *Soil Use and Management*, 30 (4), 445-453.
- Gonzalez-Mendez, B., Webster, R., Fiedler, S., Loza-Reyes, E., Hernandez, J.M., Ruiz-Suarez, L.G. and Siebe C. 2015. Short-term emissions of CO₂ and N₂O in response to periodic flood irrigation with waste water in the Mezquital Valley of Mexico. *Atmospheric Environment*, 101, 116-124.
- Gosai, K., Arunachalam, A. and Dutta B.K., 2010. Tillage effects on soil microbial biomass in a rainfed agricultural system of northeast India. *Soil and Tillage Res.*, 109 (2), 68-74.
- Gourbesville, P. 2008. Integrated water resources management in a changing World. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33 (5), 284-289.
- Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Adiguzel, M.C. and Dasci E., 2020. Energy use efficiency of deficit-irrigated silage maize in different soil tillage practices on a high plain with a semi-arid climate. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66 (12), 1611-1626.
- Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A. and Adiguzel M.C., 2014. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *Catena*, 118, 195-205.
- Gönülal, E. ve Soylu S. 2019. Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde farklı fenolojik dönemlerdeki su kısıntılarının bazı tarımsal özellikler üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6 (4), 753-758.
- Gözübüyük, Öztürk, İ., Demir, O. ve Çelik A., 2012b. Erzurum kuru tarım koşullarında farklı toprak işleme-ekim sistemlerinin toprak nem değişimine etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8 (4), 365-374.
- Gözübüyük, Z., Çelik, A., Öztürk, İ., Demir, O. ve Adigüzel M.C., 2012a. Buğday üretiminde farklı toprak işleme-ekim sistemlerinin enerji kullanım etkinliği yönünden karşılaştırılması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8 (1), 25-34.
- Grant C.A, Buckley, W.T., Bailey, L.D. and Selles F., 1998. Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 78, 1-17.
- Guan, D., Al-Kaisi, M.M., Zhang, Y., Duan, L., Tan, W., Zhang, M. and Li Z., 2014. Tillage practices affect biomass and grain yield through regulating root growth, root bleeding sap and nutrients uptake in maize. *Field Crops Research*, 157, 89-97.
- Guardia, G., Cangani, M.T., Andreu, G., Sanz-Cobena, A., García-Marco, S., Álvarez, J.M., Recio-Huetos, J. and Vallejo, A., 2017. Effect of inhibitors and fertigation strategies on GHG emissions, NO fluxes and yield in irrigated maize. *Field crops Res.*, 204, 135-145.
- Guardiola-Claramonte, M., Sato, T., Choukr-Allah, R. And Qadir M., 2012. Wastewater Production, Treatment and Reuse Around the Mediterranean Region: Current Status and Main Drivers. *Integrated Water Resources Management in the Mediterranean Region*, Ed: R. Choukr-Allah, R. Ragab, R. Rafael Rodriguez-Clemente. Springer International Publishing, Germany, 139-174.
- Guo, L., Wang, X., Wang, S., Tan, D., Han, H., Ning, T. and Li, Q., 2019. Tillage and irrigation effects on carbon emissions and water use of summer maize in North China Plains. *Agricultural Water Management*, 223, 105729.
- Gupta, M., Bali, A.S., Kour, S., Bharat, R. and Bazaya B.R., 2011. Effect of tillage and nutrient management on resource conservation and productivity of wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agronomy*, 56 (2), 116.

- Gupta, S., Satpati, S., Nayek, S. and Garai D., 2010. Effect of wastewater irrigation on vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 165 (1), 169-177.
- Günen, M., 2016. Tokat Zile Ekolojik Koşullarında Ana Ürün Olarak Yetiştirilebilecek Silajlık Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Verim Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Güneş, A., 2007. Allüviyal Materyaller Üzerinde Oluşan Topraklarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin (*Zea mays* L.) Verim ve Besin İçeriği Üzerine Organik ve Mineral Gübre Uygulamalarının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enstitüsü, Erzurum.
- Güney, E. ve Tan M., 2019. Yüksek rakımda farklı olgunlaşma süresine sahip silajlık mısır çeşitlerinin ekim zamanlarının belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 314-321.
- Güney, E., 2005. Erzurum Şartlarında Silajlık Amacıyla Yetiştirilen Bazı Bitkilerin Verim, Bitkisel Özellikler ve Silaj Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Güney, E., Tan M., Gül, Z.D. ve Gül İ., 2010. Erzurum şartlarında bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve silaj kalitelerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (2), 105-111.
- HACH, 2005. DR 5000 Spectrometer Procedures Manuel. <http://tr.hach.com/quick.Searchdownloadsearch.jsa?keywords=kullan%C4%B1> (17.10.2018).
- HACH, 2010. Hach Bodtrak II. <http://tr.hach.com/bod-trak-ii-aksesuarlar-ile-birlikte-respirometrikboi-aparat/productdownloadsd> (17.10.2018).
- Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L.E., Katterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jorgensen, H.B. and Isberg P.E. 2017. How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 5 (1), 1-8.
- Haffani, S., Mezni, M., Slama, I., Ksontini, M. and Chaibi W., 2014. Plant growth, water relations and proline content of three vetch species under water-limited conditions. *Grass and Forage Science*, 69 (2), 323-333.
- Haile-Mariam, S., Collins, H.P. and Higgins S.S., 2008. Greenhouse gas fluxes from an irrigated sweet corn (*Zea mays* L.)-potato (*Solanum tuberosum* L.) rotation. *Journal of Environmental Quality*, 37 (3), 759-771.
- Hajhashemi, S., Mbarki, S., Skalicky, M., Noedoost, F., Raeisi, M. and Brestic M., 2020. Effect of wastewater irrigation on photosynthesis, growth, and anatomical features of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Water*, 12 (2), 607.
- Hamilton, A.J., Stagnitti, F., Xiong, X., Kreidl, S.L., Benke, K.K. and Maher P., 2007. Wastewater irrigation: the state of play. *Vadose Zone Journal*, 6, 823-840.
- Hanjra, M.E. and Qureshi M.E., 2010. Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*, 35 (5), 365-377.
- Hassanli, A.M., Ebrahimizadeh, M.A. and Beecham S., 2009. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. *Agricultural Water Management*, 96 (1), 93-99.
- Hatfield, J.L. and Dold C., 2019. Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 10, 103.
- He, J., Li, H., Rasaily, R.G., Wang, Q., Cai, G., Su, Y., Qiao X. and Liu L., 2011. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research*, 113 (1), 48-54.
- Hirich, A., Choukr-Allah, R. and Jacobsen S.E., 2014. The combined effect of deficit irrigation by treated wastewater and organic amendment on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) productivity. *Desalination and Water Treatment*, 52 (10-12), 2208-2213.
- Hoekstra, A.Y., 2014. Water scarcity challenges to business. *Nature Climate Change*, 4 (5), 318-325.

- Hou, H., Chen, H., Cai, H., Yang, F., Li, D. and Wang F., 2016. CO₂ and N₂O emissions from loess soils of greenhouse tomato fields under aerated irrigation. *Atmospheric Environment*, 132, 69-76.
- Hou, H., Han, Z., Yang, Y., Abudu, S., Cai, H. and Li Z., 2020. Soil CO₂ emissions from summer maize fields under deficit irrigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4442-4449.
- Hou, H., Yang, Y., Han, Z., Cai, H. and Li Z., 2019. Deficit irrigation effectively reduces soil carbon dioxide emissions from wheat fields in Northwest China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (12), 5401-5408.
- Hou, R., Ouyang, Z., Li, Y., Tyler, D.D., Li, F. and Wilson G.V., 2011. Effects of tillage and residue management on soil organic carbon and total nitrogen in the North China plain. *Soil Science Society of America Journal*, 75 (6), 1-11.
- Hou, X. and Li R., 2019. Interactive effects of autumn tillage with mulching on soil temperature, productivity and water use efficiency of rainfed potato in loess plateau of China. *Agricultural Water Management*, 224, 105747.
- Houghton, J., 2005. Global warming. *Reports on Progress in Physics*, 68 (6), 1343-1403.
- Howell, T.A., 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, 93, 281-289.
- Huibers, F.P., Moscoso, O., Duran, A. and Van Lier J.B., 2005. Use of wastewater in agriculture: The water chain approach. *Irrigation Drainage*, 54, S3-S9.
- Igbadun, H.E., Salim, B.A., Tarimo, A.K. and Mahoo H.F., 2008. Effects of deficit irrigation scheduling on yields and soil water balance of irrigated maize. *Irrigation Science*, 27 (1), 11-23.
- IMKO, 2018. TRIME-TDR Use Guide. <https://imko.de/en/about-trime-tdr> (01.05.2019)
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report, A Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 42 p, New York, USA.
- Isildar, A.A., Bayhan, A.K., Erdal, I. and Kaya M., 2004. Tillage impacts on organic matter and plant nutrients in a loam soil of dryland in Turkey. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 50 (6), 623-629.
- Jabro, J.D., Sainju, U., Stevens, W.B. and Evans R.G., 2008. Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *Journal of Environmental Management*, 88 (4), 1478-1484.
- Jaja, N., Mbila, M., Codling, E.E., Reddy, S.S. and Reddy C.K., 2013. Trace metal enrichment and distribution in a poultry litter-amended soil under different tillage practices. *The Open Agriculture Journal*, 7 (1), 88-95.
- Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M.J. and Van Der Zee S., 2008. Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. *Agricultural Water Management*, 95 (2), 143-153.
- Jamei, R., Heidari, R., Khara, J. and Zare S., 2009. Hypoxia induced changes in the lipid peroxidation, membrane permeability, reactive oxygen species generation, and antioxidative response systems *Zea mays* leaves. *Turkish J. of Biology*, 33 (1), 45-52.
- János, N., 2010. Impact of fertilization and irrigation on the correlation between the soil plant analysis development value and yield of maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41 (11), 1293-1305.
- Jimenez, B. and Asano T., 2008. Water Reclamation and Reuse around the World. *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*, Ed: B. Jimenez, T. Asano. IWA Publishing, London, 648.
- Jimenez, B., 2006. Irrigation in developing countries using wastewater. *International Review for Environmental Strategies*, 6, 229-250.

- Jimenez, B., Drechsel, P., Kone, D., Bahri, A., Raschid-Sally, L. and Qadir M., 2010a. Wastewater, Sludge and Excreta Use in Developing Countries: an Overview. Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries, 1st ed., Ed: P. Drechsel, C.A. Scott, L. Raschid-sally, M. Redwood, A. Bahri. Earthscan, London, United Kingdom, 1-27.
- Jimenez, B., Mara, D., Carr, R. and Brissaud F., 2010b. Wastewater Treament for Pathogen Removal and Nutrient Conservation: Suitable Systems for Use in Developing Countries. Earthscan, 65 p, London, United Kingdom.
- Jug, I., Jug, D., Kovačević, D., Durdević, B. and Stipešević B., 2015. Heavy metals concentration in soybean as affected by different tillage systems in Baranja region. Journal Udk Berlin- Universität der Künste Berlin, 633 (546), 107-112.
- Kabakçı, S., 2014. Iğdır Ekolojik Şartlarına Uygun Silajlık Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Iğdır.
- Kabay, T. ve Alp Y., 2017. Kuraklık stresinin bazı yerli ve ticari domates çeşitlerinde bitki gelişimi üzerine etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri D., 27 (3), 387-395.
- Kacar, B., 2014. Bitki, Toprak ve Gübre Analizleri-2. Nobel Yayınları, Ankara.
- Kadioğlu, B. ve Canbolat M.Y., 2019 Organik ve inorganik materyallerin ince bünyeli toprağa ilavesi ile hazırlanan yetiştirme ortamlarının hidrofiziksel özellikleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 50 (2), 107-114.
- Kale, H., Kaplan, M., Ulger, I., Unlukara, A. and Akar T., 2018. Feed value of maize (*Zea mays* var. *indentata* (Sturtev.) LH Bailey) grain under different irrigation levels and nitrogen doses. Turkish Journal of Field Crops, 23 (1), 56-61.
- Kamizoulis, G., 2008. Setting health based targets for water reuse (in agriculture). Desalination, 218, 154-163.
- Kan, Z.R., Virk, A.L., Wu, G., Qi, J.Y., Ma, S.T., Wang, X., Zhao, X., Lal, R. and Zhang H.L., 2020. Priming effect intensity of soil organic carbon mineralization under no-till and residue retention. Applied Soil Ecology, 147, 103445.
- Kanber, R. ve Ünlü M., 2010. Tarımda Su ve Toprak Tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana.
- Kanber, R., 2010. Tarla Sulama Sistemleri. Çukurova Üni. Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana.
- Kaplan, A., 2010. Arıtılmış Atık Suların Yeniden Kullanımı. Çevre ve Orman Uzmanlık Tezi, Çevre ve Orman Bakanlığı-Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kaplan, M., Baran, O., Unlukara, A., Kale, H., Arslan, M., Kara, K., Beyzi, S.B., Konca, Y. and Ulas A., 2016. The effects of different nitrogen doses and irrigation levels on yield, nutritive value, fermentation and gas production of corn silage. Turkish Journal of Field Crops, 21 (1), 101-109.
- Kara, S., 2011. Konya Ekolojik Koşullarında Damla Sulama Yöntemi ile Sulanan Mısır Bitkisinde Su-Verim İlişkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üni. Fen Bil. Ens., Konya.
- Karasu, A., Kusu, H., Mehmet, O.Z. and Bayram G., 2015. The effect of different irrigation water levels on grain yield, yield components and some quality parameters of silage maize (*Zea mays indentata* Sturt.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 43 (1), 138-145.
- Karaşahin, M. 2008. Konya Ekolojik Koşullarında Farklı Olum Grubundan Hibrit Mısır Çeşitlerinin (*Zea mays* L.) Damla ve Karık Sulama Yöntemlerinde Optimum Bitki Sıklığının Tespiti. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaur, R., Wani, S., Singh, A. and Lal K., 2012. Wastewater Production, Treatment and Use in India. 2nd Regional Workshop on Safe Use of Wastewater in Agriculture, New Delhi, India.
- Kaya, S., 2011. Farklı sulama programları altında kayısı yaprak su içeriği ve yaprak alanının değerlendirilmesi. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1 (2), 59-67.
- Kayıkçıoğlu, H.H. ve Okur N., 2012. Sera gazı salınımlarında tarımın rolü. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9 (2), 25-38.

- Kemper, W.D. and Rosenau R.C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Keskin, B., Akdeniz, H., Temel, S. ve Eren B., 2018. Farklı tane mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin besleme değerlerinin belirlenmesi. Atatürk Üni. Ziraat Fakültesi Dergisi, 49 (1), 15-19.
- Keten, M., 2020. Kısıntılı Sulama Koşullarında Bitki Stres İndeksleri (CWSI ve WDI) Kullanılarak Silajlık Mısır ve Sorgum Bitkilerinin Su-Verim İlişkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni. Fen Bil. Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Khalid, S., Shahid, M., Bibi, I., Sarwar, T., Shah, A. H. and Niazi N.K., 2018. A review of environmental contamination and health risk assessment of wastewater use for crop irrigation with a focus on low and high-income countries. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15 (5), 1-36.
- Khan, A., Javid, S., Muhmood, A., Mjeed, T., Niaz, A. and Majeed A., 2013. Heavy metal status of soil and vegetables grown on peri-urban area of Lahore district. Soil and Environment, 32, 49-54.
- Khan, M.A., Shaukat, S.S. and Khan M.A., 2009. Growth, yield and nutrient content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) using treated wastewater from waste stabilization ponds. Pakistan Journal of Botany, 41(3), 1391-1399.
- Khan, M.A., Shaukat, S.S., Hany, O. and Jabeen S., 2010. Irrigation of sorghum crop with waste stabilization pond effluent: growth and yield responses. Pakistan Journal Botany, 42 (3), 1665-1674.
- Khaskhoussy, K., Kahlaoui, B., Nefzi, B.M., Jozdan, O., Dakheel, A. and Hachicha M., 2015. Effect of treated wastewater irrigation on heavy metals distribution in a Tunisian soil. Engineering, Technology & Applied Science Research, 5, 805-810.
- Khurana, M.P.S. and Singh P., 2012. Waste water use in crop production: a review. Resources and Environment, 2 (4), 116-131.
- Kırtok, Y., 1998. Mısır Üretimi ve Kullanımı. Kocaoluk Basım ve Yayınevi, 448 s, İstanbul.
- Kim, D.G., Vargas, R., Bond-Lamberty, B. and Turetsky M., 2012. Effects of soil rewetting and thawing on soil gas fluxes: a review of current literature and suggestions for future research. Biogeosciences, 9 (7), 2459-2483.
- Kirnak, H., Tas, I., Kaya, C. and Higgs D., 2002. Effects of deficit irrigation on growth, yield and fruit quality of eggplant under semi-arid conditions. Australian Journal of Agricultural Research, 53 (12), 1367-1373.
- Kiziloglu, F.M., Şahin, U., Kuşlu, Y. and Tunc T., 2009. Determining water-yield relationship, water use efficiency, crop and pan coefficients for silage maize in a semi arid region. Irrigation Science, 27, 129-137.
- Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Angin, I., Anapali, O. and Okuroglu M., 2007. Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage-plant (*brassica oleracea* var. *Capitate* cv. Yalova-1) chemical properties. J. of Plant Nutrition and Soil Science, 170 (1), 166-172.
- Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y. and Dursun A., 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *rubra*) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management, 95 (6), 716-724.
- Klute, A., 1986. Water Retention. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Knudsen, D., Peterson, G.A. and Pratt P.F., 1982. Lithium, Sodium, and Potassium. Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Kobaissi, A.N., Kanso, A.A. and Kanbar H.J. 2014. Translocation of heavy metals in *Zea mays* L. treated with wastewater and consequences on morphophysiological aspects. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 30 (2), 297-305.

- Kobak, Ö. ve Taş İ., 2021. İkinci ürün silajlık mısırdaki dinamik sulama programının verim ve morfolojik özellikler üzerine etkisi. Adnan Menderes Üni. Ziraat Fak. D., 18 (1), 49-57.
- Koca, A., 2013. Bazı Mısır Çeşitlerinin Kayseri Koşullarında Yeşil Gübre Uygulamasından Sonra Silaj Amacıyla Yetiştirilebilme Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koçyiğit, R., 2008. Karasal ekosistemde karbon yönetimi ve önemi. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 25 (1), 81-85.
- Kovacs, G.P. and Gyuricza C., 2012. The impact of different tillage systems and nutrient levels on the biomass and Brix values of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). African Journal of Agricultural Research, 7 (26), 3800-3805.
- Kökten, K., Kaplan, M. ve Akçura A.M., 2017. Farklı çevrelerde yetiştirilen silajlık mısır çeşitlerinin kuru ot verimi ile bazı kalite özellikleri arasındaki ilişkilerinin çeşit özellik biplot analizi ile değerlendirilmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 20, 46-51.
- Křištof, K., Šima, T., Nozdrovický, L. and Findura P., 2014. The effect of soil tillage intensity on carbon dioxide emissions released from soil into the atmosphere. Agronomy Research, 12 (1), 115-120.
- Kudal, M. ve Müftüoğlu N.M., 2014. Kentsel atık su ile sulanan topraklarda bazı verimlilik özelliklerinin incelenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üni. Ziraat Fak. D., 2 (1), 77-81.
- Kumar, R. and Kumari D., 2020. Effect of establishment techniques and cropping systems on transformation of zinc in alluvial soil under conservation agriculture. International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 9(3), 2585-2594.
- Kuscu, H., Turhan, A., Ozmen, N., Aydinol, P. and Demir A.O., 2014. Optimizing levels of water and nitrogen applied through drip irrigation for yield, quality, and water productivity of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Horticulture Environment and Biotechnology, 55 (2), 103-114.
- Kuslu, Y., Dursun, A., Sahin, U., Kiziloglu, F.M. and Turan M., 2008. Effect of deficit irrigation on curly lettuce grown under semiarid conditions. Spanish Journal of Agricultural Research, 4, 714-719.
- Kuş, E. ve Yıldırım Y., 2017. Geleneksel ve azaltılmış toprak işleme şartlarına bağlı olarak bazı toprak özelliklerinin belirlenmesi. Iğdır Üni. Fen Bil. Enstitüsü Dergisi, 7 (4), 51-61.
- Kuşçu, H., 2010. Bursa Koşullarında Yetiştirilen Mısır Bitkisinde Kısıntılı Sulamanın Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Uludağ Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kuşvuran, A., Kaplan, M., Nazlı, R.I., Saruhan, V. ve Karadağ Y., 2015. Orta Kızılırmak Havzası ekolojik koşullarında bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin silajlık olarak yetiştirilme olanaklarının belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üni. Zir. Fak. D., 32 (1), 57-67.
- Küçük, B., 2011. Bazı Silajlık Mısır Çeşitlerinde Morfolojik Özelliklerin ve Yem Verimlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Küçükbalbay, M. ve Akbolat D., 2015. Nohut yetiştiriciliğinde farklı toprak işleme ve ekim yöntemlerinin incelenmesi. Süleyman Demirel Üni. Ziraat Fak. Dergisi, 10 (2), 1-10.
- Küçükhemek, M., 2010. Konya Atıksu Arıtma Tesisinde Artılmış Atıksuların Pilot Ölçekte Geri Kazanımı ve Alternatif Bir Su Kaynağı Olarak Yeşil Alan Sulamasında Yeniden Kullanımı Projesi. T.C. Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) Genel Müd., <https://konya.bel.tr/dosyalar/mevka/4.doc> (06.06.2021).
- Lado, M., Bar-Tal, A., Azenkot, A., Assouline, S., Ravina, I., Erner, Y., Finei, P., Dasberg, S. and Ben-Hur M., 2012. Changes in chemical properties of semiarid soils under long-term secondary treated wastewater irrigation. Soil Science Society of America Journal, 76(4), 1358-1369.
- Lamparter, A., Bachmann, J., Goebel, M.O. and Woche S.K., 2009. Carbon mineralization soil: impact of wetting-drying, aggregation and water repellency. Geoderma, 150, 324-333.

- Lavrnic, S., Zapater-Pereyra, M. and Mancini M.L., 2017. Water scarcity and wastewater reuse standards in Southern Europe: focus on agriculture. *Water, Air and Soil Pollution*, 228 (7), 1-12.
- Lee, R.J. and Cole S.R., 1994. Internal quality control samples for water bacteriology. *Journal of Applied Bacteriology*, 76, 270-274.
- Li, P., Wang, X., Zhang, T., Zhou, D. and He Y., 2008. Effects of several amendments on rice growth and uptake of copper and cadmium from a contaminated soil. *Journal of Environmental Sciences*, 20 (4), 449-455.
- Li, X., Liu, F., Li, G., Lin, Q. and Jensen C.R., 2010. Soil microbial response, water and nitrogen use by tomato under different irrigation regimes. *Agriculture Water Management*, 98, 414-418.
- Licht, M.A. and Al-Kaisi M. 2005. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil and Tillage research*, 80 (1-2), 233-249.
- Liu, C., Holst, J.J., Bahl, K.B. and Yao Z., 2008. Effects of irrigation on nitrous oxide, methane and carbon dioxide fluxes in an Inner Mongolian Steppe. *Advances in Atmospheric Sciences*, 25 (5), 748-756.
- Liu, C., Liu, F., Andersen, M.N., Wang, G., Wu, K., Zhao, Q. and Ye Z., 2021. Domestic wastewater infiltration process in desert sandy soil and its irrigation prospect analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111419.
- Liu, K. and Wiatrak P., 2011. Corn (*Zea mays* L.) plant characteristics and grain yield response to N fertilization programs in no-tillage system. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6 (1), 172-179.
- Liu, Y., Yang, L., Gu, D., Wu, W., Wen, X. and Liao, Y., 2013. Influence of tillage practice on soil CO₂ emission rate and soil characteristics in a dryland wheat field. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15 (4), 680-686.
- Liu, Z., Gao, J., Liu, P., Zhao, B. and Zhang J., 2018. Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of summer maize response to different nitrogen supplies. *Frontiers in Plant Science*, 9, 576.
- Loewer, M., Igel, J. and Wagner N., 2016. Spectral decomposition of soil electrical and dielectric losses and prediction of in situ GPR performance. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9 (1), 212-220.
- Loke, P.F., Kotze, E. and Du Preez C.C., 2013. Impact of long-term wheat production management practices on soil acidity, phosphorus, and some micronutrients in a semi-arid Plinthosol. *Soil Research*, 51, 415-426.
- López-Vázquez, A., Cadena-Zapata, M., Campos-Magaña, S., Zermeño-Gonzalez, A. and Mendez-Dorado M., 2019. Comparison of energy used and effects on bulk density and yield by tillage systems in a semiarid condition of Mexico. *Agronomy*, 9 (4), 189.
- Lu, Y., Yao, H., Shan, D., Jiang, Y., Zhang, S. and Yang J., 2015. Heavy metal residues in soil and accumulation in maize at long-term wastewater irrigation area in Tongliao, China. *Journal of Chemistry*, ID: 628280.
- Lucas, S.D., Sampaio, S.C., Uribe-Opazo, M.A., Gomes, S.D., Kessler, N.C. and Prado N.V., 2013. Long-term behavior of Cu and Zn in soil and leachate of an intensive no-tillage system under swine wastewater and mineral fertilization. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (7), 639-647.
- Ma, S., Hu, Y., Zeng, Q., Xu, Z., Cui, Y., Ma, Y., Su, J. and Nan Z., 2021. Temporal changes of calcareous soil properties and their effects on cadmium uptake by wheat under wastewater irrigation for over 50 years. *Chemosphere*, 263, 127971.
- Ma, S.C., Zhang, H.B., Ma, S.T., Wang, R., Wang, G.X., Shao, Y. and Li C.X., 2015. Effects of mine wastewater irrigation on activities of soil enzymes and physiological properties, heavy metal uptake and grain yield in winter wheat. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 483-490.

- Macharia, J.M., Pelster, D.E., Ngetich, F.K., Shisanya, C.A., Mucheru-Muna, M. and Mugendi, D.N., 2020. Soil greenhouse gas fluxes from maize production under different soil fertility management practices in East Africa. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125 (7), e2019JG005427.
- Mahmoud, M., Janssen, M., Peth, S., Horn, R. and Lennartz B., 2012. Long-term impact of irrigation with olive mill wastewater on aggregate properties in the top soil. *Soil and Tillage Research*, 124, 24-31.
- Maldonado, V.M., Rubio Arias, H.O., Quintana, R., Saucedo, R.A., Gutierrez, M., Ortega, J.A. and Nevarez, G.V., 2008. Heavy metal content in soils under different wastewater irrigation patterns in Chihuahua, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5 (5), 441-449.
- Malhi, S.S., Légère, A., Vanasse, A. and Parent G., 2018. Effects of long-term tillage, terminating no-till and cropping system on organic C and N, and available nutrients in a Gleysolic soil in Québec, Canada. *The J. of Agricultural Science*, 156 (4), 472-480.
- Mallory, J.J., Mohtar, R.H., Heathman, G.C., Schulze, D.G. and Braudeau E., 2011. Evaluating the effect of tillage on soil structural properties using the pedostructure concept. *Geoderma* 163, 141-149.
- Manas, P., Castro, E. and de Las Heras J., 2009. Irrigation with treated wastewater: effects on soil, lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop and dynamics of microorganisms. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 44 (12), 1261-1273.
- Mancinelli, R., Campiglia, E., Di-Tizio, A. and Marinari, S., 2010. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by conventional and organic cropping systems in Mediterranean environment. *Applied Soil Ecology*, 46 (1), 64-72.
- Mancinelli, R., Marinari, S., Brunetti, P., Radicetti, E. and Campiglia, E., 2015. Organic mulching, irrigation and fertilization affect soil CO₂ emission and C storage in tomato crop in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 152, 39-51.
- Mancosu, N., Snyder, R.L., Kyriakakis, G. and Spano D., 2015. Water Scarcity and Future Challenges for Food Production. *Water*, 7, 975-992.
- Mansouri-Far, C., Sanavy, S.A.M.M. and Saberali S.F., 2010. Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 97 (1), 12-22.
- Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J. and Gille, K.E., 2005. The effect of longterm irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture Ecosystems and Env.*, 107, 151-165.
- Mariko, S., Urano, T. and Asanuma J., 2007. Effects of irrigation on CO₂ and CH₄ fluxes from Mongolian steppe soil. *Journal of Hydrology*, 333 (1), 118-123.
- Maris, S.C., Teira-Esmatges, M.R. and Català, M.M., 2016. Influence of irrigation frequency on greenhouse gases emission from paddy soil. *Paddy and Water Env.*, 14 (1), 199-210.
- Maris, S.C., Teira-Esmatges, M.R., Arbones, A. and Rufat J., 2015. Effect of irrigation, nitrogen application, and a nitrification inhibitor on nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from an olive orchard. *Science of the Total Env*, 538, 966-978.
- Marland, G., Mccarl, B.A. and Schneider U., 2001. Soil carbon: policy and economics. *Climatic Change*, 51 (1), 101-117.
- Martínez, E., Fuentes, J.P., Silva, P., Valle, S. and Acevedo E., 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil and Tillage Research*, 99 (2), 232-244.
- Martin-Rueda, I., Munoz-Guerra, L.M., Yunta, F., Esteban, E., Tenorio, J.L. and Lucena J.J., 2007. Tillage and crop rotation effects on barley yield and soil nutrients on a Calcicortidic Haploxeralf. *Soil Tillage Research*, 92, 1-9.
- Masona, C., Mapaire, L., Mapurazi, S. and Makanda R., 2011. Assessment of heavy metal accumulation in wastewater irrigated soil and uptake by maize plants (*Zea Mays* L.) at firle farm in harare. *Journal of Sustainable Development*, 4 (6), 132-137.

- McLean, E.O., 1982. Soil pH and Lime Requirement. Methods of Soil Analysis. Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Mekonnen M.M. and Hoekstra A.Y., 2014. Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. *Ecological Indicators*, 46, 214-223.
- Mengi, G.P. and Ozgurel M., 2008. An evaluation of water-yield relations in maize (*Zea mays* L.) in Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11 (4), 517-524.
- Mikkelsen, R., 2010. Soil and fertilizer magnesium. *Better Crops*, 94 (2), 26-28.
- Mishra, G. and Kushwaha H.S., 2016. Winter wheat yield and soil physical properties responses to different tillage and irrigation. *European J. of Biological Research*, 6 (1), 56-63.
- Mitchell, J., Singh, P., Wallender, W., Munk, D., Wroble, J., Horwath, W., Hogan, P., Roy, R. and Hanson B., 2012. No-tillage and high-residue practices reduce soil water evaporation. *California Agriculture*, 66 (2), 55-61.
- Mkoga, Z.J., Tumbo, S.D., Kihupi, N. and Semoka J., 2010. Extrapolating effects of conservation tillage on yield, soil moisture and dry spell mitigation using simulation modelling. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35 (13-14), 686-698.
- Moghaddam, V.K., Mohammadi, A., Khorasgani, F.C. and Hadei M., 2017. Sustainable development of water resources based on wastewater reuse and upgrading of treatment plants: a review in the Middle East. *Desalination and Water Treatment*, 65, 463-473.
- Mohamed, I., Ahamadou, B., Li, M., Gong, C., Cai, P., Liang, W. and Huang Q., 2010. Fractionation of copper and cadmium and their binding with soil organic matter in a contaminated soil amended with organic materials. *Journal of Soils and Sediments*, 10 (6), 973-982.
- Mojiri, A. and Hamidi A.A., 2011. Effects of municipal wastewater on accumulation of heavy metals in soil and wheat (*Triticum aestivum* L.) with two irrigation methods. *Romanian Agricultural Research*, 28, 217-222.
- Montiel-Rozas, M.M., Madejón, E. and Madejón P., 2016. Effect of heavy metals and organic matter on root exudates (low molecular weight organic acids) of herbaceous species: An assessment in sand and soil conditions under different levels of contamination. *Environmental Pollution*, 216, 273-281.
- Moraetis, D., Stamati, F.E., Nikolaidis, N.P. and Kalogerakis N., 2011. Olive mill wastewater irrigation of maize: impacts on soil and groundwater. *Agricultural Water Management*, 98 (7), 1125-1132.
- Morell, F.J., Alvaro-Fuentes, J., Lampurlanes, J. and Cantero-Martinez C., 2010. Soil CO₂ fluxes following tillage and rainfall events in a semiarid Mediterranean agroecosystem: effects of tillage systems and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems and Environment Journal*, 139 (1-2), 167-173.
- Morugan-Coronado, A., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V. and Mataix-Beneyto J., 2011. Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil. *Soil and Tillage Research*, 112 (1), 18-26.
- Mousavi, S.R. and Shahsavari M., 2014. Effects of treated municipal wastewater on growth and yield of maize (*Zea mays*). In *Biological Forum*, 6 (2), 228-233.
- Mousavi-Boogar, A., Azizi, K., Feizian, M. and Eivand H.R., 2021. Effects of different tillage systems on soil properties, and yield and yield components of barley. *Archives of Agriculture and Soil Science*, 1-12. Doi: 10.1080/03650340.2021.1928090
- Moussadek, R., Mrabet, R., Dahan, R., Douaik, A., Verdoodt, A., Van Ranst, E. and Corbeels M., 2011. Effect of tillage practices on the soil carbon dioxide flux during fall and spring seasons in a Mediterranean Vertisol. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 2 (11), 362-369.
- Mujdeci, M., Simsek, S. and Uygur V., 2017. The effects of organic amendments on soil water retention characteristics under conventional tillage system. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26, 4075-4081.

- Musazura, W., Odindo, A.O., Tesfamariam, E.H., Hughes, J.C. and Buckley C.A., 2019. Nitrogen and phosphorus fluxes in three soils fertigated with decentralised wastewater treatment effluent to field capacity. *J. of Water Reuse and Desalination*, 9 (2), 142-151.
- Mut, Z. ve Erbaş Köse Ö.D., 2018. Tritikale genotiplerinin tane verimi ve bazı kalite özellikleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33 (1), 47-57.
- Naeem, M., Mehboob, N., Farooq, M., Farooq, S., Hussain, S., Ali, H.M. and Hussain M., 2021. Impact of Different barley-based cropping systems on soil physicochemical properties and barley growth conventional and conservation tillage systems. *Agronomy*, 11 (1), 8.
- Naghashzadeh, M., Bour, K. and Pezeshkpour P., 2015. Response of water use efficiency to mycorrhizal biofertilizer in maize under water stress conditions. *Bulletin of Environment Pharmacology and Life Sciences*, 4 (3), 152-157.
- Nawaz, H., Anwar-ul-Haq, M., Akhtar, J. and Arfan M., 2021. Cadmium, chromium, nickel and nitrate accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.) using wastewater irrigation and health risks assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111685.
- Nazzal, Y.K., 2005. Systematic Framework for Evaluating Treated Wastewater Usage in Agricultural Irrigation. PhD Thesis, Utah State University, Logan, Utah.
- Nelson, D.W. and Sommers L.E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical and Mineralogical Methods*. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Sci. Society America, USA.
- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and Gypsum. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical and Mineralogical Methods*. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Niether, W., Schneidewind, U., Armengot, L., Adamtey, N., Schneider, M. and Gerold G., 2017. Spatial-temporal soil moisture dynamics under different cocoa production systems. *Catena*, 158, 340-349.
- Nilahyane, A. and Islam A., 2018. Different irrigation systems and nitrogen rates improve yield and water use efficiency of corn silage. *Universty Wyoming Extension*, B-1326.
- Nilahyane, A., Islam, A., Mesbah, A.O., Herbert, S.K. and Garcia A.G., 2020. Growth, water productivity, nutritive value and physiology responses of silage corn to water stress. *Agronomy Journal*, 112, 1625-1635.
- Nosalewicz, M., Stepniewska, Z. and Nosalewicz A., 2013. Effect of soil moisture and temperature on N₂O and CO₂ concentrations in soil irrigated with purified wastewater. *International Agrophysics*, 27 (3), 299-304.
- Nouri, A., Lee, J., Yin, X., Tyler, D.D. and Saxton A.M., 2019. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. *Geoderma*, 337, 998-1008.
- Nouwakpo, S.K., Song, J. and Gonzalez J.M., 2018. Soil structural stability assessment with the fluidized bed, aggregate stability, and rainfall simulation on long-term tillage and crop rotation systems. *Soil and Tillage Research*, 178, 65-71.
- NRC, 2001. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids. Nat. Research Council of the Nat. Academies, Washington, DC.
- Nyambo, P., Cornelius, C. and Araya T., 2020. Carbon dioxide fluxes and carbon stocks under conservation agricultural practices in South Africa. *Agriculture*, 10 (9), 374.
- Nzediegwu, C., Prasher, S., Elsayed, E., Dhiman, J., Mawof, A. and Patel R., 2019. Effect of biochar on heavy metal accumulation in potatoes from wastewater irrigation. *Journal of Environmental Management*, 232, 153-164.
- Okursoy, H., 2009. Trakya Koşullarında Farklı Sulama Yöntemleri Altında İkinci Ürün Silajlık Mısırın Su Üretim Fonksiyonlarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Olgun, M., Kutlu, İ., Ayter, N.G., Başçıftçi, Z.B. ve Kayan N., 2012. Farklı silajlık mısır genotiplerinin Eskişehir koşullarında adaptasyon yeteneklerinin belirlenmesi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5 (1), 93-97.

- Olsen, S.R., Sommers, L.E. and Page A.L., 1982. Phosphorus. Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Oral, E., Ülker, M., Altuner, F. ve Özdemir B., 2020. Van ekolojik koşullarında tritikale (*x tritico-secale wittmackii*) çeşitlerinde anıza ve normal ekimin verim ve verim unsurları üzerine etkisinin araştırılması. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4 (4), 756-774.
- Ors, S., Sahin, U. and Khadra R., 2015b. Reclamation of saline sodic soils with the use of mixed fly ash and sewage sludge. *Arid Land Research and Management*, 29, 41-54.
- Ors, S., Sahin, U. and Kiziloglu F.M., 2015a. Yield, quality and irrigation water use of drip-irrigated silage maize with different irrigation techniques. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52, 595-607.
- Ozpinar, S. and Ozpinar A., 2009. Nutrient concentration and distribution in maize as affected by different tillage systems in the Canakkale Province, Turkey. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 5 (3), 365-368.
- Ozpinar, S., 2016. Nutrient concentration and yield of maize (*Zea mays* L.) after vetch (*Vicia sativa* L.) in conventional and reduced tillage systems. *Journal of Plant Nutrition*, 39 (12), 1697-1712.
- Ozturkmen, A.R., 2013. Effects of soil tillage methods on soil quality under corn (*Zea mays* L.) growth. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11 (2), 1413-1416.
- Önal, Ö. ve Üney H., 2016. Farklı tuz yoğunluklarının macar fiğinde (*Vicia pannonica* Crantz) çimlenme ve bitki gelişimine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 5 (1), 29-34.
- Öner, F. and Güneş A., 2019. Determination of silage yield and quality characteristics of some maize (*Zea mays* L.) Varieties. *Journal of Tekirdag Agricultural*, 16 (1), 42-50.
- Özata, E., Ahmet, Ö. ve Kapar H., 2012. Silajlık hibrit mısır çeşit adaylarının verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Int. J. of Agricultural and Natural Sciences*, 5 (1), 37-41.
- Öztürk, N.Z., 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish J. Agriculture-Food Science and Technology*, 3 (5), 307-315.
- Pareja-Sánchez, E., Cantero-Martínez, C., Álvaro-Fuentes, J., and Plaza-Bonilla D., 2019. Tillage and nitrogen fertilization in irrigated maize: key practices to reduce soil CO₂ and CH₄ emissions. *Soil and Tillage Research*, 191, 29-36.
- Pathak, H. and Wassmann R., 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. genotation of technical coefficients. *Agricultural Systems*, 94, 807-825.
- Paudel, I., Bar-Tal, A., Levy, G.J., Rotbart, N., Ephrath, J.E. and Cohen S., 2018. Treated wastewater irrigation: Soil variables and grapefruit tree performance. *Agricultural Water Management*, 204, 126-137.
- Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D. and Petersen J.L., 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, 95 (1), 895-908.
- Pearce, F., 2004. Sewage Waters a Tenth of World's Irrigated Crops. *New Scientist*, <http://www.newscientist.com/article/dn6297> (15.02.2021).
- Pereira, B.F.F., He, Z., Stoffella, P.J., Montes, C.R., Melfi, A.J. and Baligar V.C., 2012. Nutrients and nonessential elements in soil after 11 years of wastewater irrigation. *Journal of Environmental Quality*, 41, 920-927.
- Petousi, I., Fountoulakis, M.S., Saru, M.L., Nikolaidis, N., Fletcher, L., Stentiford, E.I. and Manios T., 2015. Effects of reclaimed wastewater irrigation on olive (*Olea europaea* L. cv. 'Koroneiki') trees. *Agricultural Water Management*, 160, 33-40.
- Polat, E., Demir, H. and Onus A.N., 2008. Comparison of some yield and quality criteria in organically and conventionally-grown lettuce. *African J. of Biotech.*, 7 (9), 1235-1239.

- Pornon, A., Boutin, M. and Lamaze T., 2019. Contribution of plant species to the high N retention capacity of a subalpine meadow undergoing elevated N deposition and warming. *Environmental Pollution*, 245, 235-242.
- Qadir, M. and Scott C.A., 2010. Non-Pathogenic Trade-Offs of Wastewater irrigation. *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in LowIncome Countries*, Ed: P. Drechsel, C.A. Scott, L. Raschid-sally, M. Redwood, A. Bahri. Earthscan, London.
- Qadir, M., Mateo-Sagasta, J., Jimenez, B., Siebe, C., Siemens, J. and Hanjra M.A., 2015. Environmental Risks and Cost-Effective Risk Management in Wastewater Usesystems. *Wastewater: Economicasset in an Urbanizing World* Ed: P. Drechsel, M. Qadir, D. Wichelns. Springer, London.
- Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., Minhas, P.S., Drechsel, P., Bahri, A., Mccornick, P.G., Abaidoo, R., Attia, F. and Elgundy S., 2007. Agricultural Use of Marginal-Quality Water: Opportunities and Challenges. *Water Management in Agriculture*, Ed: D. Moden. Earthscan, London and International Water Management Institute, Colombo.
- Qi, Z., Feng, H., Zhao, Y., Zhang, T., Yang, A. and Zhang Z., 2018. Spatial distribution and simulation of soil moisture and salinity under mulched drip irrigation combined with tillage in an arid saline irrigation district, northwest China. *Agricultural Water Management*, 201, 219-231.
- Qin, H.L., Gao, W.S., Li, M.A., Yin, C.M., Zhe, C. and Chunlan C., 2008. Effects of subsoiling on soil moisture under no-tillage for two years. *Agr. Sciences in China*, 7 (1), 88-95.
- Qin, Y. and Horvath A., 2020. Use of alternative water sources in irrigation: potential scales, costs, and environmental impacts in California. *Environmental Research Communications*, 2 (5), 055003.
- Qishlaqi, A., Moore, F. and Forghani G., 2008. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141 (1), 257-273.
- Raju, R.A., 1979. Influence of Levels and Sources of Nitrogen on Composition of N, P, K, Nutrients in Strow and Quality of Grain. *The Andhra Agricultural J.*, 25 (1-2), 1-4.
- Rana, G. and Katerji N., 2000. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under mediterranean climate: A review. *European J. of Agronomy*, 13, 125-153.
- Rehm, G., Rosen, C. and Schmitt M., 2002. Magnesium for Crop Production in Minnesota. <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/dc0725.html> (09.09.2020).
- Rey, A., Pegoraro, E., Oyonarte, C., Were, A., Escribano, P. and Raimundo J., 2011. Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (*Stipa tenacissima* L.) semi-arid ecosystem in the SE of Spain. *Soil Biolgy and Biochemistry*, 43, 393-403.
- Rivas, R.M.F., de Leon, G.S., Leal, J.A.R., Ramirez, J.M. and Romero F.M. 2017. Characterization of dissolved organic matter in an agricultural wastewater-irrigated soil, in semi arid Mexico. *Revista Int. de Contaminacion Ambiental*, 33 (4), 575-590.
- Rosso, D. and Stenstrom M.K., 2008. The carbon-sequestration potential of municipal wastewater treatment. *Chemosphere*, 70 (8), 1468-1475.
- Rout, G.R. and Sahoo S., 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3, 1-24.
- Roy, S. and Gupta S., 2016. Effect of wastewater irrigation on soil and some selected vegetables grown in Asansol, West Bengal. *Int. J. of Environmental Sciences*, 6 (5), 894-904.
- Rusan, M.J.M., Hinnawi, S. and Rousan L., 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215 (1-3), 143-152.
- Rusere, F., Soropa, G., Svubure, O., Gwatibaya, S., Moyo, D., Ndeketya, A. and Mavima G.A., 2012. Effects of deficit irrigation on winter silage maize production in Zimbabwe. *International Research Journal of Plant Science*, 3 (9), 188-192.
- Safdarian, M., Razmjoo, J. and Dehnavi M.M., 2014. Effect of nitrogen sources and rates on yield and quality of silage corn. *Journal of Plant Nutrition*, 37 (4), 611-617.

- Sahin, U., Anapali, O., Donmez, M.F and Sahin F., 2005. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. *J. of Environmental Management*, 76, 338-341.
- Sahin, U., Kuslu, Y., Kiziloglu, F.M. and Cakmakci T., 2016. Growth, yield, water use and crop quality responses of lettuce to different irrigation quantities in a semi-arid region high altitude. *Journal of Applied Horticulture*, 18 (3), 195-202.
- Sainju, U.M., Jabro, J.D. and Stevens W.B., 2008. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality*, 37 (1), 98-106.
- Sainju, U.M., Singh, B.P. and Whitehead W.F., 2002. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. *Soil Tillage Research*, 63, 167-179.
- Salem, H.M., Valero, C., Muñoz, M.Á., Rodríguez, M.G. and Silva L.L., 2015. Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. *Geoderma*, 237, 60-70.
- Sampathkumar, T., Pandian, B.J., Jeyakumar, P. and Manickasundaram P., 2014. Effect of deficit irrigation on yield, relative leaf water content, leaf proline accumulation and chlorophyll stability index of cotton-maize cropping sequence. *Experimental Agriculture*, 50, 407-425.
- Sánchez-González, A., Chapela-Lara, M., Germán-Venegas, E., Fuentes-García, R., del Río-Portilla, F. and Siebe C., 2017. Changes in quality and quantity of soil organic matter stocks resulting from wastewater irrigation in formerly forested land. *Geoderma*, 306, 99-107.
- Saraoğlu, S., 2014. Arıtılmış Atık Suların Yeniden Kullanımı-Ülkemizden ve Dünya'dan Başarılı Örnekler ve Türkiye İçin Uygulama Önerileri. Çevre ve Orman Uzmanlık Tezi, Çevre ve Orman Bakanlığı-Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. and Zahoor A., 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1-13.
- Schacht, K., Chen, Y., Tarchitzky, J. and Marschner B., 2016. Integrated Water Resources Management: Concept, Research and Implementation. The Use of Treated Wastewater for Irrigation as a Component of Integrated Water Resources Management: Reducing Environmental Implications On Soil and Groundwater By Evaluating Site-Specific Soil Sensitivities, Ed: D. Borchardt, J.J. Bogardi, B.R. Ibisch. Springer International Publishing, Germany, 459-470.
- Scheierling, S.M., Bartone, C.R., Mara, D.D. and Drechsel P., 2011. Towards an agenda for improving wastewater use in agriculture. *Water International*, 36 (4), 420-440.
- Schmer, M.R., Jin, V.L., Wienhold, B.J., Varvel, G.E. and Follett R.F., 2014. Tillage and residue management effects on soil carbon and nitrogen under irrigated continuous corn. *Soil Science Society of America*, 78, 1987-1996.
- Scott, C., Drechsel, P., Raschid-Sally, L., Bahri, A., Mara, D., Redwood, M. and Jimenez B., 2010. Wastewater Irrigation and Health: Challenges and Outlook for Mitigating Risks in Low-income Countries. *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*, Ed: P. Drechsel, C. Scott, L. Rashid-Sally, M. Redwood and A. Bahri. Earthscan, London, 381-394.
- Scott, C.A., Faruqi, N.I. and Raschid-Sally L., 2004. Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Management Challenges in Developing Countries. *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities*, Ed: Scott, N.I. Faruqi and L. Raschid-Sally. CABI Publishing, Oxfordshire, United Kingdom.
- Sekwakwa, O. and Dikinya O., 2012. Tillage-induced compaction: effects on physical properties of agricultural loamy soils. *Sci. Res. and Essays-Academic J.*, 7, 1584-1591.
- Selim, M.M., 2008. Evaluation of the re-use of treated wastewater for irrigation. *Acta Agronomica Hungarica*, 56(4), 477-484.

- Sessiz, A., Alp, A. and Gursay S., 2010. Conservation and conventional tillage methods on selected soil physical properties and corn (*Zea mays* L.) yield and quality under cropping system in Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16 (5), 597-608.
- Setyanto, P., Rosenani, A.B., Boer, B., Fauziah, C.I. and Khanif M.J., 2004. The effect of rice cultivars on methane emission from irrigated rice field. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 5 (1), 20-31
- Sezen, Y., 1991. Toprak Kimyası. Atatürk Üni. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 127, Erzurum.
- Shakeel, A., Anjum, L., Ibni Zamir, S., Rizwan, M., Arshad, M., Mehmood, Q., Sajjad, M. and Waqas A., 2021. Irrigation water quality effects on CO₂ emissions along with crop and soil responses. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 58 (2), 637-642.
- Shao, Y., Xie, Y., Wang, C., Yue, J., Yao, Y., Li, X., Liu, W., Zhu, Y. and Guo T., 2016. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *European Journal of Agronomy*, 81, 37-45.
- Sharif, M., Ijaz, S.S., Ansar, M., Ahmad, I. and Sadiq S.A., 2018. Evaluation of conservation tillage system performance for rainfed wheat production in upland of Pakistan, *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 31, 37-44.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall F., 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environment Safety*, 66, 258-266.
- Shehata, A.A.A., 2009. Comparison among different irrigation systems for deficit-irrigated corn in the Nile Valley. *Agricultural Engineering International: Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 11, 1-25.
- Shen, Y., McLaughlin, N., Zhang, X., Xu, M. and Liang A., 2018. Effect of tillage and crop residue on soil temperature following planting for a Black soil in Northeast China. *Scientific Reports*, 8 (1), 1-9.
- Shi, A.D. and Marschner P., 2014. Drying and rewetting frequency influences cumulative respiration and its distribution over time in two soils with contrasting management. *Soil Biology and Biochemistry*, 72, 172-179.
- Si, P., Liu, E., He, W., Sun, Z., Dong, W., Yan, C. and Zhang Y., 2018. Effect of no-tillage with straw mulch and conventional tillage on soil organic carbon pools in Northern China. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64 (3), 398-408.
- Silva, L.V., de Lima, V.L., Pearson, H.W., Silva, T.T., Maciel, C.L. and Sofiatti V., 2016. Chemical properties of a Haplustalf soil under irrigation with treated wastewater and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20 (4), 308-315.
- Simeckova, J., Habova M., Vlcek V., Hybler V., Pospisilova L. and Jandak J., 2016. Dynamic of soil temperature with different fertilizers management. *Mendelnet2016*, 492-497.
- Simsek, M., Can, A., Denek, N. and Tonkaz T., 2011. The effects of different irrigation regimes on yield and silage quality of corn under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10 (31), 5869-5877.
- Sinaie, S., Sadeghi-Namaghi, H. and Fekrat L., 2019. Effects of elevated CO₂ and water stress on population growth of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: *Tetranychidae*), on sweet pepper under environmentally controlled conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22 (1), 96-102.
- Singh, A., Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall F., 2009. Effects of wastewater irrigation on physicochemical properties of soil and availability of heavy metals in soil and vegetables. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40 (21-22), 3469-3490.
- Singh, K.P., Mohan, D., Sinha, S. and Dalwani R., 2004. Impact assessment of treated/untreated waste water toxicants discharge by sewage treatment plant on health agricultural and environmental quality in waste water disposal area. *Chemosphere*, 55, 227-255.

- Singh, P.K., Deshbhratar, P.B. and Ramteke D.S., 2012. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management*, 103, 100-104.
- Sithole, N.J., Lembe S.M. and Guy R., 2019. Long-term impact of no-till conservation agriculture and N-fertilizer on soil aggregate stability, infiltration and distribution of C in different size fractions. *Soil and Tillage Research*, 190, 147-156.
- Six, J., Ogle, S.M., Breidit, F.J., Conant, R.T., Mosier, A.R. and Paustian K., 2004. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global Change Biology*, 10, 155-160.
- Somasundaram, J., Sinha, N.K., Mohanty, M., Chaudhary, R.S., Hati, K.M., Singh, R.K., Biswas A.K., Shukla, A.K., Dalal, R. and Patra A.K., 2018. Soil hydro-thermal regimes as affected by different tillage and cropping systems in a rainfed vertisol. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 66 (4), 362-369.
- Song, M., Wang, R. and Zeng X., 2018. Water resources utilization efficiency and influence factors under environmental restrictions. *Journal of Cleaner Production*, 184, 611-621.
- Sou, M.Y., Mermoud, A., Yacouba, H. and Boivin P., 2013. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma*, 200, 31-39.
- Soureshjani, H.K., Nezami, A., Kâfi, M. and Tadayon M., 2019. Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 213, 270-279.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N.K., Kaya, H. and Uz İ., 2006. High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. *Scientia Agricola*, 63 (3), 213-218.
- Stewart, D.W. and Dwyer L.M. 1999. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. *Crop Science* 39, 422-427.
- Strudley, M.W., Green, T.R. and Ascough II J.C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil and Tillage Res.*, 99 (1), 4-48.
- Subbulakshmi, S., Saravanan, N. and Subbian P., 2009. Conventional tillage vs conservation tillage-A review. *Agricultural Reviews*, 30 (1), 56-63.
- Sungur, A., Soylak, M. and Ozcan H., 2014. Investigation of heavy metal mobility and availability by the BCR sequential extraction procedure: relationship between soil properties and heavy metals availability. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 26 (4), 219-230.
- Suzuki, Y., Ogoshi, M., Yamagata, H., Ozaki, M. and Asano T., 2011. Large Area and Onsite Water Reuse in Japan. <http://www.pwri.go.jp/eng/activity/pdf> (08.09. 2020).
- Şenyigit, U. ve Akbolat D., 2010. Farklı sulama yöntemlerinin topraktan CO₂ çıkışı üzerine etkisi. *Ekoloji*, 19 (77), 59-64.
- Tabaglio, V., Gavazzi, C. and Menta C., 2009. Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize. *Soil and Tillage Research*, 105 (1), 135-142.
- Tabatabaei, S.H., Nafchi, R.F., Najafi, P., Karizan, M.M. and Nazem Z., 2017. Comparison of traditional and modern deficit irrigation techniques in corn cultivation using treated municipal wastewater. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6 (1), 47-55.
- Talantimur, V., 2014. Alternatif Toprak İşleme Uygulamalarının CO₂ Emisyonu Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisan Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Talipoğlu, Z., 2012. Evsel Atık Suların Tarımsal Amaçlı Geri Kazanılabiliirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Tan, A., 2006. Atık Sularda Bazı Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya.

- Tan, M., 2021. Silajlık Mısır Tarımı. <http://tarim.atauni.edu.tr/wp-content/uploads/2018/02/Silajl%C4%B1k-M%C4%B1s%C4%B1r-Tar%C4%B1m%C4%B1.pdf> (08.12.2021).
- Tanrıkulu, A., Dokuyucu, T. ve Sürme M., 2020. Mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının silaj verimi, verim unsurları ve kalite özelliklerine etkisinin belirlenmesi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9 (1), 43-52.
- Tarighaleslami, M., Zarghami, R., Boojar, M.M.A. and Oveysi M., 2012. Effects of drought stress and different nitrogen levels on morphological traits of proline in leaf and protein of corn seed (*Zea mays* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 12, 49-56.
- Thangarajan, R., Kunhikrishnan, A., Seshadri, B., Bolan, N.S. and Naidu R., 2012. Greenhouse Gas Emission from Wastewater Irrigated Soils. Sustainable Irrigation and Drainage IV: Management, Technologies and Policies. Ed: B. Henning. Lightning Source, Britain.
- Thebo, A.L., Drechsel, P., Lambin, E. and Nelson K.A., 2017. Global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. Environmental Research Letters, 12, 074008.
- Thomas, B.W., Hunt, D., Bittman, S., Hannam, K.D., Messiga, A.J., Haak, D., Sharifi, M. and Hao X., 2019. Soil health indicators after 21 year of no-tillage in south coastal British Columbia. Canadian Journal of Soil Science, 99 (2), 222-225.
- Thomas, G.W., 1982. Exchangeable Cations. Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical and Mineralogical Methods. Ed: A. Klute. Agronomy Society of America and Soil Science Society America, USA.
- Topaloğlu, G. ve Soylu S., 2019. Farklı ekolojik şartlarda danelik ve silajlık mısır çeşitlerinin dane ve silaj özelliklerinin karşılaştırılması. Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi, 8 (1), 73-80.
- Toze, S., 2006. Reuse of effluent water-benefits and risks. Agriculturel Water M., 80, 147-159.
- Törö, A., Tamas, A., Ratonyi, T. and Harsanyi E., 2017. Effects of soil tillage systems and fertilization on the CO₂ emission of chernozem soil. Columella Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 4 (1), 65-68.
- Tubiello, F.N., Salvatore, M., Ferrara, A.F., House, J., Federici, S., Rossi, S., Biancalani, R., Golec, R.D.C., Jacobs, H., Flammini, A., Prosperi, P., Cardenas-Galindo, P., Schmidhuber, J., Sanchez, M.J.S., Srivastava, N. and Smith P., 2015. The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming. Global Change Biology, 21 (7), 2655-2660.
- TÜİK 2022. Nüfus Projeksiyonları, 2018-2080. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567> (05.02.2022).
- TÜİK, 2018. Çevre ve Enerji İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30667> (18.05.2021).
- TÜİK, 2019. Çevre ve Enerji İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30667> (25.08.2021).
- TÜİK, 2020. Tarım İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1> (15.03.2021).
- Tunalı, M.M., Çarpıcı, E.B. ve Çelik N., 2012. Farklı azot dozlarının bazı mısır çeşitlerinde klorofil içeriği, yaprak alan indeksi ve tane verimi üzerine etkileri. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 5 (1), 131-133.
- Tunc, T. and Sahin U., 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. Agricultural Water Management, 158, 213-224.
- Tunc, T. and Sahin U., 2016. Red cabbage yield, heavy metal content, water use and soil chemical characteristics under wastewater irrigation. Environmental Science and Pollution Research, 23 (7), 6264-6276.

- Tunc, T. and Sahin U., 2017. Yield and heavy metal content of wastewater-irrigated cauliflower and soil chemical properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48 (10), 1194-1211.
- Tunç, T., 2013. Farklı İşlemlerle Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanımının Toprak ve Bitki Özellikleri ile Su Kullanımına Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Tüfenkci Ş., Yerli C. ve Çakmakci T., 2021. Toprakta CO₂ Salınımına Bir Bakış. *Biyosistem Mühendisliği II*, Ed: A. Atılğan, I. Erdal, S. Boyacı, S. Akademisyen Y., 117-128.
- Tüzüner, A., 1990. Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. T.C. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tzanakakis, V., Koo-Oshima, S., Haddad, M., Apostolidis, N. and Angelakis A. 2014. The History of Land Application and Hydroponic Systems for Wastewater Treatment and Reuse. IWA Publishing, 457 p, London, United Kingdom.
- Tzanakakis, V., Paranychanaki, N. and Angelakis A., 2007. Soil as a wastewater treatment system: Historical development. *Water Sci. and Technology*, 7, 67-75.
- Ucak, A.B., Ayasan, T. and Turan N., 2016. Yield, quality and water use efficiencies of silage maize as effected by deficit irrigation treatments. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4 (12), 1228-1239.
- Ucar, Y., Kazaz, S., Askin, M.A., Aydinsakir, K., Kadayifci, A. and Senyigit U., 2011. Determination of irrigation water amount and interval for carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) with pan evaporation method. *Hortscience*, 46 (1), 102-107.
- Ugulu, I., Khan, Z.I., Rehman, S., Ahmad, K., Munir, M. and Bashir H., 2020. Effect of wastewater irrigation on trace metal accumulation in Spinach (*Spinacia oleracea* L.) and Human Health Risk. *Pakistan J. of Analytical and Env. Chemistry*, 21 (1), 92-101.
- UN, 2014. The United Nations World Water Development Report 2014. Water and Energy, Paris, Fransa.
- UNESCO, 2017. The United Nations World Water Development Report 2017, Wastewater, UN Educational Scientific and Cultural Organization, Paris, France.
- UNESCO-WWAP, 2012. United Nations World Water Development Report 4: Managing water under uncertainty and risk. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, 860 p, Paris, France.
- UNFCCC, 1997. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (10.04.2021).
- UN-Water/FAO, 2007. World Water Day 2007. Coping with water scarcity: Challenge of the twenty-first century. UN-Water.
- Urbano, V.R., Mendonça, T.G., Bastos, R.G. and Souza C.F., 2017. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181, 108-115.
- Uzen, N., Cetin, O. and Unlu M., 2016. Effects of domestic wastewater treated by anaerobic stabilization on soil pollution, plant nutrition, and cotton crop yield. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188 (12), 1-11.
- Ünlükara, A., Çıkılı, Y. ve Öztürk A., 2008. Farklı Yıkama oranlarında sulama uygulamalarının fasulyenin (*Phaseolus vulgaris*) gelişimine ve besin maddesi içeriğine etkisi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (2), 51-60.
- Üzen, N., 2014. Fiziksel Olarak Arıtılmış Evsel Atık Suların Pamuk (*Gossypium Hirsutum* L.) Verim ve Kalitesi ile Toprak Kirliliğine Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Van Der Hoek, W., 2004. A Framework for a Global Assessment of the Extent of Wastewater Irrigation: The Need for a Common Wastewater Typology. *Confronting The Livelihood and Environmental Realities*, Ed: C. Scott, N.I. Faruqui and L. Raschid-Sally. CABI Publishing, Wallingford, UK, 34-71.

- Van Soest, P.J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds 2. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 46, 829-835.
- Van Wie, J.B., Adam, J.C. and Ullman J.L., 2013. Conservation tillage in dryland agriculture impacts watershed hydrology. *Journal of Hydrology*, 483, 26-38.
- Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H. and Mobli M., 2005. Effect of sewage sludge on some macronutrients concentration and soil chemical properties. *Journal of Water and Wastewater*, 53, 15-22.
- Vogeler, I., 2009. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. *Water, Air, and Soil Pollution*, 196 (1), 385-392.
- Vural, Ç., 2007. Aydın Koşullarında Cin Mısır Bitkisinin Damla Yöntemiyle Sulanması. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üni. Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Aydın.
- Vurarak, Y. ve Bilgili M.E., 2015. Tarımsal mekanizasyon, erozyon ve karbon salınımı: bir bakış. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30 (3), 307-316.
- Wang, Q., Lu, C., Li, H., He, J., Sarker, K.K., Rasaily, R.G., Zhonghui, L., Xiaodong, Q., Hui, L. and Mchugh A.D.J., 2014. The effects of no-tillage with subsoiling on soil properties and maize yield: 12-Year experiment on alkaline soils of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 137, 43-49.
- Wang, R., Cheng, T. and Hu L., 2015. Effect of wide–narrow row arrangement and plant density on yield and radiation use efficiency of mechanized direct-seeded canola in Central China. *Field Crops Research*, 172, 42-52.
- Wang, Y., Zhang, Y., Zhou, S. and Wang Z., 2018. Meta-analysis of no-tillage effect on wheat and maize water use efficiency in China. *Sci. of the Total Environment*, 635, 1372-1382.
- Warrington, D.N., Goldstein, D. and Levy G.J., 2007. Clay translocation within the soil profile as affected by intensive irrigation with treated wastewater. *Soil Science*, 172, 692-700.
- Wei, C., Ren, S., Yang, P., Wang, Y., He, X., Xu, Z., Wei, R., Wang, S., Chi, Y. and Zhang M., 2021. Effects of irrigation methods and salinity on CO₂ emissions from farmland soil during growth and fallow periods. *Science of the Total Environment*, 752, 141639.
- Wen, J., Dong, H. and Zeng G., 2018. Application of zeolite in removing salinity/sodicity from wastewater: a review of mechanisms, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1435-1446.
- Westermann, D.T. and Sojka R.E., 1996. Tillage and nitrogen placement effects on nutrient uptake by potato. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 1448-1453.
- WHO, 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume II: Wastewater Use in Agriculture, World Health Organization, France.
- Wichelns, D., Drechsel, P. and Qadir M., 2015. Wastewater. Economic Asset in an Urbanizing World, Ed: D. Wichelns, P. Drechsel, M. Qadir. Springer, Dordrecht, 3-14.
- Winpenny, J.T., Heinz, I. and Koo-Oshima S., 2010. The Wealth of Waste: The Economics of Wastewater Use in Agriculture, Food and Agriculture Organization of The United Nations, 142 p, Roma, Italy.
- Wintgens, T., Bixio, D., Thoeye, C., Jeffrey, P., Hochstrat, R. and Melin T., 2006. Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater. Aquarec: Aachen, Germany.
- WMO, 2019. World Meteorological Organization, Greenhouse Gas Bulletin. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5455 (16.11.2021).
- World Economic Forum, 2015. Global Risks 2015. Environment-High Concern, Little Progress, Geneva, Switzerland.
- Xi, B., Yu, H., Li, Y., Dang, Q., Tan, W., Wang, Y. and Cui D., 2021. Insights into the effects of heavy metal pressure driven by long-term treated wastewater irrigation on bacterial communities and nitrogen-transforming genes along vertical soil profiles. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123853.

- Xue, Y.D., Yang, P.L., Luo, Y.P., Li, Y.K., Ren, S.M., Su, Y.P. and Niu Y.T., 2012. Characteristics and driven factors of nitrous oxide and carbon dioxide emissions in soil irrigated with treated wastewater. *Journal of Integrative Agriculture*, 11 (8), 1354-1364.
- Yakit, S. ve Tuna A.L., 2006. Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) stres parametreleri üzerine Ca, Mg ve K'nın etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (1), 59-67.
- Yang, X., Bao, X., Yang, Y., Zhao, Y., Liang, C. and Xie H., 2019. Comparison of soil phosphorus and phosphatase activity under long-term no-tillage and maize residue management. *Plant, Soil and Environment*, 65 (8), 408-415.
- Yaseen, R., Shafi, J., Ahmad, W., Rana, M.S., Salim, M. and Qaisrani S.A., 2014. Effect of deficit irrigation and mulch on soil physical properties, growth and yield of maize. *Environment and Ecology Research*, 2 (3), 122-137.
- Yazdani, A.A., Saffari, M. and Ranjbar G.H., 2018. Application of treated wastewater on yield and heavy metals content of seeds in sunflower cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 12 (5), 731-737.
- Yerli, C. and Sahin U., 2021. Effect of different manure applications and wetting-drying cycles on CO₂ emissions from soil. *Env. Engineering and Management J.*, 20 (9), 317-324.
- Yerli, C. and Sahin U., 2022. An assessment of the urban water footprint and blue water scarcity: A case study for Van (Turkey). *Brazilian Journal of Biology*, 82, 249745.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Şahin, U. ve Tüfenkçi Ş., 2020. Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9 (Özel Sayı), 103-114.
- Yerli, C., Şahin, Ü., Çakmakçı, T. ve Tüfenkçi Ş., 2019. Tarımsal uygulamaların CO₂ salınımına etkileri ve azaltılmasının yolları. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (9), 1446-1456.
- Yıldız, S. ve Erdoğan S., 2018. Van koşullarında yetiştirilen silajlık mısır (*Zea mays* L.) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.)'nin verim parametreleri ve besin madde kompozisyonuna kalite özellikleri. *Türkiye Tarımsal Araştırma Dergisi*, 5 (3), 280-285.
- Yılmaz, N., Akman, O. ve Öner F., 2020. Bazı silajlık mısır çeşitlerinde (*Zea mays* L.) bitkisel özelliklerinin belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9 (1), 103-110.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Sahin, U., Ors, S., Turan, M., Demir, İ., Dursun, A. and Kotan R., 2021. Improved water productivity in summer squash under water deficit with PGPR and synthetic methyl amine applications. *Rhizosphere*, 20, 100446.
- Yolcu, R. and Cetin O., 2015. Nitrogen fertigation to improve nitrogen use efficiency and crude protein on silage corn. *Turkish Journal of Field Crops*, 20 (2), 233-241.
- Yu, Z., Wang, G. and Marschner P., 2014. Drying and rewetting—effect of frequency of cycles and length of moist period on soil respiration and microbial biomass. *European Journal of Soil Biology*, 62, 132-137.
- Yurtseven, E., Çakmak, B., Kesmez, D. ve Polat H.E., 2010. Tarımsal atık suların sulamada yeniden kullanılması. *Türkiye Ziraat Müh. VII. Teknik Kongresi*, Ank.
- Yurtseven, E., Kesmez, G.D. and Unlukara A., 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*). *Agricultural Water Management*, 78 (1-2), 128-135.
- Zang, H., Wang, J. and Kuzyakov Y., 2016. N fertilization decreases soil organic matter decomposition in the rhizosphere. *Applied Soil Ecology*, 108, 47-53.
- Zare, R., Sohrabi, T. and Moteszarezaheh B., 2018. Effect of deficit irrigation with treated wastewater on corn yield. *Iranian J. of Soil and Water Research*, 49 (3), 505-514.
- Zema, D.A., Bombino, G., Andiloro, S. and Zimbone S.M., 2012. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. *Agricultural Water Management*, 115, 55-65.
- Zhang, S., Sadras, V., Chen, X. and Zhang F., 2013. Comprehensive effects of conservation tillage on wheat-soil system. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 26, 587-593.

- Zhao, P., Pumpanen, J. and Kang S., 2020. Spatio-temporal variability and controls of soil respiration in a furrow-irrigated vineyard. *Soil and Tillage Research*, 196, 104424.
- Zhong, Y., Li, J. and Xiong H., 2021. Effect of deficit irrigation on soil CO₂ and N₂O emissions and winter wheat yield. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123718.
- Zornoza, R., Rosales, R.M., Acosta, J.A., de la Rosa, J.M., Arcenegui, V., Faz, A. and Perez-Pastor A., 2016. Efficient irrigation management can contribute to reduce soil CO₂ emissions in agriculture. *Geoderma*, 263, 70-77.
- Zou, Y., Saddique, Q., Ali, A., Xu, J., Khan, M.I., Qing, M., Azmat, M., Cai, H. and Siddique K.H., 2021. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. *Agriculture Water Management*, 243, 106483.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Caner YERLİ
Eğitim	
Lise:	Şehit Koray Akoğuz Lisesi (2009)
Lisans:	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/Bahçe Bitkileri (2013)
Yüksek lisans:	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi/Fen Bilimleri/Bahçe Bitkileri (2016)
Doktora:	Atatürk Üniversitesi/Fen Bilimleri/Tarımsal Yapılar ve Sulama (2022)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	C1
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası	